EVROPSKÁ UNIE
EVROPSKÝ FOND PRO REGIONÁLNÍ ROZVOJ
INVESTICE DO VAŠÍ BUDOUCNOSTI

TECHNOLOGICKÁ PLATFORMA
STROJÍRENSKÁ VÝROBNÍ TECHNIKA

cecimo

IMPLEMENTAČNÍ AKČNÍ PLÁN OBORU STROJÍRENSKÉ VÝROBNÍ TECHNIKY

pro období 2015-2020

Celkový obsah:

1. část - IAP „Obráběcí stroje“ pro období 2015-2020

Strana 3 – 178

2. část - IAP „Tvářecí stroje“ pro období 2015-2020

Strana 179 – 258

EVROPSKÁ UNIE
EVROPSKÝ FOND PRO REGIONÁLNÍ ROZVOJ
INVESTICE DO VAŠÍ BUDOUCNOSTI

TECHNOLOGICKÁ PLATFORMA
STROJÍRENSKÁ VÝROBNÍ TECHNIKA

IAP „Obráběcí stroje“ pro období 2015-2020

Obsah

1. Technologie obrábění 13

1.1. Řezné nástroje 14
1.1.1. (T01) Materiály a povlaky řezných nástrojů 14
1.1.2. (T02) Zdokonalování konstrukce řezných nástrojů 17

1.2. Řezný proces 21
1.2.1. (T03) Optimalizace procesu obrábění 21
1.2.2. (T04) Modelování a identifikace řezného procesu 24
1.2.3. (T05) Řezné prostředí a ekologizace obrábění 29
1.2.4. (T06) Výzkum vhodných řezných podmínek pro obrábění těžkoobrobitelných a specifických materiálů 32

1.3. Výkon obrábění 35
1.3.1. (T08) Matematické modelování pro návrh technologie výkonného obrábění 35
1.3.2. (T10) Diagnostické metody pro návrh technologie výkonného obrábění 38
1.3.3. (T104) Simulace výrobních procesů 41

1.4. NC programování 43
1.4.1. (T11) Metody tvorby postprocesorů pro víceosé a multifunkční NC stroje 43
1.4.2. (T12) Simulace a verifikace NC programů 47
1.4.3. (T13) Optimalizace NC kódu 50

1.5. Nekonvenční obrábění 53
1.5.1. (T102) Výzkum 3D tisku a aditivní technologií pro využití průmyslu 53
1.5.2. (T15) Hybridní technologie 55
1.5.3. (T16) Výzkum možností nahrazení třískového obrábění laserovými technologiemi 58

2. Stavba obráběcích strojů 61

2.1. Koncepce stojů a pohonů 62
2.1.1. (T17) Multifunkční stroje 62
2.1.2. (T18) Rekonfigurovatelné stroje 65
2.1.3. (T19) Nekonvenční koncepce strojů a pohonů pohybových os 67
2.1.4. (T20) Vývoj strojů s více pracovními nástroji v řezu 70

2.2. Komponenty, skupiny a hlavní nosná struktura 73
2.2.1. (T21) Rozšiřování technologických možností komponent strojů 73
2.2.2. (T22) Zvyšování přesnosti stavby strojů 76
2.2.3. (T23) Unifikace komponent a metody pro jejich výběr 79
2.2.4. (T24) Konstrukce se zvýšeným tlumením vibrací 81
2.2.5. (T25) Nekonvenční materiály pro obráběcí stroje 84
2.2.6. (T26) Predikce vlastností dílců obráběcích strojů z nekonvenčních materiálů 87

2.2.7. (T27) Technologické postupy pro zpracování nekonvenčních materiálů pro stavbu obráběcích strojů a jejich komponent 90
2.2.8. (T28) Vývoj technických prostředků pro obrábění mikronástroji 93

2.3. Matematické modely strojů a jejich verifikace 95
2.3.1. (T29) Virtuální modely strojů a obrábění 95
2.3.2. (T31) Modely mechanické stavby OS pro virtuální model stroje a optimalizační úlohy 99
2.3.3. (T32) Moderní výpočtové a návrhové postupy nosných struktur a pohonů 101

2.4. Ecodesign 104
2.4.1. (T33) Snižování energetické náročnosti obráběcích strojů 104
2.4.2. (T34) Ecodesign – další environmentální aspekty výroby, provozu a likvidace obráběcích strojů 107
2.4.3. (T103) Optimálně navržené a provozované periférie strojů 110

2.5. Spolehlivost a bezpečnost 113
2.5.1. (T35) Bezpečnost, spolehlivost a kvalita strojních uzlů a komponent 113
2.5.2. (T36) Analýza rizik při konstrukci strojů 116
2.5.3. (T37) Analýza rizik při provozu strojů 119

2.6. Automatizace a bezobslužnost 122
2.6.1. (T38) Rozvoj automatizace a bezobslužnosti výroby 122
2.6.2. (T39) Autonomní výroba 125

3. Řízení a inteligence 128

3.1. Řízení a mechatronika 129
3.1.1. (T40) Přídavné odměřovací systémy u obráběcích strojů 129
3.1.2. (T101) Inprocesní měření 132
3.1.3. (T41) Odměřování polohy středu nástroje a jeho integrace do řízení 134
3.1.4. (T42) Nové strategie pro zvýšení přesnosti dráhového řízení 137
3.1.5. (T44) Potlačování vibrací s využitím nestandardních softwareových i hardwareových prostředků a řízeným rozbíháním pohonů 140
3.1.6. (T45) Spolehlivější a snazší nasazení senzorů/ aktuátorů 142
3.1.7. (T46) Kompenzace nepřesností víceosých frézovacích center 145

3.2. Teplotně-mechanické chování 148
3.2.1. (T47) Eliminace tepelných deformací obráběcích strojů pomocí inteligentního řízení chlazeni 148
3.2.2. (T48) Predikce teplotních deformací stroje a jejich kompenzace 151
3.2.3. (T49) Měření a kompenzace deformací vřetene a nástroje 155

3.3. Monitorování a diagnostika 158
3.3.1. (T50) Monitorování funkcí a vlastností stroje 158
3.3.2. (T51) Senzorika, zpracování signálu a diagnostika strojů 162
3.3.3. (T54) Zdokonalení vzdálené diagnostiky a zajištění bezpečnosti při provádění testů na dálku 166

3.4. Samostatnost a jednoduchost 169
3.4.1. (T55) Jednoduchá a bezpečná obsluha obráběcích strojů 169

3.4.2. (T56) Koncepce Plug-and-Produce 173
3.4.3. (T57) Inteligentní obráběcí stroje 176

Úvod

Zpracování aktualizace Implementačního akčního plánu (IAP) je součástí řešení projektu „Technologická platforma strojírenská výrobní technika II.“ a navazuje na aktualizovaný dokument „Strategická výzkumná agenda oboru strojírenská výrobní technika“ ze kterého koncepčně a tématicky vychází.

Účelem IAP je formulovat konkrétní návrhy výzkumných témat, jejichž řešením na úrovni podniků, výzkumných organizací a ve spolupráci podniků a výzkumných organizací může docházet k naplňování aktivity oborové strategie SVA pro období 2015-2020. Ve formulacích předkládaných potenciálních výzkumných témat jsou uvedeny cíle, východiska a aktivity pro naplňování potenciálu technologického a technického vývoje popsaného v SVA a které vedou ke zvýšení užitných vlastností obráběcích strojů, ke zvýšení jejich přidané hodnoty a tím ke zvýšení jejich konkurenceschopnosti ve světovém měřítku. Jedná se v podstatě o obecný výzkumný program oboru strojírenské výrobní techniky pro období 2015 – 2020. U každého výzkumného tématu je následující struktura zpracování:

- Navrhovatel
- Vazba tématu na SVA
- Komentář k aktualizaci
- Stručný popis stavu problematiky ve světě
- Současný způsob řešení problematiky v ČR
- Cíle a praktické výstupy pro obor/průmysl
- Vlastní odborné zhodnocení přínosu tématu pro obor a průmysl v ČR
- Způsob dosažení cílů

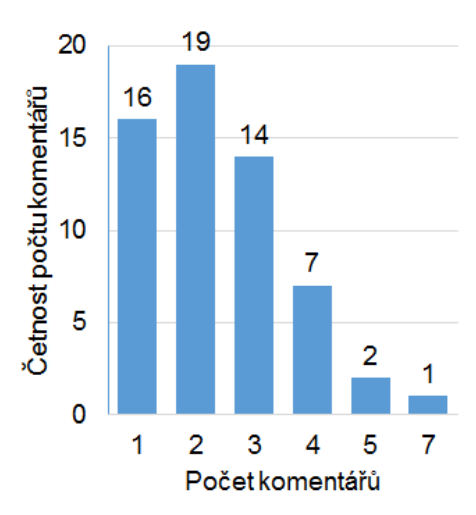
Smyslem vytvoření IAP je inspirovat a směřovat podniky a výzkumné organizace v oboru k řešení perspektivních VaV témat, jejichž řešení povede ke zvyšování konkurenceschopnosti českých obráběcích strojů a českých výrobců obráběcích strojů. Následovat bude příprava společních (kolaborativních) i individuálních projektů výzkumu a vývoje v letech 2015 až 2020. Tyto projekty, které z IAP vychází, mohou být řešeny jednak v rámci plánů technického rozvoje podniků a to baz státní podpory. Výzkumné organizace do jejich řešení mohou být zapojeny v rámci smluvního výzkumu (komerční výzkum ve formně služeb na zakázku). Dále mohou být projekty VaV vycházející z IAP řešeny formou kolaborativního výzkumu mezi podniky a výzkumnými organizacemi s možností žádat a usilovat o státní a evropskou finanční podporu pro řešení takovýchto projektů. Jednou z navazujících aktivit na aktualizovanou SVA a IAP je usilovat o preferování státní podpory pro obor strojírenské výrobní techniky a získat maximální státní podporu oborovým projektů.

Hlavní témata dlouhodobého výzkumu v oboru by mělo řešit v ČR především VCSVTT ve spolupráci s dlouhodobými výzkumnými partnery VUT, ZČU a TUL a dále s podniky v oboru, především sdruženými v SST a TP-SVT.

Tento Implementační akční plán a jeho aktualizace byla zpracována za široké spolupráce s řadou odborníků v oboru a byl rovněž oponován. Připomínky oponentů byly v IAP zohledněny.

Implementační akční plán pro obráběcí stroje a technologie obrábění

Úvod k aktualizaci IAP



Implementační akční plán pro obráběcí stroje prošel po pěti letech revizí. Revize textu se zúčastnilo 27 expertů, kteří dali připomínky celkem k 141 tématům IAP. Průměr 2,5 připomínky na téma ukazuje, že IAP byl komplexně posouzen odborníky z různých oborových specializací. Samozřejmě některá témata byla připomínkována méně a jiná více – četnosti připomínek jsou vidět na přiloženém histogramu. Nejvíce komentářů a aktualizací (celkem od sedmi expertů) byl k tématu *(T03) Optimalizace procesu obrábění*. To ukazuje, že technologie je základním východiskem pro všechny navazující úvahy v oboru.

Aktualizace témat především zohledňovaly posun technického stavu oboru za uplynulých 5 let. Sice se uvádí, že obor obrábění neprodělává revoluci, ale pouze průběžnou evoluci, ale při pohledu o pět let zpátky je vidět hodně výrazný posun ve vnímání mnoha témat. Změny jsou způsobeny především snižováním nákladů na senzory a HW pro zpracování signálů. Dále se významně projevují nové funkce řídicích systémů, které ve standardní konfiguraci umožňují realizovat pokročilé funkce jak ve zpětnovazebním řízení, tak v PLC a komunikaci. Dalším významným vlivem jsou nová pokročilá měřicí zařízení, především laser trackery. V oblasti technologie je nepřehlédnutelný vliv laserových aplikací a hybridních výrobních procesů.

„Klasická témata“, především přesnost a výkonnost, v IAP zůstávají. Pod vlivem uvedených faktorů ale došlo v IAP ke sloučení některých témat, protože za aktuálního stavu techniky nemělo smysl je oddělovat od jiných témat. Tímto způsobem došlo k redukci osmi témat. Na druhou stanu do IAP přibyla 4 nová témata.

Aktualizovaný IAP tedy odráží aktuální stav oboru a dává inspiraci, jakým směrem jít v dalším vývoji obráběcích strojů a technologií v ČR. Pro rychlejší posouzení změn a významnosti témat byla proti minulé verzi ke každému tématu doplněna kapitola „Komentář k aktualizaci“ a „Současný způsob řešení problematiky v ČR“. V tomto odstavci je vidět, že drtivá většina témat je řešena v rámci projektu Centrum kompetence Strojírenská výrobní technika (CK SVT), což potvrzuje význam tohoto projektu jako klíčového pro dlouhodobý oborový výzkum.

Struktura IAP pro Obráběcí stroje – Seznam Témat VaV

Téma	Komentář k finální podobě	Komen-tářů
1. Technologie obrábění		
1.1 Řezné nástroje		
(T01) Materiály a povlaky řezných nástrojů	Téma aktualizováno podle připomínek expertů. Aktualizován název	1
(T02) Zdokonalování konstrukce řezných nástrojů	Téma aktualizováno podle připomínek expertů.	5
1.2 Řezný proces		
(T03) Optimalizace procesu obrábění	Téma aktualizováno podle připomínek expertů. Aktualizován název	7
(T04) Modelování a identifikace řezného procesu	Téma aktualizováno podle připomínek expertů.	5

	Aktualizován název	
(T05) Řezné prostředí a ekologizace obrábění	Téma aktualizováno podle připomínek expertů. Aktualizován název	2
(T06) Výzkum vhodných řezných podmínek pro obrábění těžkoobrobitelných a specifických materiálů	Téma aktualizováno podle připomínek expertů. Aktualizován název	2
(T07) Adaptivní řízení řezného procesu	Téma bylo zrušeno jako samostatné a integrováno do tématu T57.	2
1.3 Výkon obrábění		
(T08) Matematické modelování pro návrh technologie výkonného obrábění	Téma aktualizováno podle připomínek expertů.	3
(T09) Stabilita řezného procesu při víceosém obrábění	Téma bylo zrušeno jako samostatné. Jeho větší část (simulační) je obsažena v tématu T29 (virtuální obrábění). Menší část (experimentální) je obsažena v T50 (monitorování funkcí).	4
(**nové**) (T104) Simulace výrobních procesů	Téma nově doplněno do skupiny 1.3 Výkon obrábění	
1.4. NC programování		
(T10) Diagnostické metody pro návrh technologie výkonného obrábění	Téma aktualizováno podle připomínek expertů.	3
(T11) Metody tvorby postprocesorů pro víceosé a multifunkční NC stroje	Téma aktualizováno podle připomínek expertů.	1
(T12) Simulace a verifikace NC programů	Téma aktualizováno podle připomínek expertů.	4
(T13) Optimalizace NC kódu	Téma aktualizováno podle připomínek expertů. Do tématu zaintegrováno T14 vč. připomínek expertů k němu.	3
(T14) Výzkum speciálních problémů výroby tvarově složitých obrobků	Téma zrušeno jako samostatné a zaintegrované do T13.	2
1.5. Nekonvenční obrábění		
(**nové**) (T102) Výzkum 3D tisku a aditivní technologií pro využití kovových průmyslových dílců	Téma nově doplněno do skupiny 1.5 Nekonvenční obrábění	1
(T15) Hybridní technologie	Téma aktualizováno podle připomínek expertů.	4
(T16) Výzkum možností nahrazení třískového obrábění laserovými technologiemi	Téma aktualizováno podle připomínek expertů.	2

2. Stavba obráběcích strojů

2.1. Koncepce stojů a pohonů		
(T17) Multifunkční stroje	Téma aktualizováno podle připomínek expertů.	3
(T18) Rekonfigurovatelné stroje	Téma aktualizováno podle připomínek expertů.	3
(T19) Nekonvenční koncepce strojů a pohonů pohybových os	Téma aktualizováno podle připomínek expertů.	4
(T20) Vývoj strojů s více pracovními nástroji v řezu	Téma aktualizováno podle připomínek expertů.	2
2.2. Komponenty, skupiny a hlavní nosná struktura		
(T21) Rozšiřování technologických možností komponent strojů	Téma aktualizováno podle připomínek expertů.	1
(T22) Zvyšování přesnosti stavby strojů	Téma aktualizováno podle připomínek expertů.	3
(T23) Unifikace komponent a metody pro jejich výběr	Téma aktualizováno podle připomínek expertů.	1
(T24) Konstrukce se zvýšeným tlumením vibrací	Téma aktualizováno podle připomínek expertů.	2
(T25) Nekonvenční materiály pro obráběcí stroje	Téma aktualizováno podle připomínek expertů.	4
(T26) Predikce vlastností dílců obráběcích strojů z nekonvenčních materiálů	Téma aktualizováno podle připomínek expertů.	2
(T27) Technologické postupy pro zpracování nekonvenčních materiálů pro stavbu obráběcích strojů a jejich komponent	Téma aktualizováno podle připomínek expertů.	1
(T28) Vývoj technických prostředků pro obrábění mikronástroji	Téma aktualizováno podle připomínek expertů. Modifikace názvu.	
2.3. Matematické modely strojů a jejich verifikace		
(T29) Virtuální modely strojů a obrábění	Téma aktualizováno podle připomínek expertů.	3
(T30) Monitorování zátěžných spekter pohonů a vřeten	Vzhledem k rozvinutí monitorovacíh funkcí řídicích systémů bylo téma zrušeno jako samostatné. Jeho obsah byl integrován do T50.	2

(T31) Modely mechanické stavby OS pro virtuální model stroje a optimalizační úlohy	Téma aktualizováno podle připomínek expertů. Aktualizován název	2
(T32) Moderní výpočtové a návrhové postupy nosných struktur a pohonů	Téma aktualizováno podle připomínek expertů.	2
2.4. Ecodesign		
(T33) Snižování energetické náročnosti obráběcích strojů	Téma aktualizováno podle připomínek expertů.	3
(T34) Ecodesign – další environmentální aspekty výroby, provozu a likvidace obráběcích strojů	Téma aktualizováno podle připomínek expertů. Modifikace názvu.	3
(**nové**) (T103) Optimálně navržené a provozované periférie strojů	Téma nově doplněno do skupiny 2.4 Ecodesign	1
2.5. Spolehlivost a bezpečnost		
(T35) Bezpečnost, spolehlivost a kvalita strojních uzlů a komponent	Téma aktualizováno podle připomínek expertů.	1
(T36) Analýza rizik při konstrukci strojů	Téma aktualizováno podle připomínek expertů.	1
(T37) Analýza rizik při provozu strojů	Téma aktualizováno podle připomínek expertů.	1
2.6. Automatizace a bezobslužnost		
(T38) Rozvoj automatizace a bezobslužnosti výroby	Téma aktualizováno podle připomínek expertů.	1
(T39) Autonómní výroba	Téma aktualizováno podle připomínek expertů.	3

3. Řízení a inteligence

3.1. Řízení a mechatronika		
(T40) Přídavné odměřovací systémy u obráběcích strojů	Téma aktualizováno podle připomínek expertů.	3
(**nové**) (T101) Inprocesní měření	Téma nově doplněno do skupiny 3.1 Řízení a mechatronika	1
(T41) Odměřování polohy středu nástroje a jeho integrace do řízení	Téma aktualizováno podle připomínek expertů.	2
(T42) Nové strategie pro zvýšení přesnosti dráhového řízení	Téma aktualizováno podle připomínek expertů. Rozšířeno o integrované téma T43.	4
(T43) Adaptivní řízení pohonů s kompenzací dynamiky stroje a odchylek polohy nástroje	Téma bylo jako samostatné zrušeno a zaintegrováno do T42, protože z praktických důvodů se obě témata zaměřovala hlavně na kaskádní regulaci.	4
(T44) Potlačování vibrací s využitím nestandardních softwareových i hardwareových prostředků a řízeným rozbíháním pohonů	Téma aktualizováno podle připomínek expertů.	3
(T45) Spolehlivější a snazší nasazení senzorů/ aktuátorů	Téma aktualizováno podle připomínek expertů.	1
(T46) Kompenzace nepřesností víceosých frézovacích center	Téma aktualizováno podle připomínek expertů.	3
3.2. Teplotně-mechanické chování		
(T47) Eliminace tepelných deformací obráběcích strojů pomocí inteligentního řízení chlazeni	Téma aktualizováno podle připomínek expertů.	2
(T48) Predikce teplotních deformací stroje a jejich kompenzace	Téma aktualizováno podle připomínek expertů.	3
(T49) Měření a kompenzace deformací vřetene a nástroje	Téma aktualizováno podle připomínek expertů.	2
3.3. Monitorování a diagnostika		
(T50) Monitorování funkcí a vlastností stroje	Téma aktualizováno podle připomínek expertů.	2
(T51) Senzorika, zpracování signálu a diagnostika strojů	Přepracováno jako integrované téma v oblasti senzoriky a zpracování signálu. Změna názvu tématu.	2
(T52) Bezdrátová senzorika	Zrušeno jako samostatné téma a integrováno do T51.	2
(T53) Pokročilé vyhodnocování signálů	Zrušeno jako samostatné téma a integrováno do T51.	2
(T54) Zdokonalení vzdálené diagnostiky a zajištění bezpečnosti při provádění testů na dálku	Téma aktualizováno podle připomínek expertů.	2
3.4. Samostatnost a jednoduchost		
(T55) Jednoduchá a bezpečná obsluha obráběcích strojů	Téma aktualizováno podle připomínek expertů.	1
(T56) Koncepce Plug-and-Produce	Téma aktualizováno podle připomínek expertů.	1
(T57) Inteligentní obráběcí stroje	Téma aktualizováno podle připomínek expertů.	1

1. Technologie obrábění

1.1. Řezné nástroje

1.1.1. (T01) Materiály a povlaky řezných nástrojů

Navrhovatel

- Ing. Pavel Zeman, Ph.D. a kol. (ČVUT v Praze)

Vazba tématu na SVA

- (U:1)
- Zdokonalování geometrie břitu včetně utvařečů třísek, řezných materiálů a povlaků… (A-zdokonalené řezné nástroje-2)

Komentář k aktualizaci

- Téma zaměřené na řeznou hranu, nejbližší navazující části nástroje (tvar hřbetu a čela vč. utvařečů třísky – „mikrogeometrie“), způsob jejich výroby a povlakování. Téma je v oblasti technologie obrábění klíčové. Jakost a cena řezných nástrojů ve velké míře rozhoduje o výsledné produktivitě a hospodárnosti obrábění dílců. Nejde jen o životnost nástrojů, ale o soubor vlastností, ke kterým patří i vhodnost utváření třísek, minimalizace silového zatížení, odolnost proti zatížení a teplotám. Současně s vývojem nových řezných materiálů je třeba řešit i metodiku pro jejich testování a stanovování jejich možností.

Stručný popis stavu problematiky ve světě

- Problematika řezných materiálů sice neoddiskutovatelně úzce souvisí s konstrukcí řezných nástrojů (především pak s volbou vhodné geometrie břitu), je to však natolik složitá a široká problematika, že si vyžaduje řešení v rámci samostatného výzkumného úkolu.
- Je známo, že 70% výkonu řezného nástroje je dáno materiálem jeho břitu. Vývoj a zdokonalování řezných materiálů a povlaků se však nevztahuje jen k samotnému chemickému složení materiálů a povlaků, přestože pro dosažení optimálních vlastností břitu důležité. Podstatná je také technologie zpracování a úpravy řezného materiálu a povlaku a kvalita polotovaru pro řezné nástroje. V rámci historického vývoje řezných nástrojů se objemy použití jednotlivých hlavních skupin řezných materiálů (rychlořezné oceli, slinuté karbidy, cermety, řezná keramika, kubický nitrid boru a diamant) stále mění. V současné době se těžiště aplikace řezných materiálů soustředilo především do oblasti slinutých karbidů a dále pak do supertvrdých řezných materiálů. [Humár, A.: Materiály pro řezné nástroje]. Budoucí vývoj nástrojů leží dle uvedené literatury především v oblasti současného zvyšování dvou nejdůležitějších vlastností řezných materiálů: tvrdosti (možnost zvyšování řezné rychlosti) a houževnatosti (možnost zvyšování posuvové rychlosti). Vývoj řezných materiálů tak směřuje do optimalizace vlastností rychlořezných ocelí vyrobených práškovou metalurgií, gradientně připravených slinutých karbidů, vlákny vyztužené řezné keramiky, nebo laserem připraveného diamantového břitu s tvrdostí na úrovni přírodního diamantu s vytvořeným utvařečem třísek [výstava EMO 2009 prospekty firmy BECKER; Zeman, P: Technologie obrábění na EMO 2009].
- Situace v oblasti vývoje povlaků pro řezné nástroje je zaměřena na stále větší specializaci jednotlivých povlaků pro konkrétní aplikace. Proto je neustále rozšiřováno spektrum nabízených povlaků o zcela nové nebo modifikované stávající povlaky. K nejnovějším modifikacím povlaků

patří především multivrstvé, diamantové, nanokompozitní, gradientní, inteligentní, supermřížkové povlaky, povlaky s řízenou orientací struktury nebo povlak z kubického nitridu boru. Další možností, jak lze díky povlakování dosáhnout zvýšení trvanlivosti, tvrdostia houževnatosti je využití laserových technologií. S uplatněním laseru jako lokálního zdroje energie je možno modifikovat základní materiál ve specifických místech bez nežádoucího ovlivnění okolí. Výhodami jsou rovněž ovladatelnost a kontrola procesu nanášení povlaku a z toho plynoucí vysoká přesnost polohy vytvářeného povlaku. Další výhodou je možnost vytvářet vrstvy s kontrolovanou tloušťkou. Velký vliv na funkční vlastnosti povlaku má samozřejmě také technologie nanesení povlaku nebo úprava břitu před nebo po nanesení povlaku (stripping, omílání břitu, mokré pískování, apod.).

- Úpravám břitu nástroje před a po nanesení povlaku je dnes věnována velká pozornost. Je prokázáno, že vhodně zvolené způsoby úpravy břitu jako je omílání, tryskání, broušení, kartáčování, honování, aj. mohou vest k několika násobnému zvýšení životnosti břitu v řezu u různých (I těžkoobrobitelných) materiálů. To bylo například naposledy popsáno v [K.D. Bouzakis: Effect of cutting edge preparation of coated tools on their performance in milling various materials, CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology 2014]. Tyto úpravy totiž řízeně zvětšují poloměr ostří, zahlazují povlak a defekty po broušení, mění tahová napětí na tlaková a tím zvyšují unosnost a životnost řezné hrany.
- Nedílnou součástí výzkumu a vývoje nových řezných materiálů a povlaků je návrh vhodné metodiky pro testování jejich výsledných vlastností. Není ještě stále možné zcela přesně simulovat či jinak věrohodně definovat výsledné vlastnosti řezného materiálu, povlaku nebo celého břitu nástroje (trvanlivost břitu, velikost sil, generovaného tepla, utváření třísek, atp.) bez provádění řezných zkoušek, ale i dalších experimentálních testů. Nicméně experimentální testování každého z nově vyvíjených nástrojů, materiálů a povlaků je velmi časově a finančně náročné. Skladba zmíněných testů, jejich podoba, způsob jejich provádění a analýza dosažených výsledků je do velké míry subjektivní návrh konkrétních pracovníků. Efektivita testování konkrétních produktů tak je silně propojena se zkušenostmi odpovědného pracovníka.

Současný způsob řešení problematiky v ČR

- Téma je řešeno především v rámci interních vývojových projektů českých výrobců nástrojů (např. Pramet, Unicut) a povlaků (např. SHM). Při experimentech participuje také VCSVTT ČVUT v Praze.

Cíle a praktické výstupy pro obor/průmysl

- Výzkum a vývoj řezných materiálů a povlaků s modifikovanými vlastnostmi pro možnost dosahování vyšších řezných podmínek při obrábění, delší životnosti břitu, větší jakosti obrobku a obrábění bez užití procesních kapalin. Vyvíjet inteligentní řezné materiály s možností detekce přetížení a hrozících poruch.
- Výzkum a vývoj řezných materiálů a povlaků připravených přímo pro konkrétní technologie obrábění s potřebnými vlastnosti (tvrdost, houževnatost, odolnost vůči působení vysokých teplot, frikční vlastnosti).
- Výzkum a vývoj úprav břitů pro zvyšování hospodárnosti a efektivity obrábění
- Výzkum a vývoj metodiky testování řezných materiálů, povlaků a břitů

Vlastní odborné zhodnocení přínosu tématu pro obor a průmysl v ČR

- Zlepšené vlastnosti řezných materiálů a povlaků povedou k možnosti dalšího zvyšování řezných podmínek, což má přímou souvislost s výslednou produktivitou výroby či hospodárností výroby. Body řešení týkající se samotného výzkumu a vývoje řezného materiálu a povlaku jsou svým zaměřením bližší pro vědecká pracoviště s chemickým, fyzikálním a materiálovým zaměřením či

zaměřením na nanotechnologie. VCSVTT zde může figurovat jako partner pro návrh, realizaci a analýzu výsledků experimentálního testování nově vyvinutých variant řezných materiálů, povlaků a nástrojů a úprav jejich břitů.

- Jednoznačným přínosem pro obor by také měla být optimalizovaná metodika testování řezných nástrojů, jejíž uplatnění by vedlo ke snižování nákladů na testování nových řezných nástrojů před jejich zavedením do výrobního portfolia. Uplatnění metodiky by také mělo vést ke zkrácení času pro zavedení nového produktu na trh.
- Přínosem pro obor by měly být také pravidelné publikace z výsledků výzkumu, které by napomáhaly interpretaci výsledků výzkumných úkolů, a tedy rychlejšímu přenosu novinek do průmyslové praxe.

Způsob dosažení cílů

- Sledování výzkumných a vývojových trendů v oblasti, definice problémů a možností zdokonalování stávajících řezných materiálů a povlaků.
- Vývoj nových řezných materiálů a povlaků, včetně vývoje technologií jejich přípravy.
- Testování prototypů pro zjištění základních chemických, mechanických a fyzikálních vlastností.
- Návrh a ověření metodiky pro efektivní testování prototypů řezných nástrojů a povlaků.
- Komplexní testování připravených prototypů při řezných zkouškách a případná modifikace vlastností. Zavedení nového výrobku na trh.

Doporučený řešitel

- VCSVTT; chemicko-technologická výzkumná pracoviště (např. VŠCHT); výrobci řezných nástrojů; výrobci ochranných povlaků; centrum ICDAM ČVUT; příslušné útvary AVČR; technické univerzity v ČR.

1.1.2. (T02) Zdokonalování konstrukce řezných nástrojů

Navrhovatel

- Ing. Pavel Zeman, Ph.D. a kol. (ČVUT v Praze)

Vazba tématu na SVA

- (U:1, 2, 3)
- Zdokonalování geometrie břitu včetně utvařečů třísek. Zvýšení stability řezu, trvanlivosti břitu nástroje a kvality obrobeného povrchu. *(A-Zdokonalené řezné nástroje-2)*
- Zdokonalení upnutí nástrojů i řezných destiček, nástrojových upínačů a rozhraní. Zdokonalení chlazení. *(A-Zdokonalené řezné nástroje-3)*
- Simulace funkce nástroje ve fázi jeho návrhu, *(A-Zdokonalené řezné nástroje-3)*

Komentář k aktualizaci

- Téma zaměřené na „makrogeometrii“ nástrojů, tj. tvar a rozměry těles nástrojů vč. makrotvaru ostří (nepravidelná poloha VBD, proměnlivé stoupání šroubovice atd.). Vhodné jak pro moderní nástroje pro vysoké řezné rychlosti, vysoká silová zatížení nebo s nedostatečnými dynamickými vlastnostmi (stabilita obrábění u vyložených nástrojů). Protože těleso nástroje je součástní nosného řetězce přenášejícího řezné síly v soustavě stroj-nástroj-obrobek, je téma doplněno také o simulace vlivu nástroje na strukturální chování celé soustavy.

Stručný popis stavu problematiky ve světě

- Neustálá potřeba zvyšování produkce či snižování nákladů při obrábění s sebou přináší zvýšené nároky na řezné nástroje. Vedle materiálu břitu a volby povlaku řezný proces silně ovlivňuje také samotná konstrukce nástroje – jeho geometrie (i mikrogeometrie), způsob upnutí vyměnitelných břitových destiček, velikost zubové mezery, konstrukce tělesa nástroje nebo upínače, způsob přívodu chladicího média. V řadě výzkumných prací bylo prokázáno, že všechny tyto aspekty mají vliv jak na kvalitu obrobeného povrchu, trvanlivost břitu nástroje, tak také na velikost mezních hloubek řezu z pohledu stability řezání. V neposlední řadě je se zvyšujícími se řeznými podmínkami spojena také bezpečnost nástrojů. Tato problematika je u nástrojů pro vysokorychlostní obrábění řešena např. v [Leopold, J: Werkzeuge für Hochgeschwindigkeistbearbeitung].
- Optimální geometrie břitu nástroje je u většiny výrobců řezných nástrojů spojena s výrobou prototypových tvářecích nástrojů (mnohdy velmi nákladnou – výroba speciálních razníků a matric pro každou navrženou geometrii) a s jejich následným dlouhodobým testováním. Vývoj laserových technologií nám v současnosti umožňuje rychlou a relativně levnou výrobu prototypů nástrojů (metoda Rapid Prototyping) s konkrétní geometrií břitu (např. vytváření optimálních tvarů utvařečů třísky), a to nejen u nástrojů ze slinutého karbidu, ale také u materiálů jako je řezná keramika (oxidická i neoxidická), kubický nitrid boru nebo diamant. Laserové technologie byly zkoušeny na různých typech laserů s cílem stanovit optimální výsledky pro konkrétní nástroj. S tím samozřejmě souvisí také zhodnocení kvality a časové náročnosti jednotlivých technologií. V případě použití vhodné technologie je dosaženo výrazné úspory nákladů, zlepšení funkčních vlastností a zvýšení trvanlivosti břitu nástrojů. Nákladné a zdlouhavé experimentální testování nově navržených nástrojů lze posléze minimalizovat volbou nejvhodnějších variant

prostřednictvím simulací řezného procesu. Simulace procesu je dnes ve fázi návrhu nástroje používána především ve vztahu k poobě utvářené třísky. Na základě toho je možné provést první volbu utvařeče třísek, které budou dále vyvíjeny, a to včetně praktických testů obráběním. V současn době je hlavním cílem zvyšování přesnosti vyrobené geometrie a dosažení nejlepších vlastností obrobené povrchové vrstvy.

- Jelikož jsou řezné nástroje a upínače dynamicky namáhané soustavy, je třeba z tohoto hlediska navrhnout a optimalizovat také konstrukci celých nástrojových systémů (ne jen geometrií břitu). Přístupy k návrhu nástrojů jsou dnes v České republice řešeny především na bázi úpravy stávajících konstrukcí nástrojových systémů a simulací MKP při statickém zatížení. V souvislosti s tím bude třeba řešit problematiku působení sil od rotace nástroje nebo působení rázů na nástroj při přerušovaném řezu. Spolu s teoretickým řešením bude třeba vytvořit zařízení pro ověřování a kontrolu. S ohledem na neustálý vývoj v oblasti technických materiálů, kdy jsou zvyšovány jejich mechanické a fyzikální vlastnosti je třeba zaměřit pozornost také na využití těchto materiálů v oblasti návrhu nástrojových sestav a řezných nástrojů. Jedním z takových materiálů mohou být kompozitní materiály, jež díky svým vlastnostem nacházejí stále větší uplatnění v průmyslových aplikacích (letectví, automobilový průmysl, energetika, strojírenství).
- V současnosti vyvstává potřeba matematické simulace chování nástroje při obrábění jako součásti poddajné soustavy stroj-obrobek zatížené nelineárními řeznámi silami (viz T04). Spolehlivá predikce chovaní nástroje při zatížení řezným procesem umožní rychlý a efektivní vývoj nástroje podle daných požadavků pro definovanou operaci. Tatový virtuální model nástroje umožní snížení počtu experimentů nutných při standardním postupu vývoje nástroje.
- Integrálně je věnována pozornost také vývoji anti-chatter řešení řezných nástrojů, která vedou ke snížení řezných sil či zmírnění periodických silových rázů [Borovan, Mašk, Fojtů: Nástroje a nástrojové soustavy. Seminář SpOS Obráběcí stroje a technologie na EMO 2013 Hannover].

Současný způsob řešení problematiky v ČR

- Téma je řešeno především v rámci interních vývojových projektů českých výrobců nástrojů (např. Pramet, Unicut). Při experimentech a v některých případech i při simulacích chování participuje také VCSVTT ČVUT v Praze.

Cíle a praktické výstupy pro obor/průmysl

- Vyvinout metodiku pro optimalizaci nástroje z hlediska jeho konstrukce, geometrie břitu a upnutí. Řešit uplatnění nových a původních konstrukčních prvků u různých typů řezných nástrojů. Vyvinout a sestrojit zařízení pro testování bezpečnosti nástrojů a únosnosti kritických částí nástroje.
- Vyvíjet dokonalejší řezné nástroje pro zvýšené nároky ve výrobě. Vývoj nástrojů s modifikovanými vlastnostmi (větší tuhost, větší tlumení, vyšší ohybová pevnost, atd.), pro možnost jejich nasazení při vyšších řezných podmínkách. Vývoj málo hmotných nástrojových sestav. Vývoj inteligentních nástrojových sestav umožňujících ve zpětné vazbě změnit podmínky řezného procesu a přizpůsobit stavu nástroje a především procesu obrábění. Využití MKP modelů a simulací (včetně dynamických vlastností a simulace řezného procesu) při návrhu prototypů řezných nástrojů.
- Matematický model nástroje propojený s náhradní poddajnou soustavou stroj-obrobek při nelineárním procesu řezu (vazba na T04) umožní predikci chování řezného nástroje při konkrétním řezném procesu. Parametrizace matematického modelu a jeho následné využití pro optimalizaci konstrukce nástroje.

Vlastní odborné zhodnocení přínosu tématu pro obor a průmysl v ČR

- Optimalizace postupů při návrhu, vývoji a výrobě prototypů nových řezných nástrojů umožní zlevnění jejich výroby, stejně jako zkrácení času mezi návrhem nástroje a jeho zařazením mezi komerčně nabízené produkty. Integrace nových konstrukčních prvků pak napomůže k dalšímu zvyšování produktivity výroby, snižování výrobních nákladů v obrobnách a zvýšení bezpečnosti obráběcích provozů.
- Citlivostní studie vlivu uzlů nástroj, stroj, obrobek, proces na výsledek obrábění umožní nalezení uzlu s největším vlivem na výsledek obrábění.
- Matematický model nástroje, stroje, obrobku, procesu umožní simulovat proces a zkrátit čas a snížit náklady na testování.
- Parametrizovaný matematický model umožní optimalizaci návrhu nástoje podle daných požadavku na jeho využití. Snížení nákladů na vývoj nástroje. Zrychlení vývoje.
- Výběr vhodného nástroje pro konkrétní stroj a obrábění. Snížení nákladů na ladění technologie. Zrychlední ladění technologie.

Způsob dosažení cílů

- Doplnění znalostí konkrétních problematik na téma simulace řezného procesu, simulace konstrukce řezných nástrojů a zhodnocení vlivu konstrukce nástroje na řezný proces.
- Sestavení a ověřování metodiky pro řešení návrhu a optimalizace konstrukce řezných nástrojů. Využití teorie navrhování řezných nástrojů. Využití modelu řezných sil a výpočetních metod MKP pro optimalizaci návrhu nástrojů.
- Návrhou a realizovat zařízení pro testování bezpečnosti nástrojů únosnosti jeho kritických částí.
- Testování optimalizovaných variant řezných nástrojů a jejich účinků na řezný proces – dlouhodobější experimentální testy. Verifikace navržené metodiky na základě vyhodnocení provedených experimentů. Testování by mělo probíhat na všech dotčených pracovištích uvedených v řešitelském týmu.
- Na základě podoby verifikované metodiky vývoje řezných nástrojů vyřešit vzájemnou součinnost jednotlivých softwarových nástrojů pro návrh, konstrukci, výpočet a ověření prototypu řezného nástroje.
- Citlivostní studie propojené sestavy nástroj, stroj, obrobek, proces. Ve studii bude využit virtuální model stroje a experimentálně identifikovaných substruktur. Bude využit experimentální substructuring k identifikaci FRF či stavových popisů jednotlivých uzlů a jejich následné propojování v ruzných sestaveních.
- Vývoj matematického modelu nástroje a řezného procesu. Experimentální identifikace dynamické poddajnosti nástroje a řezných sil. Verifikace matematické modelu experimentem.
- Parametrizace experimentálně verifikovaného matematického modelu. Využití optimalizačních metod pro optimalizaci nástroje podle daných požadavků.
- Výběr nástroje pro konkretní stroj a technologii využije připravěný matematických model nástroje a řezu a propojí ho s virtulním modelem stroje. Pak lze pro daný proces nalézt nejvhodnější nástroj z dané množiny.
- 3 lidé z VCSVTT; 2 lidé z AVČR; 1 člověk z Ústavu materiálového inženýrství na ČVUT FSI; 3 lidé ze spolupracujících podniků (výrobce nástrojů, vývoj povlaků, výroba nekonvenčních materiálů).

Doporučený řešitel

- VCSVTT; výrobci řezných nástrojů; výrobci nekonvenčních materiálů a výrobci kompozitních dílů; AVČR; Ústav materiálového inženýrství na ČVUT FSI v Praze.

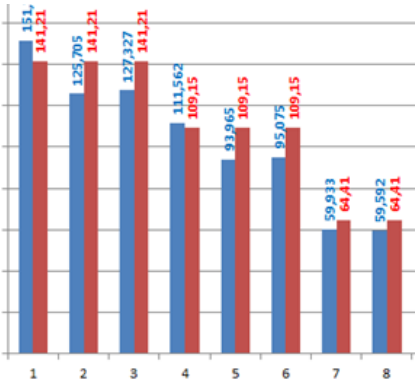
- Část tématu: „…simulace dopadu technologie s daným nástrojem na životní prostředí (vzhledem k jeho životnosti a spotřebě energie a chladiva).“ řešit ve spojení s výzkumem v rámci tématu (T33) Snižování energetické náročnosti obráběcích strojů.

1.2. Řezný proces

1.2.1. (T03) Optimalizace procesu obrábění

Navrhovatel

- Ing. Pavel Zeman, Ph.D. a kol. (ČVUT v Praze)



Vazba tématu na SVA

- (U: 4, 20, 21, 22)
- Optimalizace řezných podmínek z hlediska minima nákladů, maximální produktivity výroby, maximální dosahované jakosti povrchů. Predikce životnosti nástrojů, potřebného objemu procesních kapalin, stability řezu, energetických nároků na obrábění a dopadů na životní prostředí. (A-Optimální řezné podmínky známých, ověřených technologií obrábění-1)
- VaV systematických metod pro sledování výrobních nákladů při obrábění a souvisejících procesech výroby. Systémy pro monitorování využití a trvanlivosti břitu nástrojů, průběhu výroby, výrobních časů a využití strojů, systémy evidence procesů nad obrobkem. (A-Snižování výrobních nákladů-2)
- Snižování výrobních nákladů obráběcích strojů s využitím optimalizace technologie obrábění (druh nástrojů, speciální nástroje, řezné podmínky, řezné kapaliny, CAM strategie, upínání a výměna obrobků, atd.). (A-Snižování výrobních nákladů-2)
- Vyjádření vlivu snižování nákladů na výslednou kvalitu výroby. (A-Snižování výrobních nákladů-2)

Komentář k aktualizaci

- Rozsáhlé a významné téma. Nejvyšším cílem je minimalizace celkových nákladů. To je založeno na správně nastaveném procesu. Kromě volby řezných podmínek je tedy doplněna i volba strategie obrábění a to především ve vazbě na růst podílu obrábění moderních, často těžkoobrobitelných materiálů (Ti a Ni slitiny, korozivzdorné oceli, kompozitní materiály). Uvažovány jsou tradiční metody obrábění (na rozdíl od tématu T06, které se věnuje obrábění těžkoobrobitelných materiálů i pohledem nekonvenčních a hybridních technologií).

Stručný popis stavu problematiky ve světě

- Optimalizace výrobního procesu je prováděna při zavádění každého nového typu obrobku do výroby. Optimalizace se nejčastěji realizuje ve vztahu k jakosti obrobku, minimálním nákladům na výrobu nebo maximální produktivitě výroby, kdy jednotlivé přístupy jsou detailně popsány v [Mádl, Kvasnička: Optimalizace výrobních procesů]. V provozech se však často jedná o provádění velmi zjednodušené a omezené optimalizace s nepřesnými závěry a výsledky. Optimalizace by měla být prováděna detailněji (např. s promítnutím hodinové sazby stroje do výrobních nákladů, posuzováním produktivity výroby dle skutečného vytížení stroje, apod.). V první fázi je třeba realizovat návrh vhodného postupu výroby součásti. Ukazuje se, že volba vhodných operací a jejich sledu, rozmístění pracovišť, typů strojů, velikosti výrobních dávek, možnost náhrady a sdružování operací je prvním krokem k výrazné úspoře výrobních nákladů

nebo zvýšení produktivity výroby. Stále více je proto dnes vyžadována podpora výroby v oblasti projektování a modelování výrobního procesu. K tomu účelu už dnes slouží komerční sw nástroje (např. sw Technomatix, od firmy SIEMENS). Následovat by měla důkladná a přesná optimalizace řezného procesu (již konkrétních obráběcích operací). Jde o optimalizaci řezných podmínek. Tato optimalizace však vychází z řady technicko-ekonomických ukazatelů. I na základě vlastních zkušeností se však ukazuje, že stanovení těchto ukazatelů často je pro výrobní podnik velkým a obtížně řešitelným problémem, a to i vzhledem ke složitosti některých technicko-ekonomických ukazatelů.

- Zdokonalení optimalizačních technik spočívá v takovém optimalizačním modelu, který by dokázal složitý komplexní optimalizační model zjednodušit, při maximálním zachování jeho přesnosti. Mohl by rovněž podnikům nabídnout návod pro výpočet vlastních a v podniku dosud nestanovených technicko-ekonomických ukazatelů potřebných pro samotnou optimalizaci výroby.
- Vedle běžných a již řešených metod projektování a modelování výrobního procesu, stejně jako optimalizace již na úrovni řezných podmínek existuje myšlenka optimalizovat také volbu vhodného nástroje, řezného prostředí, CAM strategie nebo upínání a výměny obrobků. Všechny tyto aspekty se samozřejmě spolupodílejí na velikosti výrobních nákladů. Podíl konkrétní změny v technologii obrábění se ovšem bude v celkových výrobních nákladech promítat odlišně. Příprava obecných optimalizačních technik pro zahrnutí všech těchto aspektů bude obtížně řešitelný úkol. Je třeba jej však řešit v jednotlivých dílčích krocích.

Současný způsob řešení problematiky v ČR

- Téma je v současné době řešeno především v rámci WP2 projektu CK SVT ve spolupráci VCSVTT ČVUT v Praze a výrobců obráběcích strojů. Částečně se téma dotýká i některých dalších výzkumně-vývojových projektů realizovaných ve spolupráci firem a VCSVTT. Příkladem jsou projekty „Produktivní obrábění přesných obrobků“ (TAČR Alfa, Kovosvit MAS + ČVUT v Praze, optimalizace obrábění těžkoobrobitelných materiálů) nebo „Fibrechain“ (projekt 7.RP EU, ČVUT v Praze, vývoj nástrojů a optimalizace obrábění kompozitových materiálů CFRP).

Cíle a praktické výstupy pro obor/průmysl

- Připravit obecný optimalizační model pro návrh a řešení výrobních operací, a to jak na úrovni plánování, modelování výrobního procesu, tak i při optimalizaci samotného řezného procesu. Optimalizace by měla probíhat dle dvou základních principů - minimálních výrobních nákladů na obrábění nebo maximální produktivity výroby (při zachování požadované kvality obrobku) s uvažováním jen těch ukazatelů, které mají na velikost výrobních nákladů největší vliv. Po verifikaci modelu aplikovat výpočet v konkrétním provozu obrobny. Nezbytnou podmínkou je ovšem velká univerzálnost a flexibilita modelu.
- Na úrovni optimalizace výrobního postupu dílce (= seskupení výrobních operací pro jeden dílec) bude model zahrnovat také grafické prostředí pro zobrazení posloupnosti výrobních operací pro výrobu daného dílce včetně jejich časové náročnosti, případně vyjádření nákladů na danou operaci v závislosti na spotřebovaném čase. Bude tak umožněna detekce nejméně produktivních míst v procesu výroby, kde by měla být aplikována optimalizace.
- Využití víceparametrické optimalizace pro komplexní posouzení vazby vstupních parametrů (řezné podmínky, životnost, velikost řezných sil aj.) na výstupní parametry (celkové náklady operace/technologie, zatížení dílce aj.)

Vlastní odborné zhodnocení přínosu tématu pro obor a průmysl v ČR

- Připravený optimalizační model umožní rychlou a relativně jednoduchou optimalizaci procesu obrábění v každém výrobním podniku zabývajícím se obráběním. Přínosem tak budou buď

úspory ve výrobních nákladech, nebo optimální plynulost a produktivita výroby pro zajištění konkrétní zakázky.

Způsob dosažení cílů

- Definice možných řešení ale aktuálního stavu optimalizace.
- Využití SW pro optimalizaci výrobních operací a pracovních podmínek při jejich návrhu nebo změně a sestavení modelu pro optimalizaci řezných podmínek
- Citlivostní analýza pro zhodnocení všech vstupů uvažovaného optimalizačního modelu. Výběr parametrů pro tvorbu modulu vstupních dat do optimalizačního modelu.
- Vývoj metod monitoringu řezného procesu na NC strojích (využití informací o době nasazení nástroje, řezných podmínkách, výkonu na vřeteni, apod.) pro další sběr informací o řezném procesu při konkrétních podmínkách
- Sestavení modelu, databáze nezbytných empirických údajů. Oživení modelu. Aplikace modelu úběru materiálu a modelu řezných sil.
- Verifikace modelu a jeho nasazení v konkrétních aplikacích.
- 3 osoby z VCSVTT a vysokoškolských pracovišť + 3 osoby za spolupracujících podniků

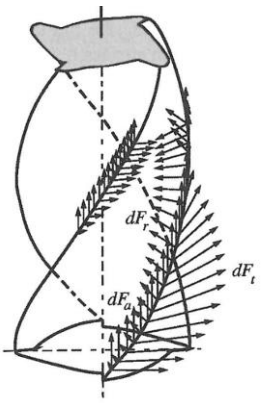
Doporučený řešitel

- VCSVTT; ekonomicky zaměřené VŠ nebo ústavy na VŠ; technicky zaměřené VŠ a jejich jednotlivé součásti (např. ČVUT FSI - Ústav obrábění, VUT Brno - Ústav strojírenské technologie); uživatelé výrobních strojů a výrobní podniky v ČR.

1.2.2. (T04) Modelování a identifikace řezného procesu

Navrhovatel

- Ing. Pavel Zeman, Ph.D., Ing. Matěj Sulitka, Ph.D. a kol. (ČVUT v Praze)



Vazba tématu na SVA

- (U: 5)
- VaV matematických modelů řezného procesu, zdokonalování experimentálních technik pro analýzu řezného procesu a tvorba software pro spolehlivou a rychlou optimalizaci řezných podmínek dle zvolených kritérií. Rozšíření CAM o optimalizaci řezných podmínek již ve fázi návrhu obrábění. *(A-Optimální řezné podmínky (známých, ověřených technologií obrábění-1)*

Komentář k aktualizaci

- Téma je zaměřené především na modelování řezných sil ve všech výzkumných směrech – od simulace MKP až po mechanistické modely identifikované z experimentů. Modelování řezných sil je klíčovým vstupem do dimenzování strojů, nástrojů i pro simulace virtuálního obrábění. Dotýká se možnosti rychlého a univerzálního vyhodnocení obráběcího procesu v předvýrobní fázi. Potřebnost tématu je ověřena v segmentu výrobců i uživatelů obráběcích strojů a jejich uživatelů. Téma uzce souvisí s T02 a T03. Doplněn je navíc vliv dynamických sil na hranici stability obrábění.

Stručný popis stavu problematiky ve světě

- Výzkum a vývoj matematických modelů řezného procesu je v dnešní podobě vyřešen ve třech základních podobách. Nejsofistikovanější přístup, který spojuje materiálové modelování a metodu konečných prvků umožňuje na tvarově téměř dokonalých modelech řezných nástrojů 3D (včetně veškerých úhlů, rádiusů, fazetek a a utvařečů třísek) simulaci jednoho až několika záběrů břitu řezného nástroje. Takový typ produktu je nabízen již i komerčně [www.thirdwavesys.com, sw AdvantEdge nebo sw DEFORM 3D]. Jde o časově velmi náročné výpočty s možností predikce sil, teplot, napětí v obrobeném povrchu, atd. Vzhledem k důkladnému zpracování výpočtu a okrajových podmínek lze předpokládat u takového sw dnes maximálně možnou shodu s reálným řezným procesem. Což však neplatí pro celou škálu řezných podmínek. Je tak velmi obtížné předem stanovit jaká bude přesnost simulační modelu vzhledem k reálným hodnotám. To velmi znesnadňuje použití takového modelu v praxi. Druhým řešením modelování řezného procesu pak jsou modely založené na geometrickém charakteru řezného procesu [např. modul sw CutPro, příslušná teorie popsaná v CIRP od Prof. Altintase], které na základě vstupních experimentálních dat vztahujících se k příslušnému obráběnému materiálu a řeznému nástroji dokáží z geometrických poměrů predikovat řezné síly, případně teploty v lokálních oblastech. Řada zjednodušení (především tvar a geometrie nástroje, materiálu břitu, povlaku) však předurčuje už od počátku tento model k větší nepřesnosti predikce. Velkou výhodou je ovšem rychlost výpočtu v řádech max. několika desítek sekund. Model však nezahrnuje opotřebení břitu nástroje, což je jeden z velmi zásadních nedostatků při sledování řezného procesu a pro následnou aplikaci optimalizačních postupů. Třetí modelovací technikou je způsob, kdy na základě experimentálních testů jsou definovány empirické konstanty definující velikost vlivu jednotlivých důležitých řezných podmínek (řezná rychlost, posuv, axiální

a radiální hloubka řezu). Tento způsob je sice nejpřesnější a i velmi spolehlivý, vyžaduje však vždy pro konkrétní kombinaci řezný nástroj-materiál obrobku rozsáhlé experimentální testování. Je proto velmi časově, kapacitně i finančně náročný. Z tohoto hlediska je pro praxi téměř nepoužitelný.

- Dnes běžné experimentální techniky jsou omezeny dvěma hlavními faktory: rychlostí určení potřebné měřené veličiny (příprava měření, „off-line“ vyhodnocení často velkého množství dat) a pak složitostí řezného procesu - experimentální techniky v případě použití rotačních nástrojů (broušení, frézování, vrtání). Pro inovace dnes běžných experimentálních technik je vedle bezdrátových technologií (např. u již komerčně dostupných řešení tzv. Inteligentních nástrojů nebo Senzoric tools – nástrojů s integrovanými senzory, více viz text dále) velký potenciál také v laserových technologiích. Laser umožňuje například velmi přesné měření rozměrů, odchylek a polohy nebo také drsnosti povrchu obrobené plochy součásti, a to vše přímo na stroji, tedy s maximálním zkrácením vedlejších časů měření. [Pfeifer, T.; Broermann, E.: Interferometrische Verfahren zur Rauheitsmessung]. Současně může být laser použit pro měření opotřebení nebo identifikaci destrukce břitu nástroje. Velice výhodná je z hlediska produktivity integrace měřicího laseru do obráběcího stroje. Tato problematika je detailněji zpracována v rámci tématu „Hybridní technologie“.
- Dalším krokem ve vývoji zdokonalování experimentálních technik jsou tzv. inteligentní nástroje. V současnosti existují studie ale i praktická řešení takových řezných nástrojů [Řasa, J.,: projekt GAČR: „Inteligentní řezný nástroj“; produkt firmy Kyocera: VBD s indikačním povlakem, SPIKE cutting tool od firmy Pro-micron], u kterých lze na základě měření a vyhodnocování různých fyzikálních veličin (akustická emise, vibrace, teplota, el. odpor) nepřímo zjistit stav břitu nástroje bez přerušení řezného procesu. Při konkrétních řešeních takových nástrojů však s požadavky na univerzálnost a spolehlivost principu vyvstává řada problémů. K prvním patří typ vyhodnocované veličiny a její mezní hodnoty nebo nasazení techniky u rotačních nástrojů. V neposlední řadě jde o „on-line“ zpracování a vyhodnocení výsledků měření a rozhodnutí o stavu břitu.
- V CAM systému nejsou standardně dostupné žádné funkce pro dynamickou úpravu technologických podmínek při obrábění. Existují CAM systémy, které umožňují generovat hrubovací strategie vzhledem ke „konstantnímu“ zatížení nástroje. Tím sice narůstá dráha pro obrábění, ale prodloužena je životnost nástroje a zároveň jsou odstraněny špičky zatížení nástroje (např. při obrábění rohů kapes) a tak může být nastavena vyšší posuvová rychlost. Použití těchto funkcí je však podmíněno zakoupením odpovídajícího CAM systému, který však může mít omezené možnosti pro generování jiných typů obráběcích operací, jako jsou různé víceosé operace. CAM systémy, které disponují nadstandardními funkcemi pro generování tříosých hrubovacích operací vzhledem ke „konstantnímu“ zatížení nástroje jsou např.: MasterCAM, SurfCAM, HSMWorks.
- Z hlediska dostupnosti software na trhu lze zmínit následující konkrétní příklad – Vericut, tedy produkt od společnosti CGTech, který obsahuje např. funkci pro přepočítávání posuvové rychlosti v průběhu dráhy nástroje vzhledem k aktuálně odebíranému množství materiálu při tříosém obrábění (funkce OptiPath).
- Z hlediska provedených výzkumů v této oblasti lze zmínit několik publikací, ve kterých je možné nalézt dosavadní nabízená řešení, konkrétně např. pro výpočet řezných sil [Zhang L., Feng J., Wang Y., Chen M.: Feedrate scheduling strategy for free-form surface machining through an integrated geometric and mechanistic model. (The International Journal of Advanced Manufacturing Technology)], či pro optimalizaci posuvové rychlosti v průběhu obrábění vzhledem k zatížení nástroje při dokončovacích operacích [FENG, H.-Y. - SU, N.: Integrated tool path and feed rate optimization for the finishing machining of 3D plane surfaces. (International Journal of Machine Tools & Manufacture)].

- Již přes 50 let se nepodařilo vyvinout spolehlivou metodu, jak přesně modelovat a predikovat mez stabilních řezných podmínek (lobe diagramy). Závěry plynoucí z dosavadního výzkumu se v praxi sice využívají, avšak pro jejich omezenou platnost je nelze využít v širokém rozsahu ke zvýšení produktivity obrábění. V současnosti jsou nejspolehlivější zkoušky obráběním, které jsou drahé, zdlouhavé a zdržují výrobu. Někteří výrobci obráběcích využili výše zmíněných výsledků a uživatelům strojů nabízejí jako opci specializovaný aplikační program, který umí potlačit samobuzené chvění vznikající při dokončovacích řezech. Pracuje na principu narušování periodických regeneračních vln na obráběném povrchu. Aplikace je plně integrována do NC stroje. (Okuma, systém Navi; Mazak, Active Vibration Control). Pro přesnější zjišťování meze stability řezných podmínek je zapotřebí vyvinout experimentální metodu, která umožní zmapovat jevy při obrábění, které se za podmínek stabilního obrábění nevyskytují a tyto zahrnout do modelů. Během řezného procesu, kdy systém nástroj-obrobek kmitá vlivem samobuzeného chvění, dochází k jevům, jejichž účinek je označován jako procesní tlumení (proměnlivá třecí síla vzniklá kontaktem hřbetu nástroje s obrobkem, změna úhlu střižné roviny, proměnlivá třecí síla na čele nástroje). Měření při přirozeně vybuzeném samobuzeném chvění je ale velice problematické. V literatuře je možné nalézt snahy o vyvinutí experimentálních zařízení a metod, avšak převážná většina z nich nebyla dosud modifikována pro snadné použití ve strojírenské praxi.
- S odkazem na předchozí odstavec je jasné, že bude zapotřebí vyvinout nové modely dynamických řezných sil. Dynamickými silami, působícími při obrábění, rozumíme a.) síly zúčastněné na oddělování třísky od obrobku za současného samobuzeného kmitání nástroje, b.) síly, které tlumí kmitavý pohyb mezi nástrojem a obrobkem. Znalost těchto sil je základem pro výpočet stabilních řezných podmínek. Stejný úkol řešilo v minulosti mnoho našich předchůdců a stále se v literatuře objevují nové a nové pokusy. Podle našeho názoru však tyto pokusy vycházejí z nesprávných předpokladů a proto nejsou výsledky stále takové, jaké bychom potřebovali pro dostatečně přesnou predikci stabilních řezných podmínek, které jsou nutné pro bezproblémové obrábění mnoha druhů obrobků. Tlustý s Poláčkem použili jako svůj první model lineární model síly s jedním reálným koeficientem, viz [Tlustý, Poláček, 1963, The Stability of the Machine-Tool against Self-Excited Vibration in Machining], [Poláček, 1955, Výpočet stability rámu obráběcího stroje, kandidátská disertační práce]. Předpokládali, že v místě řezu působí pouze jedna dynamická síla. Reálný koeficient byl stejný pro statickou i dynamickou složku řezné síly a dosazoval se obvykle jako specifický řezný odpor. Lineární model řezné síly vedl na jednoduchý a v praxi snadno použitelný vztah meze stability, tj. mezní hodnoty šířky třísky a dynamických vlastností obráběcího stroje vyjádřených komplexní přenosovou funkcí stroje. Tento vztah je již dlouhou dobu úspěšně používán k praktickému výpočtu dynamických možností obráběcích strojů. Ve spojení s modální analýzou strojů se vždy podaří najít dynamicky nejslabší konstrukční část stroje. V případě, že se ale tento vztah použije k předpovědi stabilních řezných podmínek (což se v praxi stále častěji využívá), je často přesnost předpovědi nedostatečná. Důvodů je několik. Především, v řezu zřejmě nepůsobí jedna, ale několik dynamických sil. Tyto síly se liší nejen směrem a velikostí, ale i vzájemnou fází [Bach P., Poláček M., 2013, Comparative Analysis of Lower Speed Chatter Behaviour, Journal of Machining Engineering]. Z toho plyne, že působící síly jsou komplexní, jak bylo potvrzeno výzkumem komentovaným v [Tlustý, 1978, Analysis of the Research in Cutting Dynamics]. Z těchto důvodů nelze považovat tyto síly za složky jedné řezné síly, ale naopak, za samostatně působící dynamické síly. To je hlavní rozdíl mezi dosavadními přístupy oproti navrhovanému výzkumu. Vyplývá z toho i nutnost vyvinout nový postup výpočtu stability.

Současný způsob řešení problematiky v ČR

- Vzhledem k šíři vazeb tohoto tématu na další oborová výzkumná témata je modelování řezných sil věnována pozornost ve WP1 a WP2 projektu CK SVT, který řeší ČVUT v Praze spolu

s oborovými podniky. Dále je na ČVUT v Praze řešen projekt modelování řezných sil se zohledněním opotřebení nástroje.

Cíle a praktické výstupy pro obor/průmysl

- Modelování řezného procesu s přesnými a jasně interpretovatelnými výsledky poskytne důležité informace výrobcům a dodavatelům obráběcích strojů, výrobcům řezných nástrojů, ale i uživatelům strojů a nástrojů ve fázi přípravy konkrétní technologie, tedy při volbě obráběcího stroje, obráběcí strategie (optimalizace dráhy nástroje), řezných podmínek a typu nástroje. Nelze se přitom soustředit pouze na modelování podstaty řezného procesu a jeho hlavních parametrů (síla, teplota, napětí, deformace), ale také vyvíjet modelování celých výrobních operací s výstupy jako je čas obrábění, zatížení stroje, produktivita, hospodárnost, energetická náročnost, apod. Předpokladem úspěšného nasazení je, že modelování řezného procesu bude zahrnovat vliv řezných povlaků a opotřebení nástroje. Opotřebení nástroje je klíčovým faktorem pro sledování přesnosti výroby a kritické opotřebení nástroje je rozhodující pro jeho včasnou výměnu. Model řezného procesu by tedy měl sloužit pro predikci životnosti nástroje u daných výrobních operací, potažmo pro zpřesnění výroby a dosažení ekomicky vyváženého procesu výroby.
- Možnost integrace měřicích zařízení nové generace (bezkontaktní) přímo do obráběcího stroje a řezného nástroje včetně strojně řízené realizace příslušných měřících cyklů umožní realizace on-line měření při výrobním procesu a podporu adaptivního řízení obráběcího procesu. Největší výhodou těchto řešení přitom bude optimální využití řezných nástrojů, zkrácení vedlejších časů, větší kvality obrobku.
- Výsledky optimalizace řezných podmínek by měly být využitelné pro zvýšení produktivity při obrábění, zabránění vzniku nepříznivých stavů, které mohou vést k přetížení nástroje a jeho destrukci, či poškození obráběného povrchu součásti. Pro optimalizaci je možno sestavit propojený komplexní model nástroje, stroje, obrobku a procesu.
- Komplexní propojený matematický model nástoje, stroje, obrobky může být doplněn o model interakce nástroje a obrobku při řezném procesu. Interakce mezi nástrojem a obrobkem je inherentně vysoce nelineární, jedná se o složitou kontaktní úlohu spojenou navíc s rychlým dynamickým dějem úběru materiálu. Vzhledem k tomu je nutné uzpůsobit především metody měření dynamických odezev systému. Identifikaci nelze provádět klasicky v Laplaceově doméně je nutné využit metod identifikace nelineárních systému. Matematický model procesu může být postven jednak na numerických simulacích či na mechanistických modelech. Pro plnou simulaci problému bude nutné užít obou postupů.
- Jednoduchá, universální a spolehlivá metoda pro predikci meze stabilních řezných podmínek (experiment, vyhodnocení, výsledek). Zavedení nových koeficientů charakterizujících dynamické řezné síly, které poslouží k rychlé a přesné predikci stabilních řezných podmínek.

Vlastní odborné zhodnocení přínosu tématu pro obor a průmysl v ČR

- Řešení výzkumného tématu povede ke zkrácení vedlejších časů, zvýšení bezpečnosti a produktivity výroby, nižší zmetkovitosti a optimálnímu využití řezných nástrojů při výrobě a využití obráběcích strojů. Nasazení pokročilých simulačních a měřících technik a implementace potřebních zařízení do obráběcích strojů a řezných nástrojů povede k menší manipulaci s obrobky a zvýšené přesnosti výroby. To vše půjde realizovat i u obrábění tvarově složitých součástí.

Způsob dosažení cílů

- Detailní studium stávajícího stavu problematiky, jak z hlediska modelování řezného procesu, zdokonalování experimentálních technik, tak i optimalizace podmínek na úrovni postprocesoru.

- Rozbor možností zdokonalování výpočetních modelů a experimentálních technik. Rozbor možných přístupů k řešení, tvorba ideových návrhů. Rozbor možností úpravy NC programu na úrovni postprocesoru. Formulace reálných možností dynamické modifikace technologických podmínek v NC programu.
- Návrhy zdokonalení modelů a technik. Návrhy a odladění několika variant algoritmů pro dynamickou modifikaci podmínek. Studium možností pro implementaci vytvořených algoritmů do standardního nebo speciálního postprocesoru, či přímo do NC programu.
- Vývoj a verifikace simulačního modelu pro návrh a optimalizaci výrobních operací z hlediska produktivity, hospodárnosti, zatížení stroje a energetické náročnosti.
- Ověření a případná modifikace navržených variant. Provedení experimentů a jejich vyhodnocení.
- Aplikace laserových technologií pro zdokonalování experimentálních technik jsou zpracovány v tématu: „Hybridní technologie“.
- Celkem cca. 4 pracovníci v oblasti výzkumu (experimenty, měření, teoretické práce) + cca. 3-4 pracovníci z konkrétních spolupracujících podniků pro konkrétní ověření aplikací v průmyslu.

Doporučený řešitel

- VCSVTT; matematické ústavy (např. ČVUT FS - Ú 12101, UK MFF, AVČR); výrobci strojů (obecně); výrobci řezných nástrojů; uživatelé výrobních strojů (obecně); uživatelé strojů zabývající se výrobou tvarově složitých dílů; dodavatelé laserových technologií; výrobci a dodavatelé řídicích systémů a CAD/CAM softwarů.

1.2.3. (T05) Řezné prostředí a ekologizace obrábění

Navrhovatel

- Ing. Pavel Zeman, Ph.D. a kol. (ČVUT v Praze)

Vazba tématu na SVA

- (U: 16, 18, 50)
- *…, obrábění bez použití kapaliny, …* (A-Výzkum nových technologií třískového obrábění pro zvýšení výkonnosti obrábění nebo jakosti povrchu-2)
- *Optimální využití řezných kapalin - přívod do místa řezu, volba množství a pracovního tlaku, zařízení a technologie pro jejich přípravu, sběr, filtraci, čištění, obnovování, výměnu a monitorování. Výzkum minimálního chlazení (MQL).* (A-Výzkum nových technologií třískového obrábění pro zvýšení výkonnosti obrábění nebo jakosti povrchu-2)
- Snižování potřeby užitého množství materiálů na strojích a řešení otázky ekologické likvidace obráběcích strojů

Komentář k aktualizaci

- Velká neznámá je v souvislosti s řešením požadavku na to kolik kapaliny, o jakém tlaku a jaký druh řezného prostředí je pro danou výrobní operaci dostatečný. Bylo by dobré v přípravě inovace tohoto bodu uvažovat s ohledem na řešení Ecodesignu obráběcích strojů, kdy jsou perifírie pro hospodaření s kapalinou jedněmi z energeticky nejnáročnějších. Otázka možnosti ekologizace a dalšího snižování je také namístě, a to díky i neustálému vývoji řezných nástrojů.

Stručný popis stavu problematiky ve světě

- Řezné prostředí ovlivňuje ekonomické, výkonnostní i jakostní výsledky obrábění. Správná volba řezného prostředí proto hraje při obrábění důležitou roli. Nezanedbatelný je také vliv používání řezného prostředí a zejména procesních kapalin na životní prostředí.
- Stále více se v současné přísné legislativě klade důraz na ekologizaci procesu obrábění. V oblasti řezných prostředí to znamená nasazovat méně standardní prostředí (tlakový, chlazený vzduch, rostlinné oleje, kryogenní chlazení) nebo používat menší objemy procesních kapalin (minimální množství maziva-MQL). Na trhu s procesními kapalinami dnes ovšem stále dominují kapaliny na bázi minerálních (ropných) olejů. Přestože jsou i v přírodě tyto oleje relativně rychle odbouratelné, je životní prostředí značně přetíženo odpady těchto produktů [kolektiv autorů: Lubricants and Lubrications]. I produkty označované jako „biologicky odbouratelné“ nebo přímo „bio lubrikanty“ nemusí vykazovat 100% biologickou odbouratelnost, ale postačí jen 60% [dle OECD 301], resp. 80% [dle CEC L-33-A-93].
- Dle studií výrobců nástrojů (v poslední řadě například firma MAPAL) nebo i vědeckých pracovníků (Wienert, CIRP, Dry machining) je při používání konvenčních prostředí (emulzní kapaliny při velkých objemech chlazení) počítat vedle ekologické zátěže také s ekonomickými aspekty. Uvádí se, že 14-17 % výrobních nákladů tvoří právě náklady na tato řezná prostředí (na jejich pořízení, přípravu, chlazení, čištění a filtraci, likvidaci, atp.). Pro porovnání, náklady na řezné nástroje přitom tvoří z celkových výrobních nákladů asi jen okolo 4%. I z tohoto důvodu je

třeba hledat nové směry a možnosti použití a využití řezného prostředí. Nejde samozřejmě jen o otázku vhodného typu prostředí, ale a možná ještě více o způsob dodávání, koncentraci, tlak, objem nebo teplotu prostředí.

- Řezné prostředí má vedle ekologických aspektů svou primární úlohu v zajištění kvalitativních parametrů vznikajícího obrobku. S masivním využíváním těžkoobrobitelných nebo nekonvenčních materiálů (titanové, niklové, kobaltové slitiny, korozivzdorné oceli, kalené oceli, kompozity) pro konstrukční prvky a pro zvyšování požadavků na přesnost a jakost výroby, dostává význam správné volby řezného prostředí nový rozměr.
- Vezmeme-li v úvahu výše zmíněné informace, dospějeme k závěru, že je třeba zkoumat možnosti nasazení ekologicky šetrnějších řezných prostředí, ovšem s výsledky, které zajistí zachování nebo zlepšení kvality obrábění.

Současný způsob řešení problematiky v ČR

- V této oblasti není v současné době řešen specificky zamřený projekt. Téma je však zohledněno v aktivitách WP6 a WP2 projektu CK SVT ve vazbě na snižování energetické náročnosti obráběcích procesů a optimalizace technologie obrábění těžkoobrobitelných materiálů.

Cíle a praktické výstupy pro obor/průmysl

- Optimalizovat volbu vhodného řezného prostředí, způsobu a objemu dodávání do místa řezu při obrábění těžkoobrobitelných a nekonvenčních materiálů. Sledovat výkonnostní, kvalitativní, ekonomické a ekologické aspekty nasazení různých řezných prostředí. Vyvíjet nástroje a řezné podmínky pro možnost aplikací bez užití procesních kapalin. Provést optimalizaci minimálně pro základní obráběcí operace frézování, soustružení, vrtání a broušení.
- Při obrábění s procesní kapalinou dosáhnout změnou jejího složení a správným použitím (koncentrace, objem, tlak, směr aplikace) zlepšení řezného procesu – zvýšení trvanlivosti břitu nástroje, zvýšení jakosti obrobku, možnosti zvýšení řezných podmínek.

Vlastní odborné zhodnocení přínosu tématu pro obor a průmysl v ČR

- Stále rozšířenější obrábění těžkoobrobitelných a nekonvenčních materiálů má vzhledem k relativně velkým výrobním nákladům také velký potenciál pro jejich snížení. Podmínkou je však volba optimálních pracovních podmínek včetně důležitého aspektu optimálního řezného prostředí. Právě při obrábění těchto materiálů má volba správného řezného prostředí klíčový význam. Snahy o ekologizaci výroby budou navíc v budoucnu stále sílit a stále se budou také zpřísňovat normy na nezávadnost řezných prostředí z hlediska životního prostředí a zdravotních rizik spojených s jejich užíváním. Některé nekonvenční materiály mohou navíc na určitá prostředí nevhodně reagovat (měď, kompozitní materiály). Je proto třeba na poli obrábění těchto materiálů provést rozsáhlý výzkum, aby mohlo následovat jak zvyšování kvality a produktivity výroby, tak i zlepšování ekonomických ukazatelů výroby.

Způsob dosažení cílů

- Úplné zmapování dosavadních poznatků. Konzultace s předními dodavateli procesních kapalin a zařízení pro tvorbu řezných prostředí. Výběr několika kritických variant pro řešení s největším potenciálem pro optimalizaci výroby.
- Realizace testů použití různých stávajících a modifikovaných řezných prostředí pro různé případy obrábění (materiály, řezné operace, pracovní podmínky a řezná prostředí) se sledováním a vyhodnocením širokého spektra výstupů a vyhodnocovaných parametrů. Testovat současně účinky zcela nových, moderních prostředí (např. CO_2, LN_2 + MQL).

- Pro konkrétní řezné operace zhodnotit možnosti nových a modifikovaných řezných prostředí. Tato nová a modifikovaná prostředí připravit.
- Ověření účinku nových a modifikovaných řezných prostředí dlouhodobými řeznými zkouškami. Testování v praxi při výrobě konkrétních dílců.
- Shrnutí poznatků a doporučení na základě provedeného výzkumu.
- Celkem cca 4 výzkumní pracovníci (VCSVTT, ostatní pracoviště) + 2 lidé ze spolupracujících podniků

Doporučený řešitel

- VCSVTT; chemicko-technologická výzkumná pracoviště (např. VŠCHT); výrobci strojů nabízející zákazníkům odladěné technologie; uživatelé obráběcích strojů; výrobci a dodavatelé procesních kapalin; výrobci a dodavatelé řezných nástrojů; technické univerzity v ČR.

1.2.4. (T06) Výzkum vhodných řezných podmínek pro obrábění těžkoobrobitelných a specifických materiálů

Navrhovatel

- Ing. Pavel Zeman, Ph.D. a kol. (ČVUT v Praze)

Vazba tématu na SVA

- (U: 16)
- Vývoj a výzkum v oblasti vysokých řezných rychlostí, vysokých úběrů, hloubkových metod obrábění, obrábění bez použití kapaliny, obrobitelnosti nestandardních materiálů (kompozitů, keramických konstrukčních materiálů, neželezných slitin, obrábění tvrdých a kalených materiálů atd.). *(A-Výzkum nových technologií třískového obrábění pro zvýšení výkonnosti obrábění nebo jakosti povrchu-2)*

Komentář k aktualizaci

- Aktuální téma, které nabývá na významu s rostoucím podílem těžkoobrobitelných a speciálních materiálů v nových konstrukcích. Zaměření jak na klasický proces třískového obrábwwní, tak na hybridní procesy (třískové obrábění s podporou laseru a kombinace fyzikálních principů).

Stručný popis stavu problematiky ve světě

- Produktivita obrábění je v současnosti jedním z hlavních hledisek pro hodnocení výroby. Vývoj v oblasti řezných nástrojů, povlaků, ale také obráběcích strojů umožňuje další zvyšování řezných podmínek a tedy i produktivity obrábění. Ani v tomto úhlu pohledu však nesmíme zapomínat, že zvyšování řezných podmínek má své okrajové podmínky a omezení. Nejdůležitějším z nich je dosažení předepsané kvality obrobku. V současnosti zaznamenáváme trendy ve zvyšování úběru materiálu jednak ve zvyšování řezných rychlostí – HSC (High-Speed Cutting, vysokorychlostní obrábění), a ve zvyšování pracovních posuvů – HFC (High-Feed Cutting, vysokoposuvové obrábění) nebo ve zvyšování úběru materiálu – HPC (High-Performance Cutting). Všechny tyto metody směřují k jednomu cíli, a to při zachování nebo zvýšení jakosti obrobku a životnosti nástroje dosáhnout kratších výrobních časů dílce. Metody jsou uplatňovány jak při obrábění nástroji s definovanou geometrií břitu, tak i při technologiích broušení. Často se však dnes přehlíží fakt, že hranice pro zmíněné režimy obrábění se liší v závislosti na použitém materiálu obrobku a řezné operaci, jak je například uvedeno již v [Schulz: High-speed cutting, CIRP 1992].
- Problém produktivity obrábění dnes není až tak velkým problémem při obrábění běžných oceli, hliníkových slitin nebo mědi, ale spíše u materiálů se zhoršenou obrobitelností. Vlastnosti těchto materiálů kladou velké nároky na řezné nástroje, obráběcí stroje, upínací systémy a samotné obrobky. K těmto materiálům dnes řadíem především titanové, kobaltové a niklové slitiny, kalené a korozivzdorné oceli, ale také polymerní kompozitní materiály s vláknovou výztuží [veletrh EMO 2013, semináře firmy Seco Tools, 2013]. Je pozorován trend stále se zvětšujícího objemu používání uvedených materiálů v konstrukci. To s sebou přináší potřebu zdokonalování řezných nástrojů, obráběcích strojů, ale i optimalizaci volby typu a sledu operací, strategie obrábění, řezných podmínek a řezného prostředí. Vhodné podmínky vedoucí k úspěšnému obrábění těchto materiálů tak, na rozdíl od ostatních materiálů, často leží ve velmi úzkém rozsahu. Jejich

obrobění tak klade na technologa a operátora stroje velké nároky na zkušenost a znalost aktuálních trendů.

- Vzhledem ke zhoršené obrobitelnosti zmíněných materiálů řeznými nástroji se naskýtá také možnost obrábět tyto materiály speciálními technologiemi. Jak ukazují poznatky z poslední světové výstavy EMO 2013 je vhodnější některé výrobky realizovatnapř. laserem, plazmou, vodním paprskem nebo realizovat tzv. ultasonické obrábění). Populární se také stává kombinace třískového obrábění a konkrétní speciální technologie. To umožňuje obrábění materiálu s velmi dobrými mechanickými vlastnostmi vysokou řeznou rychlostí při dosažení dobré kvality obráběné plochy. Zároveň lze díky malé tepelně ovlivněné zóně tímto způsobem získat obrobky bez mechanických deformací. Výsledná kvalita obrobku je výsledkem chování všech prvků vstupujících do řezného procesu (stroj, nástroj, řezné podmínky, řezné prostředí, obrobek). Přes řadu jednotlivých výzkumů a obecných doporučení na základě provádění experimentů při konkrétních podmínkách obrábění [CIRP Annals] je třeba řešit problematiku obrábění individuálním přístupem a odladěním optimálních metod obrábění a pracovních podmínek pro každou technologii.

Současný způsob řešení problematiky v ČR

- Systematicky je téma rozvíjeno v rámci WP2 projektu CK SVT, řešeného ČVUT v Praze a oborovými firmami. Ad-hoc téma řeší výrobci obráběcích strojů ve spolupráci s dodavateli nástrojů při přípravě zákaznické technologie.

Cíle a praktické výstupy pro obor/průmysl

- Definovat možnosti zvyšování produktivity obrábění těžkoobrobitelných materiálů třískovým obráběním, speciálními technologiemi (laserem) anebo kombinací obou přístupů. Vytvořit seznam doporučení a znalostní databázi pro první volbu vhodných nástrojů a pracovních podmínek pro obrábění obrobků z konkrétního typu materiálu. Určení limit z hlediska produktivity obrábění a kvality obrobku.
- Praktické výstupy budou realizovatelné především v oblasti průmyslové výroby, kde nacházejí stále větší uplatnění materiály se zhoršenou obrobitelností, tedy v leteckém a automobilovém průmyslu, v medicíně a bioinženýrství, ale také v energetice nebo u výrobců spotřební elektroniky.
- Realizace konkrétních řešení v konkrétních podnicích zabývajících se zpracováním těžkoobrobitelných materiálů („zakázkový výzkum“).

Vlastní odborné zhodnocení přínosu tématu pro obor a průmysl v ČR

- V reálných provozech obroben bude stále větší procento operací prováděno na těžkoobrobitelných a nekonvenčních materiálech. Znalosti možností obrábění těžkoobrobitelných materiálů, včetně volby operace, strategie obrábění, vhodných řezných nástrojů (s definovaným břitem i brousících kotoučů), řezných podmínek a řezného prostředí, povede ke zlepšení ekonomických ukazatelů výroby, produktivity obrábění i lepší výsledné jakosti obrobku.
- Kromě třískových technologií bude specifikována také možnost a výhodnost nasazení speciálních technologií (laser), případně jejich kombinace s třískovým obráběním.

Způsob dosažení cílů

- Detailní studium problematiky dosahovaných řezných podmínek a úběrů materiálu při obrábění těžkoobrobitelných materiálů. Definice možných nových přístupů a prostředků pro zvýšení stávajících podmínek. Studium problematiky jakosti obrobeného povrchu dosahovaného stávajícími přístupy.

- Experimentálně-simulační testování obrobitelnosti vybraných těžkoobrobitelných materiálů nástroji s definovanou geometrií břitu, broušením a laserem.
- Specifikace možností kombinace třískového a laserového obrábění těžkoobrobitelných materiálů. Experimentálně-simulační testování s cílem zvýšení produktivity obrábění a vyšší kvality obrobeného povrchu.
- Vývoj víceparametrického modelu řezných sil pro vybrané těžkoobrobitelné materiály, verifikace modelu stability při 3- a 5-osém obrábění. Aplikace virtuálního modelu stroje a obrábění pro optimalizaci technologie.
- Příprava a tvorba databáze znalostí pro třískové, laserové a kombinované obrábění těžkoobrobitelných materiálů s požadavkem na zvýšenou produktivitu obrábění a jakost obrobku.
- Celkem cca 4 lidé v oblasti výzkumu (pro simulace a měření) + 1 člověk ze spolupracujícího podniku pro konkrétní spolupráci.

Doporučený řešitel

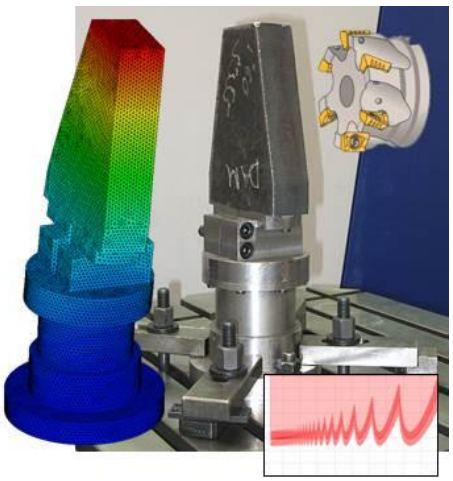
- VCSVTT; výrobci obráběcích strojů (obecně); výrobci a dodavatelé řezných nástrojů; uživatelé výrobních strojů a podniky zpracovávající těžkoobrobitelné materiály.

1.3. Výkon obrábění

1.3.1. (T08) Matematické modelování pro návrh technologie výkonného obrábění

Navrhovatel

- Ing. Petr Kolář, Ph.D. a kol. (ČVUT v Praze)



Vazba tématu na SVA

- (U: 6, 56, 100)
- Optimalizace řezných podmínek s využitím širších znalostí o dynamickém chování nástroje, vřetene, stroje, obrobku s cílem zvýšení výkonnosti a využití instalovaného výkonu. (A-Optimální řezné podmínky (známých, ověřených technologií obrábění)-1)
- Výzkum vlivu modálních a statických charakteristik obrobku a jeho upnutí na dosažitelné výsledky na obrobku. (C-Měření a monitorování charakteristik obrobku (při obrábění a po obrobení)-3)
- Rozšíření optimalizace (statické a dynamické tuhosti) na oblast obrobků, přípravků, nástrojů a nástrojových držáků. (B-Optimalizace při vývoji strojů-2)

Komentář k aktualizaci

- Téma matematických modelů pro simulaci obrábění je detailně popsáno v T29. Jedná se však o komplexní a časově náročné modely a simulace. Toto téma je zaměřeno na vývoj SW nástrojů, které by svou jednoduchostí a rychlostí odezvy mohly lépe sloužit pro podporu „dílenského“ ladění procesu.

Stručný popis stavu problematiky ve světě

- Návrhem technologie výkonného obrábění se rozumí volba vhodných typů nástrojů, jejich geometrie, řezných podmínek a řezné strategie ve vztahu ke statickým a dynamickým vlastnostem nástrojové skupiny (nástroj, vřeteno, nástrojová skupina stroje) a obrobkové skupiny (obrobek, upnutí obrobku, obrobková skupina stroje). Návrh technologie je tedy komplexní úlohou s mnoha vstupy různého typu a mnoha výstupy různého charakteru.
- Pro návrh konkrétní technologie existují tři základní přístupy: a) simulační – virtuální příprava technologie pomocí matematických modelů; b) experimentální – identifikace možností systému pomocí měření; c) kombinovaný – po provedení základních měření dojde k nastavení chování matematického modelu, který je následně využit k provedení prakticky nerealizovaných (nebo nerealizovatelných) experimentů.
- Aby byl simulační přístup úspěšný, vyžaduje sestavení poměrně přesných modelů stroje, obrobku a řezného procesu. Sestavení takových modelů je záležitost na týdny a získání určitých konkrétních výsledků a jejich interpretace je otázkou hodin [Brecher, Esser, Witt: Interaction of manufacturing process and machine tool. CIRP keynote paper STC-M, 2009].]. Téma simulací v této oblasti je poměrně komplexní a jeho řešení je popsáno v tématu (T29) Virtuální modely strojů a obrábění.

- Experimentální metody vyžadují zkušeného diagnostika a specifický hardware a software (který je ale komerčně dostupný). Měření na stroji je dále limitováno dostupností jednotlivých měřených bodů (mohou být za krytováním) a dále fyzikální realizovatelností měření (na pohybujícím se stroji s rotujícími částmi nelze mnoho běžných metod použít) [zkušenosti pracovníků Akreditované zkušební laboratoře VCSVTT]. V oblasti experimentu se objevují nová řešení, např. automatické měření FRF na konci nástroje za rotace [Ganguly V, Schmitz T, University of North Carolina at Charlotte]. Tyto nástroje však obvykle pracují s různě složitými modely řezného procesu, které vyžadují pro přesnou predikci mnoho vztupních parametrů, které obvykle není snadné běžně znát. Možnosti plného využití těchto SW jsou tímto limitovány.
- Kombinovaný přístup využívá výhody obou výše popsaných metod. Strukturální vlastnosti stroje a obrobku je možno změřit. Vlastnosti nástroje je možno předem vypočítat. Experimentální a simulační data je možno propojit dohromady a získat FRF z kombinovaného modelu. Známá je metoda RCSA (Receptance Coupling Substructure Analysis) [Schmitz, Duncan: Three-Component Receptance Coupling Substructure Analysis for Tool Point Dynamics Prediction. Journal of Manufacturing Science and Engineering, vol. 127/2005, pp. 781-790]. Metoda má však určité matematické nedostatky; jako výhodnější se proto jeví využít metody substructuringu přes vazbové propojování [D. De Klerk, D. Rixen and S. Voormeeren. General framework for dynamic substructuring: History, review, and classification of techniques. AIAA journal, vol. 46, no. 5, p. 1169, 2008]. Metoda substructuringu byla již úspěšně ověřena ve VCSVTT na praktickém případu.
- Existující teorie stability řezného procesu umí pracovat s poddajností nástroje i obrobku – ty se v modelu projevují formou přenosových funkcí [Budak, E., Altintas, Y.: Analytical Prediction of Chatter Stability Conditions for Multi-Degree of Systems in Milling. Transactions of ASME, Journal of Dynamic Systems, Measurement and Control, 1998]. Na zohlednění vlastností nástrojů a obrobků (včetně jejich upnutí) dnes existují specifické modely [Gagnol et. all: Stability-based spindle speed control during flexible workpiece high-speed milling. International Journal of Machine Tools and Manufacture, Volume 48, Issue 2, February 2008, Pages 184-194]. Modely tedy existují a jsou rozvíjeny, otázkou stále zůstává, jak snadno a efektivně získat popis chování systému formou FRF pro rychlé simulace.
- Z uvedeného plyne, že pro vědomé a operativní změny v návrhu technologie dnes chybí vhodné výpočtové (i experimentální) nástroje. Zmíněné postupy také nyní nemají přímou vazbu na CAM, ačkoliv v tomto probíhá intenzivní výzkum v některých světových výzkumných institucích [Lazoglu, Manav, Murtezaoglu: Tool path optimization for free form surface machining. Annals of CIRP vol.58/1 (2009)]. Tento požadavek na vytvoření vhodného (tj. přiměřeně spolehlivého a jednoduchého) SW a HW stále trvá. Řešení by mělo být orientované na situace, kdy je dominantně poddajný: 1. stroj; 2. nástroj; 3. obrobek (případy se liší typickými vlastními frekvencemi).
- Nově vyvinutý nástroj by měl také pomoci zvolit vhodné kroky ke změně nepříznivého stavu v obrábění.

Současný způsob řešení problematiky v ČR

- Téma je v současné době řešeno především v rámci WP1 projektu CKSVT, který řeší ČVUT v Praze s oborovými firmami. Metody rychlého výpočtu dynamických vlastností obrobku (on-line výpočet FRF při obrábění) jsou řešeny v projektu Dynamill řešeného v rámci 7.RP ve VCSVTT ČVUT v Praze.

Cíle a praktické výstupy pro obor/průmysl

- Vývoj modelu pro optimalizaci návrhu vhodných nástrojů a způsobů upnutí obrobku vzhledem k vlastnostem stroje a obrobku. Model by měl obsahovat kromě popisu dynamických vlastností zmíněných prvků také databázi dostupných nástrojů a vlastností upínacích prvků obrobků, aby

mohl ohodnotit kmitání celého systému stroj-nástroj-obrobek při různých variantách upnutí obrobku, při práci různými nástroji nebo různými řeznými strategiemi.

- Redukované a propojené výpočtové modely. Metody pro redukci komplexních výpočtových modelů. Metody pro propojování experimentálních a simulačních dat. Vývoj zjednodušených modelů. Cílem úkolu je získat výpočtové modely statických a dynamických vlastností stroje a obrobku, jejichž výstupy budou rychle dostupné a tak bude možné je použít při ladění technologie u stroje nebo on-line při generování nástrojových drah a přípravě NC kódu. Zpřesněné zavádění technologických podmínek do požadavků na optimalizaci a relevantní návrh tuhosti strojů, kinematických paramterů pohybových os a disponibilního výkonu vřetene, tak aby stroj mohl co nejlépe splňovat potřeby ideálního řezného procesu pro příslušné operace.
- Příprava NC drah s ohledem na reálnou technologii. Návrh řezných strategií a drah nástroje s ohledem na statické, dynamické a tepelné vlastnosti stroje, nástroje a obrobku. Analýza kritických míst obrábění z hlediska nadměrných deformací, vibrací nebo přehřívání (téma souvisí s tématem virtuálního obrábění a proto zde není očekávaným výstupem jednoduchý model s okamžitou odezvou). Využití modelu virtuálního obrábění pro kontrolu kmitání a oteplení nástroje a obrobku a s tím souvisejících deformací již ve fázi přípravy dráhy nástroje.
- Rozvoj a praktická implementace metod propojování experimentálních a simulačních dat. Vývoj a implementace podobných metod v oblasti tepelného chování strojů (např. kombinace MKP modelování a teplotně-mechanických přenosových funkcí).
- Sjednoducující SW prostředí, které by umožnilo vhodně integrovat uvedené nástroje.

Vlastní odborné zhodnocení přínosu tématu pro obor a průmysl v ČR

- Současné metody modelování a měření obráběcích strojů se zaměřují především na zlepšování vlastností strojů. Při ladění konkrétní technologie je však nutné zohlednit i vlastnosti nástroje a obrobku, což vyžaduje rozvoj modelovacích technik a nové způsoby měření modálních vlastností soustavy stroj-nástroj-obrobek. Výsledkem by měly být použitelná doporučení pro zkrácení času potřebného pro vhodné nastavení celé obráběcí technologie.

Způsob dosažení cílů

- Virtuální modely obrobků a nástrojů, jejich použití v kompletních modelech celých strojů. Optimalizační algoritmy, které s pomocí těchto modelů nabídnou vhodná praktická doporučení.
- Provedení analýzy za účelem zjištění závislosti mezi zvolenými řeznými podmínkami, dynamikou stroje a kvalitou řezného povrchu (teoretická práce, bez speciálních požadavků na zdroje).
- Vhodné využití modelu virtuálního obrábění pro kontrolu generovaných drah. Propojení prostředí virtuálního obrábění a CAM.
- Implementace metod RCSA do prostředí snadno dostupného obsluze stroje. Vývoj analogie RCSA v oblasti tepelného chování obráběcích strojů.

Doporučený řešitel

- VCSVTT; výrobci strojů nabízející zákazníkům odladěné technologie

1.3.2. (T10) Diagnostické metody pro návrh technologie výkonného obrábění

Navrhovatel

Ing. Miroslav Janota, Ph.D., Ing. Petr Kolář, Ph.D. a kol. (ČVUT v Praze)

Vazba tématu na SVA

- (U: 6, 13, 56)
- VaV zjednodušeného popisu statických, dynamických a tepelných vlastností stroje pro praktické technologické využití v rámci přípravy technologie a CAM procesu. Využití výsledků měření vlastností stroje i výstupů virtuálních modelů pro technologické účely, resp. zdokonalený návrh technologie. (B-Univerzálnost a multifunkčnost strojů-1)
- Optimalizace řezných podmínek s využitím širších znalostí o dynamickém chování nástroje, vřetene, stroje, obrobku s cílem zvýšení výkonnosti a využití instalovaného výkonu. (A-Optimální řezné podmínky (známých, ověřených technologií obrábění)-1)
- Výzkum vlivu modálních a statických charakteristik obrobku a jeho upnutí na dosažitelné výsledky na obrobku. (C-Měření a monitorování charakteristik obrobku (při obrábění a po obrobení)-3)

Komentář k aktualizaci

- Téma je zaměřené na diagnostické metody při analýze a ladění řezného procesu, které jsou realizovány většinou manuálně zkušenými specialisty. Automatický monitoring stroje a procesu je součástí T50.

Stručný popis stavu problematiky ve světě

- Vzájemná interakce prvků soustavy stroj-nástroj-obrobek daná jejich dynamickými vlastnostmi může být limitem pro dostatečně produktivní obrábění (především hrubování). Konstrukce stroje a tvar obrobku jsou obvykle dány a nelze je měnit. Při volbě vhodné výrobní technologie je tedy možno měnit nástroje (myšleno nástrojové držáky, nástroje a VBD), řeznou strategii a způsob upnutí obrobku. Při předběžné znalosti vlastností stroje, upnutého obrobku a konkrétních nástrojů (např. z předchozích měření nebo ze simulačních modelů) lze zkrátit čas nutný pro iterativní ladění vhodné kombinace výše uvedených parametrů. Aby byly jednotlivé zásahy do systému hodnotitelné a vzájemně srovnatelné, je vhodné použít přiměřené diagnostické prostředky pro hodnocení chování systému a jeho částí.
- Nestabilita řezného procesu se při obrábění projeví kmitáním soustavy stroj-nástroj-obrobek. Teorie stability je již celkem dobře popsána. Identifikace modálních parametrů je ovšem prováděna klasickým způsobem, tj. pomocí modálního kladiva (vibrátoru) a akcelerometru. Takovýto postup vyžaduje nasazení drahé aparatury a školeného pracovníka. Začínají se množit pokusy o identifikaci těchto parametrů provozní cestou, tj. při obrábění. Jako jeden z pokusů viz [Zaghbani, Songmene: Estimation of machine-tool dynamic parameters during machining operation through operational modal analysis. International Journal of machine Tools

& Manufacture 49 (2009) 947-957]. Dalším krokem je automatické zpracování naměřených dat, zde ale nebylo pozorováno mnoho příspěvků.

- Dalším tématem, které není při vyhodnocování naměřených dat příliš řešeno, je hledání alternativních popisů dynamického chování strojů. Z praktických zkušeností se ukazuje, že se stroje nemusí chovat podle lineárního předpokladu, ale mohou vykazovat značně nelineární chování.
- Samostatným fenoménem je parametr tlumení. Modely pracují jen s více či méně přesně odhadnutými hodnotami. Tlumení během obrábění se může měnit a tak ovlivňovat chování řezného procesu. Zde se otevírá pole pro in-procesní měření dynamických vlastností. Podle rešerší prováděných v posledních letech se ve světě pracuje s následujícími modely: viskozní (standardní model), materiálové či hysterezní (není zde dána jednotná definice a třecí tlumení. Viskozní model je lineární a pracuje s třecí silou, která je úměrná rychlosti pohybu soustavy. Hysterezní model používá pro definici třecí síly sílu statickou ovšem fázově posunutou o 90°. Třecí model používá třecí sílu s opačnou orientací než je směr pohybu hmoty. Tento model je již nelineární. Je potřeba vyvinout účinné diagnostické metody pro identifikaci různých druhů tlumení, což může vést k lepšímu zacílení zkoumaného problému. Lapší pochopení fenoménu tlumení může mít přesah v návrhu pasivních tlumicích prvků v oboru obráběcích strojů.

Současný způsob řešení problematiky v ČR

- V současné době jsou tyto metody rozvíjeny částečně v rámci řešení WP4 projektu CK SVT ve spolupráci VCSVTT ČVUT v Praze a výrobců obráběcích strojů a dále v rámci řešení projektu „Produktivní obrábění přesných obrobků“ (TAČR Alfa, Kovosvit MAS + ČVUT v Praze, dynamické limity strojů a obrobků).

Cíle a praktické výstupy pro obor/průmysl

- Cíle a praktické výstupy jsou u tohoto tématu dvojího typu: jednak další vývoj pokročilých diagnostických metod pro sledování kmitání soustavy stroj-nástroj-obrobek při obrábění (s využitím specifického software a zkušené obsluhy) a jednak vývoj nízkonákladových uživatelských technik, které by měly pomoci obsluze stroje blíže odhalit zdroje kmitání a způsoby jejich ovlivnění.
- Aplikace operační modální analýzy. Vývoj postupů měření vlastností soustavy stroj-nástroj-obrobek během obrábění.
- Definice prakticky významných nelinearit v soustavě stroj-nástroj-obrobek. Měření na existujících strojích, identifikace jejich ev. nelineárního chování, evaluace významnosti vlivu těchto nelinearit na výsledky predikcí pomocí lineárních modelů.
- Vývoj uživatelských diagnostických metod. Vývoj nízkonákladových metod pro zaučené uživatele pro základní diagnostiku statických a dynamických vlastností stroje a obrobku. Vývoj nízkonákladových metod pro sledování vibrací při obrábění. Cílem je částečně nahradit potřebu specialistů diagnostiků s drahým vybavením. Technolog by měl být schopen si u stroje provést některá jednoduchá měření sám a na základě podpůrných informací z těchto měření provádět změny v technologii.
- Rozvoj metod automatické identifikace modálních parametrů. Náhrada současných manuálních postupů prováděných školeným pracovníkem by měla přinést úsporu nákladů na testování a identifikaci modálních parametrů. Výstupní informace by byly pouze zobrazovány na monitoru, rozhodnutí o zásahu by zůstalo na obsluze. V případě spojení se znalostní databází technologických případů by se již jednalo o vývoj části „inteligentního stroje“. Bylo by vhodné nalézt možnosti, pokud je to možné, aplikace bezdrátových čidel, které by umožňovalo implementaci senzoriky bez nároků na vedení kabeláže konstrukcí stroje. Aplikace bezdotykových čidel umožňuje měření na těžko dostupných místech případně tenkostěnných

obrobcích. Další oblastí je použití akustických senzorů pro použití v oblasti identifikace strukturálních parametrů (zvláště tenkostěnných obrobků).

- Testy na technologicky charakteristických obrobcích – poddajné dílce (např. letmo upnuté součásti, tenkostěnné součásti), součásti z těžkoobrobitelných materiálů (kalená a nerezová ocel, litina s globulárním a červíčkovým uhlíkem, slitiny titanu, slitiny niklu), dílce s dutinami obráběnými štíhlými nástroji (např. zápustky, kapsované díly), hmotné dílce pro těžké hrubování (rozměrné odlitky, výkovky, svařence).
- Testy (experimenty) vlivu komerčně dostupných nástrojů na stabilitu řezu. Jedná se především o vliv řezných podmínek a geometrie nástroje na celkovou velikost řezného odporu (vazba na T04), který často významně rozhoduje o mezi stability procesu (vzhledem ke konkrétní dynamické poddajnosti soustavy stroj-nástroj-obrobek).

Vlastní odborné zhodnocení přínosu tématu pro obor a průmysl v ČR

- Jak ukázaly světové výstavy IMTS 2008 i EMO 2009, největší potenciál pro tvorbu přidané hodnoty a zvýšení konkurenčního odstupu od asijských výrobců je v zákaznické přípravě technologií. Aby bylo možno technologii upravovat na stroji, je nutno mít uživatelské diagnostické nástroje, které technologovi napoví, kterým směrem provádět ev. změny v technologii.

Způsob dosažení cílů

- Aplikace operační modální analýzy – testy obráběním na reálných strojích. Paralelně řešit i problematiku tlumení.
- Vývoj uživatelských diagnostických metod – volba vhodného vývojového nástroje a hardware. Příprava a praktické testy na strojích.
- Vývoj metod automatického zpracování a identifikace modálních parametrů – teoretická práce, bez specifických požadavků na zdroje.
- 2 lidé z výzkumu + lidé ve firmách pro konzultaci a poskytnutí dat.

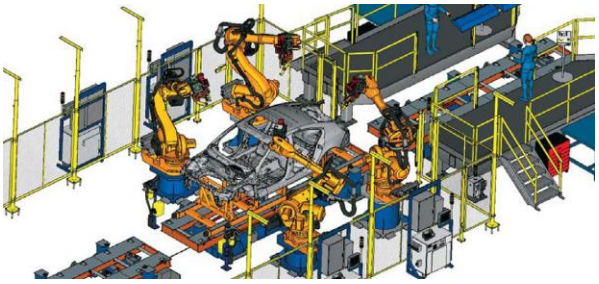
Doporučený řešitel

- VCSVTT; výrobci strojů nabízející zákazníkům odladěné technologie; uživatelé výrobních strojů

1.3.3. (T104) Simulace výrobních procesů

Navrhovatel

- Ing. Zeman, PhD., Ing. Petr Mašek a kol. (ČVUT v Praze)



Vazba tématu na SVA

- (U: 20)
- VaV systematických metod pro sledování výrobních nákladů při obrábění a souvisejících procesech výroby. Systémy pro monitorování využití a trvanlivosti břitu nástrojů, průběhu výroby, výrobních časů a využití strojů, systémy evidence procesů nad obrobkem. (A-Snižování výrobních nákladů-2)

Komentář k aktualizaci

- Nově uvedené téma. Pokud řešíme výkon obrábění z hlediska produktivity výroby, je klíčová nejen produktivita konkrétního stroje (viz T08 a T10), ale i celé linky. Hledání úzkých míst je významným bodem při zvyšování produktivity výroby.

Stručný popis stavu problematiky ve světě

- V současnosti je trendem v průmyslu zeštíhlovat výrobu a snižovat tak náklady na výrobu daného produktu pomocí technik průmyslového inženýrství. Toto průmyslové inženýrství obsahuje širokou škálu metody štíhlého řízení (metody jako: Kaizen, 5S, 3MU, JIT a další) ale i nástroje a metody pro optimalizaci toků materiálu, informačních toků a plánování. Stejně tak do oblasti průmyslového inženýrství spadá i technologičnost konstrukce, návrh pracoviště, ergonomičnost pracoviště a pomůcek pro práci a další.
- Pro dosažení optimálního průchodu materiálu výrobou a pro zvýšení efektivity plánování jsou stále více využívány softwarové nástroje pro simulaci toku materiálu jako jsou Plant Simulation od firmy Siemens, Simul8 od stejnojmenné společnosti, nebo Simproces od společnosti CACI. Souhrnně se tyto a další software řadí do skupin CIM (computer-integrated manufacturing. Tyto programy umožňují ve zjednodušených 2D animacích simulovat výrobu v podniku a následně také simulovat mnoho variant výroby v daném podniku. Z těchto variant je možné na základě výsledných dat navrhovat zlepšení vedoucí k úsporám v daném podniku. Simulace v tomto případě je velmi efektivní a finančně málo nákladné řešení v porovnání s metodou pokus – omyl přímo ve výrobě.
- Další nadstavbou simulace virtuální továrny spočívá v 3D simulaci výroby (výrobních linek s dopravníkovým pásem, s manipulačními roboty nebo pracovníky.). Těmito programy je možné odhalit kolize, které by mohli nastat při výrobě, například při ustavování či manipulaci s obrobky a dovolují také optimalizovat takt výroby na daném pracovišti či lince. Déle tyto software umožňují navrhnout pracoviště a manipulační činnosti pro uživatelem definovaného pracovníka a vyhodnocovat zatížení pracovníka a efektivitu jeho činností na pracovišti. Takovým simulačním software je například Process Simulate od firmy Siemens. Jiné možnosti optimalizace výroby stran montáže nabízí například software Process Designer od téže společnosti.
- Nejdůležitějším aspektem při optimalizaci výrobního systému simulací zůstává korektnost dat, na kterých je vystavěn daný simulační model.

Současný způsob řešení problematiky v ČR

- V současné době je systematicky rozvíjeno na ČVUT v Praze a ZČU v Plzni. V tématu není výzkumný projekt, know-how na univerzitách je získáváno při ad-hoc spolupráci s komerčními firmami.

Výhody

- Simulace výrobního procesu pomocí software šetří náklady a čas při optimalizaci výroby. Je tak možné nalézt velmi efektivně nejvhodnější variantu řešení pro danou výrobní situaci.

Zhodnocení přínosu pro průmysl

- Virtuální odladění výrobních systémů (linky, výrobní buňky atd.) před jejich uvedením do provozu. Návrh optimálního uspořádání pracoviště.
- Nalezení úzkých míst v již zavedené výrobě pomocí simulace. Možnosti nalezení optimální varianty řešení daného pracoviště vyplývající z možné simulace mnoha variant.
- Simulace toku materiálu a kapacit na pracovištích před zavedením nového výrobku do výroby. Možnost optimalizace výroby.
- Možnosti optimalizace montážních pracovišť, montážních a manipulačních činností a zlepšení ergonomie na pracovišti za pomoci vhodného software.

Způsob dosažení cílů

- Účast na vzdělávacích programech a školeních týkajících se užívání softwarových nástrojů pro simulaci výrobních systémů a také metod průmyslového inženýrství.
- Zvyšování gramotnosti v programovacích jazycích pro dané simulační nástroje.
- Implementace teoretický moderních přístupů průmyslového inženýrství do řešení simulačních modelů.
- Vytvořit databázi základních modelů pro rychlejší a efektivnější návrh konkrétních výrobních systémů.

Doporučený řešitel

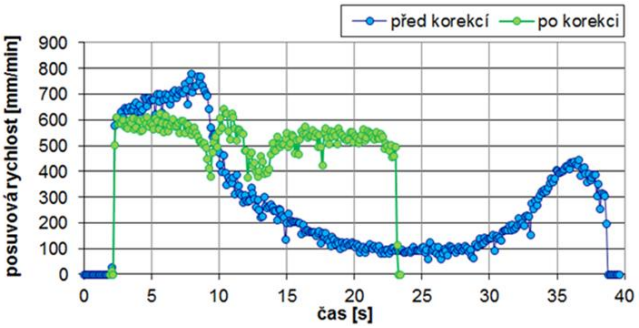
- VCSVTT; uživatelé obráběcích strojů s rozsáhlou výrobní základnou

1.4. NC programování

1.4.1. (T11) Metody tvorby postprocesorů pro víceosé a multifunkční NC stroje

Navrhovatel

- Ing. Petr Vavruška, Ph.D. a kol. (ČVUT v Praze)



Vazba tématu na SVA

- (U: 11, 36)
- VaV tvorby a generování postprocesorů pro víceosé NC stroje, multifunkční a hybridní stroje. (A-Technologie výroby tvarově náročných obrobků-1)
- Stroje pro velmi přesné obrábění obecných tvarových ploch (čtyřosé a pětiosé stroje). Řešení problému přesnosti při prostorové transformaci ve čtyřech a více osách. (B-Zvyšování přesnosti strojů-1)

Komentář k aktualizaci

- Zaměření téma je doplněno specifickými technologickými funkcemi, které mohou být v posprocesorech obsaženy. Z hlediska funkcionality je to významné rozšíření tématu.

Stručný popis stavu problematiky ve světě

- Pro ulehčení práce technologa se dnes běžně využívá CAM systémů. Orientace mezi těmito jednotlivými produkty, kterých neustále přibývá a jsou mnohdy koncipovány tak, že jsou detailně zaměřeny na určitou oblast výroby (převážně tříosého obrábění), nebo umožňují pokrýt širší spektrum výroby, avšak s určitými omezeními, je velmi složitá. Pro vygenerování NC programu musí být ještě k dispozici vždy konkrétní postprocesor. Vytvoření postprocesoru pro víceosé stroje, multifunkční obráběcí centra, či různé hybridní stroje představuje náročný úkol; ten může být řešen alternativně pomocí konstruktoru (generátoru překladačů), který je zpravidla součástí CAM systému, nebo je třeba vytvořit vlastní generátor, orientovaný na řešení konkrétního úkolu – oba přístupy jsou relativně pracné a vyžadují značné znalosti a zkušenosti. Prvá varianta může být označena jako práce s „černou skříňkou“, tedy úzkou vazbou na vlastníka software, druhá umožňuje velmi detailní řešení, ale za cenu značné odbornosti. Několik výrobců se zaměřilo na tvorbu uživatelsky komfortních prostředí pro generování postprocesorů cestou konstruktorů s datovým ovládáním (např. systém NX, EdgeCAM), či umožňují postprocesor naprogramovat pomocí určitého programovacího jazyka (např. SurfCAM, Catia, GibbsCAM). Určité komplexní řešení v oblasti postprocesorů zajišťuje kanadská společnost ICAM, která nabízí produkt CAMpost. Prostřednictvím tohoto softwaru lze vytvářet postprocesory pro vícero CAM systémů a může být využito i nadstandardních funkcí jako např. předřazování pohybů u strojních os pro zabránění dosažení některého z jejich limitů v průběhu obrábění.
- Provedeny byly návrhy na tvorbu postprocesorů, kde je kladen důraz na použití klasických výpočetních metod pro realizaci prostorových transformací, viz např. odborné články: [Y. H.

Yung, D.W. Lee, J. S. Kim, H.S. Mok: NC post-processor for 5-axis milling machine of table-rotating/tilting type. (Journal of Materials Processing Technology)], nebo [Ch. H. She, Ch. Ch. Chang: Development of a five-axis postprocessor system with a nutating head. (Journal of Materials Processing Technology)].

- Byly provedeny analýzy geometrických chyb, vznikajících při víceosém obrábění a formulovány byly nedostatky při generování určitých typů obráběcích operací, zejména u dokončování, viz např.: [PECHARD P.Y., TOURNIER CH., LARTIGUE, C. et al.: Geometrical deviations versus smoothness in 5-axis high-speed flank milling. (International Journal of Machine Tools & Manufacture)].
- Rozhodujícím činitelem užitné hodnoty postprocesoru je jeho tvůrce – programátor postprocesoru. Postprocesor je možné vytvořit jako „pouhý“ překladač dat z CAM systému na data pro daný výrobní stroj, anebo je možné vytvořit postprocesor jako překladač, vybavený navíc různými speciálními nadstandardními funkcemi, které budou využívat dispozic řídicího systému stroje v co nejvyšší míře k dosažení maximální přesnosti výroby, minimálního strojního času apod. Mezi nadstandardní funkce však můžeme řadit např. i přepočty posuvové rychlosti v průběhu dráhy nástroje, korekce dráhy nástroje, konverze interpolací, slučování/překrývání výrobních operací, řízení technologických podmínek pro potlačování vibrací, transformace souřadnic pro stroje s nestandardním kinematickým uspořádáním strojních os, analýza strojních časů, atd., které však dosud nejsou běžně používanými funkcemi, ačkoliv je jejich vývoj žádoucí.
- Ve formě funkcí některých řídicích systémů jsou dostupné např. funkce Tool Center Point (TCP), nebo smooth TCP. Pro standardní kinematické konfigurace víceosých obráběcích strojů tyto funkce zajišťují dosažení požadované dráhy nástroje při víceosém obrábění a průběhu posuvové rychlosti podle dispozic pohonů stroje. Pro nestandardní kinematické uspořádání rotačních os stroje není možné využívat funkci TCP řídicího systému a tak není možné dosahovat požadované přesnosti výroby a dosahovat žádaných technologických podmínek při obrábění. To platí i v případě, že funkcí TCP není řídicí systém stávajícího stroje vybaven, nebo není-li zvykem aplikovat funkci TCP pro programování strojů z důvodu špatné orientace v datech NC programu (funkce vyžaduje specificky generované souřadnice).
- Překrytí výrobních operací na multifunkčních strojích je dosud zajišťováno prostřednictvím synchronizačních manažerů v některých CAM systémech. Synchronizaci dvou víceosých operací v součinnosti s alespoň jednou rotační osou však standardně neumožňují. K tomuto účelu je nutno disponovat určitým CAM systémem, nebo je možné vybavit postprocesor speciální funkcí, která provede synchronizaci dvou víceosých operací při generování NC programu.
- Byly již vyvíjeny např. funkce pro korekce dráhy kolem stacionárních bodů [S∅rby K.: Inverse kinematics of five-axis machines near singular configurations, (International Journal of Machine Tools & Manufacture)]. Pro kombinaci CAM systému CATIA a řídicího systému Siemens Sinumerik 840D byl proveden návrh spline interpolace pro pětiosé obrábění [Langeron J.M., Duc E., Lartigue C., Bourdet P.: A new format for 5-axis tool path computation, using Bspline curves, (Computer-Aided Design)]. Z hlediska přípravy dráhy nástroje byl proveden návrh filtrace bodů a následného generování dráhy pomocí B-spline pro dosažení hladkého průběhu dráhy nástroje [Yan Ch., Lee Ch., Yang J.: Three-axis tool-path B-spline fitting based on preprocessing least square approximation and energy minimization and its quality evaluation, (MM Science Journal)]. Dosud však chybí praktické aplikace při výrobě, přičemž použití podobných funkcí je v procesu výroby opodstatněné a přináší mnohé výhody.

Současný způsob řešení problematiky v ČR

- Téma je řešeno v rámci WP2 projektu CK SVT ve spolupráci ČVUT v Praze a firmy Kovosvit MAS.

Cíle a praktické výstupy pro obor/průmysl

- Generování NC programů s ohledem na maximální využití pokročilých programovacích funkcí daného obráběcího stroje a jeho řídicího systému. Možnost naprogramování specifických funkcí postprocesorů, zejména pro zvýšení užitné hodnoty a uživatelského komfortu (vzhledem k systému CAM a řídicího systému konkrétního obráběcího stroje), což může vést ke zvýšení produktivity a konkurenceschopnosti zainteresovaných firem.
- Generování NC programů s daty přizpůsobenými pro dosahování požadované přesnosti a jakosti při výrobě tvarově složitých dílců, přičemž bude dosahováno kratších výrobních časů a požadovaných technologických podmínek při výrobě. K těmto cílům budou přispívat specifické funkce postprocesoru pro daný použitý výrobní číslicově řízený stroj. Funkce se budou zaměřovat na korekci dráhy nástroje, integraci dvou víceosých operací na multifunkčních strojích, korekci technologických podmínek, apod. Výstupem je zvýšení užitné hodnoty konkrétního postprocesoru, což přispívá ke zvyšování konkurenceschopnosti dané společnosti
- Navýšení výstupu z postprocesorů do strukturovaných řídicích programů bez nutnosti využití sekundárních postprocesorů. Konkrétně přizpůsobené postprocesory vzhledem k požadavkům daného zákazníka a zvyklostem, zavedeným při programování obráběcích strojů ve firmě.

Vlastní odborné zhodnocení přínosu tématu pro obor a průmysl v ČR

- Řešené téma velmi výrazně ovlivňuje využitelnost disponibilních funkcí obráběcích strojů zvláště s více řízenými osami a víceprofesních center a jejich řídicích systémů při výrobě tvarově složitých dílů. Zvyšování přesnosti při výrobě na víceosých obráběcích strojích v rámci reálných možností při generování NC programů představuje v současnosti velmi žádanou a dosud úzce probádanou oblast. Určitá omezení při automatizované tvorbě NC programů, způsobená univerzálností CAM systémů, by proto měla být odstraněna pomocí postprocesorů, orientovaných nejen na geometrickou, ale i technologickou oblast tak, aby bylo minimalizováno množství geometrických a technologických chyb vznikajících při výrobě.
- Řešení tohoto tématu technologických funkcí představuje vybavení postprocesorů o nadstandardní funkce, což činí tyto postprocesory účinnější oproti standardním postprocesorům. Postprocesor vybavený nadstandardními funkcemi generuje NC program s korigovanými technologickými podmínkami a korigovanou dráhou nástroje tak, aby bylo docíleno snížení výrobního času a dosažení vyšší přesnosti obrábění a vyšší jakosti povrchu součásti. Postprocesor je také vytvořen podle konkrétních požadavků uživatele a tak zvyšuje i uživatelský komfort, což velice usnadňuje technologickou přípravu výroby. Aplikace takto rozšířeného postprocesoru bezesporu přispívá ke zvýšení konkurenceschopnosti dané společnosti.

Způsob dosažení cílů

- Studium a rozbor dosavadních nabízených řešení na trhu a řešení vyplývajících z výzkumu. Formulovat poznatky vzhledem ke konkrétním nedostatkům v této problematice. Stanovení cílů pro další vývoj s ohledem na reálné možnosti a dispozice. Naprogramování specifických funkcí postprocesorů pomocí programovacích jazyků vyšší úrovně, využití generátorů dostupných na trhu (např. modul PostBuilder pro CAD/CAM systém NX), či naprogramování nestandardních postprocesorů pro generování cílového NC programu. Tím je dáno i možné zaměření na vícefázové generování NC programu. Současně je také potřeba soustředit se na generování strukturovaných NC programů a efektivní programování technologických funkcí s ohledem na dynamické jevy a těžko obrobitelné materiály.
- Rozbor současných možností pro transformaci souřadnic pro víceosé obrábění a odzkoušení možných variant matematického výpočetního aparátu v postprocesoru. Analýza stávajících dosažených výsledků v rámci dosavadní činnosti jednotlivých spoluřešitelů v této problematice.

Odladění postprocesorů na konkrétních výrobních strojích a centrech s možností odzkoušení NC programů pro výrobu tvarově složitých dílů.

- Vývoj funkce postprocesoru pro korekci dráhy nástroje v případě, kdy není využito funkce Tool Center Point řídicího systému, vývoj funkce pro korekci posuvových rychlostí při víceosém obrábění a vývoj funkce pro integraci několika výrobních operací na multifunkčních strojích je spojen se systematickým prováděním testů na reálných obráběcích strojích. Vždy se však jedná o modifikaci NC programu pomocí postprocesoru, což znamená přímou cestu, bez dalšího nutného SW a uživatel tak není zatížen žádnou prací navíc, jelikož vše vykoná postprocesor automaticky při generování NC programu podle uživatelem nastavených parametrů. Je vhodné zaměřit se také na možnosti využívání interpolací typu spline pro víceosé řízení, přičemž je zapotřebí uvažovat konverzi různých formátů spline interpolací, či korekci spline dat (dodatečné vyhlazování) na úrovni postprocesoru. Pomocí specifických transformací v postprocesoru je také možné kompenzovat některé geometrické nepřesnosti, vzniklé např. při montáži komponent výrobního stroje.

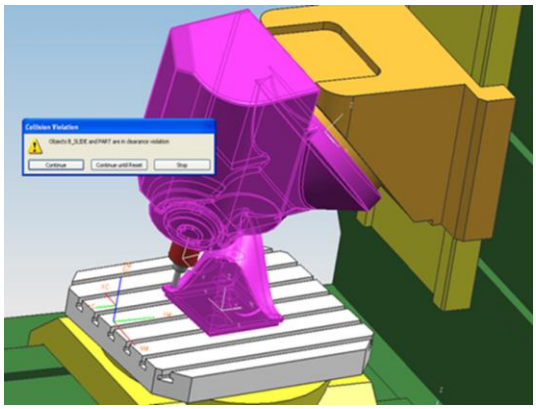
Doporučený řešitel

- VCSVTT; matematické ústavy (např. ČVUT FS - Ú 12 101, UK MFF, MU AVČR); výrobci strojů (např. Tajmac ZPS, Kovosvit MAS, atd.); výrobci řídicích systémů; uživatelé strojů zabývající se výrobou tvarově složitých dílů; firmy jejichž produkty jsou např. kompresorová kola, difuzory, rozváděcí kola, atd. (např.: PBS Turbo Velká Bíteš, ČZ Strakonice, atd.)

1.4.2. (T12) Simulace a verifikace NC programů

Navrhovatel

- Ing. Petr Vavruška, Ph.D. a kol. ČVUT v (Praze)



Vazba tématu na SVA

- (U: 12)
- Zdokonalování simulace a verifikace řídících NC programů a technik jejich experimentálního ověřování na tvarově náročných dílech. (A-Technologie výroby tvarově náročných obrobků-1

Komentář k aktualizaci

- Téma je zaměřeno především na verifikaci konečného NC kódu vč. analýzy kolizí. Způsob přípravy NC kódu není v tomto případě rozhodující. Téma jde tedy za možnosti současných CAM programů a má přirozenou vazbu na téma T29.

Stručný popis stavu problematiky ve světě

- Základní simulace a verifikace dráhy nástroje při programování CNC strojů je nedílnou součástí každého CAM systému. S tímto nástrojem lze optimalizovat dráhu nástroje, simulovat reálný úběr materiálu z obrobku a současně kontrolovat možné kolize mezi nástrojem a obrobkem / upínacími prvky již během přípravy řídicích partprogramů. Toto se však odehrává na úrovni CL dat, resp. vnitřních dat CAM systému.
- Verifikace NC programů a technik při výrobě tvarově náročných dílců nebo při výropbě na strojích se složitou kinematikou (soustružnických automaty, multifunkční stroje) je nezbytně nutná. Na verifikaci je kladen velký důraz nejen od zákazníků, ale i od vlastních technologů na verifikaci NC programu před vlastním seřízením stroje.
- Nástrojem pro pokročilejší stupeň simulace v CAM systémech je integrovaná verifikace, založená na zobrazení virtuálních modelů obráběcích strojů. Ta umožňuje analyzovat a kontrolovat řídicí programy v kontextu pohybů kompletního obráběcího stroje odpovídajícím trajektorii NC programu. Její nasazení může být výhodné zejména pro složité víceosé a vícekanálové obráběcí stroje, jakými jsou například soustružnicko / frézovací centra. Zde se již simulace odehrává na úrovni NC programu.
- O nejvyšším stupni simulace NC programů hovoříme v případě zapojení reálného chování řídicího systému konkrétního obráběcího stroje do procesu pokročilé simulace. Tato simulace umožňuje vyhodnocovat správnost obráběcího procesu v CAM systému na virtuálním obráběcím stroji nejen z hlediska kinematického převodu vytvořených dat, ale i z hlediska dynamického chování stroje a zpracování NC kódu řídicím systémem, neboť právě ta je ve zmíněné simulaci navíc zohledněna.
- Z hlediska dostupnosti verifikačního software na trhu lze zmínit následující konkrétní příklady nadstavbového software:
- Vericut – produkt od společnosti CGTech, který obsahuje např. modul pro simulaci strojů s paralelními kinematikami. Dále je možné využívat funkci pro přepočítávání posuvové rychlosti vzhledem k aktuálně odebíranému množství materiálu při tříosém obrábění (funkce OptiPath).

- MachineWorks – produkt od stejnojmenné společnosti, kde je možné simulovat dráhu nástroje se zavedenou kinematikou stroje. Dále SW umožňuje modifikovat či dovytvářet dráhy nástrojů základních operací tří až pětiosého obrábění.
- Na toto téma bylo vypracováno i několik publikací, kde se autoři zabývají např. vývojem simulačního softwaru pro verifikaci obrábění se stroji s paralelními kinematikami [Zhang J. M., Fan Y., Jia D. Y., Zou Q. L., Wu J.: Kinematic simulation of a parallel NC machine tool in the manufacturing process. (Frontiers of Mechanical Engineering in China)]. Dále lze zmínit publikace, které se věnují přímo verifikaci obrobeného povrchu v interakci s nástrojem [You Ch. F., Chu Ch. H.: Tool-path verification in five-axis machining of sculptured surfaces. (The International Journal of Advanced Manufacturing Technology)].
- Dosud chybí vývoj grafického prostředí pro vizualizaci průběhu technologických parametrů při obrábění, což by bylo vhodné znázorňovat současně při grafické simulaci obrábění. Technolog by tak měl možnost vizálně kontrolovat dosažení potřebných technologických parametrů. V současnosti jsou vizualizována pouze místa na obrobku, kde dochází např. k podřezání obrobku, nebo k nedostatečnému obrobení, resp. je znázorněn tzv. scallop. Skutečně dosažené technologické parametry však mají zásadní vliv na výsledný povrch součásti.
- V případě tvorby NC programu pro víceosé obrábění bez využití funkce Tool Center Point není v současnosti umožněno při verifikaci obrábění zobrazovat skutečné odchylky dráhy nástroje od požadované dráhy, což je pro technologa důležitou skutečností pro úspěšné obrobení dílce.

Současný způsob řešení problematiky v ČR

- Téma je v současné době řešeno především v rámci WP1 projektu CK SVT řešeného ČVUT v Praze a oborovými firmami. Aktivity jsou zaměřené na verifikaci NC kódu s využitím virtuálního obráběcího stroje.

Cíle a praktické výstupy pro obor/průmysl

- Tvorba virtuálních modelů (respektive jejich stavebnice) obráběcích center s ohledem na maximální využití pokročilých programovacích funkcí daného obráběcího stroje a jeho řídicího systému, zohledňujícího reálné chování obráběcího centra ve volitelných modifikacích.
- Analýzy pro konkrétně přizpůsobené simulační případy vzhledem k požadavkům daného zákazníka a zvyklostem zavedeným při programování obráběcích strojů ve firmě.
- Simulační kontrola součinnosti strojních os u náročných případů obrábění pro zabránění možných kolizních stavů, kontrola dispozice pracovního prostoru stroje u rozměrných obrobků, výměny nástrojů a nástrojových hlav, palet a jejich způsobů použití atd.
- Rozšíření simulace/verifikace obrábění o možnosti vizualizace průběhu posuvové rychlosti podél dráhy nástroje, resp. potřebných technologických parametrů. Na základě nedosažených potřebných technologických parametrů v určitých místech dráhy nástroje by byla tato místa graficky odlišena. Technolog tak bude mít přehled o problémových místech na povrchu součásti před skutečnou výrobou a měl by tak možnost upravit dráhu nástroje k dosažení příznivějšího stavu.
- Rozšíření simulace/verifikace obrábění o možnosti vizualize odchylek skutečné dráhy nástroje od požadované při tvorbě NC programu pro víceosé obrábění bez využití funkce Tool Center Point. Technolog tak bude mít možnost kontrolovat skutečný stav a možnost modifikovat dráhu nástroje před skutečným obráběním.

Vlastní odborné zhodnocení přínosu tématu pro obor a průmysl v ČR

- Téma se velmi výrazně týká vlastní využitelnosti disponibilních funkcí současných CAM systémů a jejich příslušných nadstaveb při výrobě tvarově složitých dílů a v řadě případů, zvláště

u rozměrných a těžkých dílů (unikátní výrobky), je verifikace celého výrobního postupu jedinou možnou cestou ověření reálnosti výroby zvoleným postupem a disponibilním zařízením.

- Uvedenými simulacemi dochází k výrazné eliminaci neproduktivních časů obráběcích center při odlaďování úvodních kusů každé další zakázky.
- Dochází k výraznému snížení rizika mnohdy finančně náročných a tedy nežádoucích kolizních stavů obráběcích center při reálné výrobě, neboť je minimalizováno množství chyb, které se mohou při programování vyskytnout.
- Při využití virtuálního jádra řídicího systému (SIEMENS VNCK, HEIDENHAIN TNC) se nabízejí široké možnosti vlastního testování funkcí řidicích systémů a ve spojení s dynamickým modelem stroje a nástroji pro úběr materiálu pak celé virtuální obrábění. To nabízí možnost odladění technologie a sledování předpokládané kvality povrchu obrobku a jeho přesnost. Více viz T29.
- Zvyšování produktivity a konkurenceschopnosti firem při přípravě náročných zákaznických technologií.

Způsob dosažení cílů

- Studium a rozbor dosavadních nabízených řešení na trhu a řešení vyplývajících z výzkumu. Formulovat poznatky a stanovit konkrétní nedostatky v této problematice. Stanovení cílů pro další vývoj s ohledem na reálné možnosti a dispozice.
- Rozbor možností případné integrace volného SW (free SW) do procesu tvorby simulačních modelů pro verifikaci NC programů a posouzení náročnosti přípravy modelů v porovnání s diponibilními prostředky na úrovni CAM systémů.
- V souvislosti s grafickým znázorňováním průběhu dosahovaných technologických podmínek při obrábění a zobrazováním odchylek skutečné dráhy nástroje od požadované (bez aplikace funkce Tool Center Point) je nutno uvažovat stupeň verifikace obrábění na úrovni NC programu (nikoliv na interních datech CAM systému) a implementaci jádra řídicího systému, či jeho zjednodušené verze pro dosažení potřebného efektu. Celkové pojetí však musí být koncipováno tak, aby nebyl zkomplikován proces přípravy NC programu pro uživatele, tedy nemělo by docházet k nárůstu nutnosti využití dalšího SW. V ideálním případě by mělo dojít pouze k rozšíření určitého CAM systému.
- Vývoj grafického prostředí pro znázornění časové náročnosti dílčích technologických operací.
- Odladění simulačních případů na konkrétních, vzájemně rozdílných typech výrobních strojů a obráběcích center s možností odzkoušení NC programů pro výrobu zvláště tvarově složitých dílů.

Doporučený řešitel

- VCSVTT; ústavy zabývající se mechanikou, mechatronikou a řízením (např. ČVUT FS - Ú 12 105, UTIA AVČR); matematické ústavy (např. ČVUT FS - Ú 12 101, UK MFF, MU AVČR); výrobci strojů nabízející zákazníkům odladěné technologie; firmy zabývající se vývojem software; uživatelé strojů zabývající se výrobou tvarově složitých dílů; firmy co jako výrobní prostředek využívají víceosá či multiprofesní (soustružnicko/frézovací) obráběcí centra.

1.4.3. (T13) Optimalizace NC kódu

Navrhovatel

- Ing. Jan Veselý, Ph.D., Ing. Petr Vavruška a kol. (ČVUT v Praze)

Vazba tématu na SVA

- (U: 14)
- Optimalizace NC kódu s ohledem na dynamické vlastnosti stroje, vřetene, pohonů a řídicího systému. (A-Výzkum vlivu mechaniky a řízení obráběcího stroje na dosahovanou jakost povrchu a přesnost rozměrů obrobku-1)

Komentář k aktualizaci

- Téma se úžeji zaměřuje na optimalizaci NC kódu z hlediska zvýšení produktivity a přesnosti obrábění především vzhledem k možnostem reálných řídicích systémů a také pohonů na konkrétním obráběcím stroji. Tento způsob optimalizace má největší význam při obrábění tvarových ploch, kde společně interpoluje několik NC os. Z tohoto důvodu se součástí tématu stalo i téma (T14) Výzkum speciálních problémů výroby tvarově složitých, které je aplikační podčástí tématu T13.

Stručný popis stavu problematiky ve světě

- Řídicí systémy (ŘS) obráběcích strojů dovolují interpolovat ve více než třech osách a zvládají tak obrábění tvarově složitých součástí. CAM programy vytváří však taková data, která sledují pouze dodržení geometrické přesnosti. Často však vylučují reálné splnění dynamických možností pohonů v interpolujících osách (rychlost, zrychlení, ryv), což se projeví zejména na kvalitě povrchu obrobku.
- Navržená technologická rychlost pro danou trajektorii, po rozložení do interpolujících os, není často dosažitelná a vykazuje nespojitosti. Vlastní ŘS je schopen některé problémy vyřešit, ale vždy jen v určité míře (např.: HEIDENHAIN HSC filtrace, SIEMENS – komprese dat). Začínají se objevovat programy specializující se na postprocesní úpravu NC kódů (Vericut, Advantage – Production module), které upravují kód s uvažováním některých vlastností stroje a ŘS, popř. optimalizují posuvové rychlosti vzhledem k určujícímu parametru (konstantní úběr, konstantní řezná rychlost, aj.)
- Snahou mnoha výzkumných ústavů je optimalizace průjezdu drah nástroje nejen z hlediska geometrického sledování CAD modelu, ale také vzhledem k časové minimalizaci obrábění, kvalitě a přesnosti povrchu [Lazoglu, Manav, Murtezaoglu: Tool path optimization for free form surface machining. CIRP Annals Manufacturing Technology (2009)]; [Konference: Design and Production of Machina and Dies/Molds – sekce Cutting/Milling/Machining (editor: M. Akkok, E. Budak, M. Firat, B. Kaftanoglu), Turecko 2007]; [Munlin, Makhanov: Iterative Shortest Path Angle Sequencing for Five-Axis Machining. 2009]; [Meo: Algorithms for the optimized generation of trajectories though splines, and their integration into open architecture control systém. Fidia S.p.A., Italy].
- Intenzita aplikací výroby tvarově složitých dílů je odvislá od současného stavu vyspělosti strojírenské výroby v konkrétním regionu či firmě; rozdíly jsou významné. Vrcholovou úroveň

zpravidla představuje výroba proudových strojů a výroby svým charakterem příbuzné (letecká výroba a energetické strojírenství). Všeobecně publikované informace v této oblasti prakticky neexistují; jedná se vždy o vědomostní potenciál, který je vždy dosti přísně střežen a získání skutečně relevantních informací je málo pravděpodobné. Při tom jak technické, tak programové prostředky pro realizaci uvedených výrob patří k těm cenově náročnějším. Mnohdy je těžiště problémů nejen v technickém vybavení, ale ve schopnosti aktivně využívat všechny nabízené disponibilní možnosti při vzájemné interakci hardware a software.

- Jednu z klíčových rolí hraje volba vhodně tuhého upnutní obrobku a volba nástroje, což je při obrábění tvarově náročných dílců proces integrující požadavky na tuhost, na tvar z hlediska vyráběné plochy, na tvar z hlediska disponibilního (manipulačního) prostoru a na řezné vlastnosti. Dosud neexistuje efektivní nástroj zajišťující technologovi usnadnění volby vhodného nástroje. Určitý prostředek navrhl Tuong N. V.: Free-form surface manufacturing, kde je však automatická volba nástroje založena pouze na tvaru obráběného povrchu, což představuje pouze jednu z okrajových podmínek.

Současný způsob řešení problematiky v ČR

- Téma je řešeno jako integrální součást WP1, WP3 a WP4 projektu CK SVT řešeného ČVUT v Praze a oborovými firmami.

Cíle a praktické výstupy pro obor/průmysl

- Standardní zpracování NC kódu pomocí CAM programů sleduje splnění geometricky zadaného profilu z CAD. Nejsou zohledňovány dynamické možnosti pohonů (max. rychlost, max. zrychlení, max. ryv), které dosažení žádané dráhy a především výsledný čas obrábění výrazně ovlivňují. Cílem je navrhnout metodiku pro tvorbu NC kódů, které zastupují žádané dráhy nejen po geometrické stránce, ale také po dynamické. Výstupem bude softwarový produkt spolupracující s daným CAM programem (popř. samostatný postprocesor), který bude řídit tvorbu (popř. úpravu) NC kódu s použitím víceparametrické optimalizace.
- Návrh zobecnělých CL dat v CAM programu je určen vytvořenou náhradní sítí (většinou trojúhelníkovou) pokrývající povrch CAD modelu. Kvalita výsledných CL dat, respektive NC kódu je závislá na kvalitě tvořící sítě. Problémy mohou způsobovat příliš husté sítě nebo sítě s nerovnoměrným rozložením hustoty interpolujících plošek. Cílem je studovat metodu interpolujících sítí a vytvořit její řízené generování. Výstupem bude rozklíčování síťovacích funkcí v daném CAM programu, popř. vytvoření samostatného síťovacího modulu, z něhož bude možno načíst data pro další zpracování k vytvoření NC kódu.
- Zvláště u tvarově složitých obrobků jsou výsledné dráhy interpolovány NC kódem složeným pouze z lineární interpolace. To vede na přetěžování řídicích systémů při odbavování NC kódu. Dále vzniká principiální problém v rychlostní nespojitosti interpolujících os při teoretickém dokonalém dodržení lomené dráhy. Cílem je navrhnout způsoby pro účelné využití vyšších interpolujících polynomů. Výstupem bude hodnocení použitelnosti interpolujících polynomů v rámci vybraných (nejčastěji v praxi používaných) CAM softwarů, popř. vytvoření samotného modulu pro generování úseků nahrazených křivkami vyšších řádů.
- Alternativou k použití existujících CAM SW je vývoj vlasních algoritmů dráhového řízení. Vývoj vlastních algoritmů otevře možnost k programování drah přímo na NURBS geometrii tak jak je navržena v CAD. Nedojde tedy k znehodnocení CAD geometrie triangulací. Drahy tedy bude možné navrhovat přímo z NURBS ploch jako NURBS křivky, které jsou výhodnější jak z hlediska schopnosti CNC systému odbavit množství dat, tak především z hlediska přesnosti tvaru a dynamiky osy při pohybu po dráze. Uvedený postup tedy přinese jak kvalitní povrch, tak kratší čas obrábění.

- Aby bylo možno geometricky zadaný kód odbavit prostřednictvím řídicího systému, musí tento obsahovat interpolátor, který, v nejjednodušším pojetí, převádí geometrická data do časově proměnných dat. Využívá k tomu předepsaných omezení dynamických parametrů a dalších pomocných funkcí – filtrace dráhy, LookAhead, komprese dat, aj. Nastavení těchto funkcí je vázané na konkrétní technologii a typ obrobku. V rámci procesu odbavení NC kódu pomocí příslušného řídicího systému zprostředkovávají tyto funkce vnitřní optimalizaci navržených žádaných drah. Cílem je určení míry vlivu funkcí interpolátoru běžně používaných řídicích systémů. Výstupem bude metodika pro správné seřízení řídicích systémů vzhledem k odbavovanému NC kódu a opačně – tvorba NC kódu bude vedena možnostmi řídicího systému.hodných
- Dalším tématem k řešení je volba vhodných strategií obrábění a vhodných řezných nástrojů. Cílem je usnadnění práce technologa, který by na základě automatizované výběru obdržel určitou množinu vhodných nástrojů, ze kterých by finální volbu mohl provést osobně. Podskupinu řešení tvoří automatizovaný návrh optimálního tvaru profilu nástroje při obrábění bokem nástroje - tzv. meridiálním obrábění. Alternativou je vytvoření algoritmu generování několika možných variant víceosé dráhy nástroje při obráběním bokem nástroje, přičemž by byly počítány odchylky obrobené plochy od ideální plochy a finální dráha nástroje by byla volena vzhledem k minimálním dosaženým odchylkám. V současnosti je výpočet dráhy v CAM systému řešen vždy pouze pro jediné nastavení parametrů dráhy, a odchylky skutečně obrobené plochy od ideální musí zjišťovat technolog např. při simulaci, nebo verifikaci.

Vlastní odborné zhodnocení přínosu tématu pro obor a průmysl v ČR

- Navržené téma spadá do oblasti obrábění tvarově složitých ploch, především obrábění forem (velká produkce zejména v automobilovém průmyslu) a lopatkových kol (energetický a automobilový průmysl). Hlavním přínosem bude řízená míra kvality a přesnosti obrobků vzhledem k času obrábění prostřednictvím vícekriteriální optimalizace NC kódu.

Způsob dosažení cílů

- Důkladné prozkoumání stávajících výpočtových metod v CAM a řídicích systémech. Analýza dostupného firemního know-how (firmy Liechti, Starrag apod.). Zmapování a ověření interpolačních možností řídicích systémů a jejich praktickou využitelnost.
- Aplikace matematického aparátu polynomiálních interpolací a vícekriterální optimalizace.
- Odzkoušení generovaných NC kódů na reálných strojích a verifikace s reálným obrobkem (vazba na T12).
- Navrhnout postupy vedoucí k automatizovanému výběru nástroje vzhledem k požadavkům tuhostním a zároveň požadavkům na tvar obráběné plochy, disponibilní prostor a řezné vlastnosti. Tyto postupy budou principiálně odlišné pro obrábění bodové a obrábění bokem nástroje.
- Vazba na vyšší typy NC postprocesorů (T11).

Doporučený řešitel

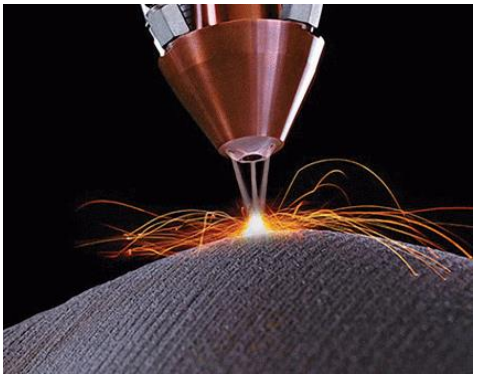
- VCSVTT; ústavy zabývající se mechanikou, mechatronikou a řízením (např. ČVUT FS - Ú 12 105, UTIA AVČR); matematické ústavy (např. ČVUT FS - Ú 12 101, UK MFF, MU AVČR); výrobci strojů nabízející zákazníkům odladěné technologie; firmy zabývající se vývojem software; uživatelé strojů zabývající se výrobou tvarově složitých dílů; výrobci strojů pro tvarově složité obrábění

1.5. Nekonvenční obrábění

1.5.1. (T102) Výzkum 3D tisku a aditivní technologií pro využití průmyslu

Navrhovatel

- Ing. Ivan Diviš a kol. (ČVUT v Praze)



Komentář k aktualizaci

- Nově přidané téma. Ačkoliv jsou obráběcí stroje primárně zaměřeny na odebírání materiálu, je zde technologie přidávání materiálu uvedena. Především proto, že ve speciální výrobě se může s obráběním vhodně doplňovat (aditivní technologie je určena pro přípravu polotovaru, obrábění pro dokončení funkčních ploch; vše může být integrované v jednom stroji, viz T15).

Stručný popis stavu problematiky ve světě

- Během posledních let, zaznamenaly technologie 3D tisku velký světový rozmach. Nejde jen o 3D tisk plastových dílců. Pomocí 3D tisku se v dnešní době komerčně tiskne z různých plastů, vosků, formařského písku nebo přímo kovové dílce z bežných, ušlechtilých i drahých kovů. Na vzestupu jsou hlavně kovové 3D tiskárny, které se využívají hlavně ve formárenském a medicínském průmyslu.

Stručný popis stavu problematiky ve světě

- V ČR nejsou vyvíjeny původní technologie. Nejaktivnější jsou hi-tech výrobci kompoentn, např. firma Honeywell při aplikací 3D tisku pro výrobu součástí leteckých motorů. Vývoj jerealizován na komerčně dostupných strojích, hlavním úkolem je zvládnout technologii výroby v požadované kvalitě.

Cíle a praktické výstupy pro obor/průmysl

- Využití plastových dílců z 3D tiskáren v průmyslu, zejména relativně levné metody FDM. Polycarbonátové díly jsou dostatečně pevné, pro celou řadu prostorově složitých funkčních přípravků např. v metrologii, diagnostice či při konstrukci experimentálních zařízení. Kvalitnější tisk plastových dílců s možností příměsí kovů nebo uhlíku je možný pomocí technologie SLS. (Výběrové spékaní prášku pomocí laserového paprsku)
- Tisky z termoplastu ABS je vhodné použít jako náhradu za voskové modely při vytváření formařských skořepin pro přesné lití kovů pomocí vytavitelného modelu. Z toho vyplývá velká časová úspora při tvorbě prototypových a kusových sériích odlitků. Přímo vytištěné 3D modely z ABS se zaformují pomocí keramické břečky a ostřiva. Peci se pak keramika vypálí a termoplast odteče pryč. Touto technologií lze nyní vytvářet skořepiny až do velikosti 900 x 900 x 600 mm s přesností cca 0,2 mm. Vhodný by byl vývoj průmyslových 3D tiskáren s možností tisku ekologicky odbouratelných plastů např. na bázi rostlinných škrobů.
- 3D tisk voskových modelů pro metodu přesného lití pomocí vytavitelného modelu. Jde o velmi přesný tisk kolem 0,02 mm. Nevýhoda je poměrně malá velikost tisknutých modelů v rozměrech

do 200 x 200 x 150 mm. Jinou vhodnou alternativou je tisk pomocí světlocitlivých fotopolymerů s parametry vosku. To umožňují další dvě technologie tisku SLA a DLP, kde není tak velké omezení velikosti.

- Tisk forem z formařského písku. Vhodné při výrobě prototypových vetších a členitých odlitků s mnoha jádry jako nař. Blok motoru nebo větší turbínová kola. Formovací písek je v 3D tiskárně spojován pojivem na bázi epoxidu.
- Kovovový 3D tisk je rozhodně nejperspetevnější variantou. Bohužel zatím ne moc ekonomicky výhodný. Dnes má uplatnění hlavně v leteckém průmyslu při výrobě titanových lopatek proudových motorů. Ve formařském průmyslu při výrobě forem s prostorově členitými chladícími kanály a medicínském průmyslu při výrobě náhrad lidských částí těla jako např. části lebky, kosti nebo kloubní náhrady. Metody SLM (Výběrové spékání kovového prášku) jsou vhodné převážně pro tisky z těžko obrobitelných materiálů do velikosti 300 x 300 x 300 mm. Vývoj nových tiskáren by se měl zaměřit na zvýšení rychlosti tisku, rozměrové a geometrické přesnosti a hlavně drsnosti povrchů tištených výrobků. Další metodou kovového 3D tisku je metoda CLADING. Jde o postupné vyvařování požadovaného dílce většinou pomocí laserového paprsku a kovového prášku nebo drátu. Tyto metody zatím nejsou komerčně rozšířeny a v budoucnu v nich může být velký potenciál.
- Vzhledem k tomu, že kovové 3D tisky nedosahují požadavku rozměrové přesnosti a drsnosti finálního výrobku, slouží tisky hlavně pro výrobu tvarově složitých polotovarů. Kde je následně potřeba konvenčním způsobem opracovat funkční plochy. Proto by bylo vhodné vhodné se zabývat stavbou hybridních strojů s integrací 3D tiskárny a CNC frézky.

Vlastní odborné zhodnocení přínosu tématu pro obor a průmysl v ČR

- Navržené téma částečně nahrazuje oblast obrábění tvarově složitých ploch, především pokud nejsou kladeny nároky na drsnost povrchu. Dále je tato technolgie pro výrobu vytavitelných modelů pro přesné lití ve slévarenském průmyslu. Hlavním přínosem je minimalizování přípravy výroby. Lze automaticky generovat dráhy stroje. Není třeba tak kvalifikované obsluhy jako u CNC strojů. Není potřeba mít skladové zasoby polotovarů a nejsou potřeba žadné řezné nástroje jako tomu je u konvenčních CNC strojů.

Způsob dosažení cílů

- Detailní studium již vyvinutých principů tisků a zvýšování jejich parametrů.
- Vývoj hybridních výrobních strojů.
- Aplikace již stávajících technologií 3D tisků v praxi.

Doporučený řešitel

- VCSVTT; výrobci strojů a uživatelé výrobních strojů (obecně)

1.5.2. (T15) Hybridní technologie

Navrhovatel

- Ing. Jan Brajer a kol. (ČVUT v Praze)

Vazba tématu na SVA

- (U: 23, 24)
- Nahrazování několika dosud oddělených procesů jedním (např. třískové obrábění + povrchové úpravy, texturování, kalení, nanášení povlaků a Rapid Manufacturing, měření součásti, vše na jedno upnutí během jednoho procesu), eliminace dodatečných operací (broušení, leštění, odjehlení, čištění, apod.) a s nimi spojených vedlejších časů. (A_Výrobní_technologie-Hybridní_technologie_vycházející_z_obrábění_resp._z_OS_(kombinace_více_druhů_technologií-2))
- Integrace a kombinace tradičních třískových technologií s vysoce přesnými nebo vysoce výkonnými technologiemi (laser, elektronový paprsek, vodní paprsek, EDM apod.) za účelem dosažení optimální kombinace požadované přesnosti a výkonnosti. (A_Výrobní_technologie-Hybridní_technologie_vycházející_z_obrábění_resp._z_OS_(kombinace_více_druhů_technologií-2))

Komentář k aktualizaci

- Téma bylo zásadně doplněno o aplikace laserů v obráběcích strojích pro potřeby hybridních výrobních technologií.

Stručný popis stavu problematiky ve světě

- Za poslední desetiletí si laserové technologie našly své pevné a nezastupitelné místo ve výrobních aplikacích jako jsou povrchové úpravy, řezání, svařování, vrtání, tepelné zpracování nebo gravírování. Velice výhodná je z hlediska produktivity a flexibility kombinace laseru a jiné (např. klasické třískové) technologie na jednom zařízení. Největší výhodou tohoto řešení je zkrácení vedlejších časů při výrobě, neboť lze více operací provádět na jedno upnutí výrobku a odpadají tak mezioperační manipulace s obrobky. To s sebou přináší také zjednodušení a zvýšení přesnosti výroby. Ve světě se v současné době vyskytují nejčastěji kombinace obrábění materiálu, po němž následuje zakalení součásti laserem [Korn: Turn, Mill And Laser-Harden In One Setup].
- Další velmi častou kombinací je navaření materiálu na opotřebovanou plochu a následné obrobení [Nowotny: Laser Based Hybrid Techniques for Surface Coating]. Tyto technologie jsou ve světě používány zejména při renovaci forem nebo tvářecích nástrojů. Velkým potenciálem disponuje také kombinace laser manufacturing s třískovým obráběním, která nahrazuje použití technologie odlévání a následného obrábění. Je vhodná především pro prototypovou a kusovou výrobu [DMG MORI: LaserTEC 65 Shape]. Nejčastější aplikací kombinace laseru a jiné výrobní technologie je použití mezioperačního nebo konečného popisu součásti. Výhodou je velká variace možností a krátký strojní čas. Stejných výhod dosahuje také laserové gravírování

v kombinaci s obráběcím strojem, kde je možnost výroby jemných reliéfů například do forem pro vstřikování plastů na jedno upnutí po obrábění.

- Stále častější využívání vysokopevnostních slitin a jiných těžkoobrobitelných materiálů, včetně keramických, vyžaduje pro jejich efektivní obrábění i nových technologií. Uplatňují se tu především laserové technologie přinášející lokální povrchové snížení pevnosti a tvrdosti materiálu. Výhodou takového předehřevu materiálu před břitem nástroje je navíc i snížení opotřebení nástroje při obrábění a možnost obrábět i vyšší řeznou rychlostí. Dříve bylo možné lokální předehřev realizovat pouze u soustružení, ale s rozvojem této technologie se začali realizovat aplikace pro frézování. U frézování je laserový paprsek řízen před frézovací hlavou nebo je dokonce veden přímo středem nástroje, kde za pomoci zrcátka ohřívá materiál před jednotlivými zuby.
- Při použití kombinace jiných než laserových nekonvečních techonlogií s obráběcím strojem se naráží na řadu problému, jako je například požadavek speciálního prostředí procesu obrábění. Tato speciální prostředí, jako je například potřeba vodní nádrže (obrábění vodním paprskem), vakua (elektronový paprsek) nebo specifické parametry jako malá rychlost obrábění (EDM), které ve většině případů brání efektivnímu a ekonomicky výhodnému použití technologie v kombinaci s obráběcím strojem. Přes všechny tyto problémy se provozují výrobní stroje, které nelaserové nekonvenční technologie s třískovými technologiemi kombinují. Své použití našla kombinace vodního parsku s frézováním. Tato kombinace nachází své uplatnění při opracování plechů používaných jako krytování strojů. Výhoda spočívá v rozdělení výroby, vyřezání obrysu a průchozích děr vodou se provede vodním paprskem a frézovány jsou pouze neprůchozí otvory, kapsy nebo závity.
- Kombinovat se dají i jednotlivé nekonvenční technologie mezi sebou. Již je velmi známý princip stroje kombinujícího plasmové a laserové řezání, kdy plazmou jsou řezány hrubé obrysy a laserem jemné a přesné kontury. Pro podobné účely se začínají používat i stroje, které kombinují EDM drátovou řezačku s vodním paprskem.
- Integrace a kombinace třískového obrábění s laserovým navařováním. Nejprve dojde k navaření základního tvaru a následně k obrábění funkčních ploch v jednom výrobním procesu. Tato technologie je zvláště výhodná při výrobě tenkostěnných a tvarově složitých obrobku, kdy při konvenčnícm způsobu orábění dochází k velkému odběru materiálu z výchozího polotovaru [EMO 2013: Hamuel Reichenbacher, DMG Mori LaserTec].

Současný způsob řešení problematiky v ČR

- Vývoj laserových technologií využitelných i pro integraci do obráběcího stroje je v současné době realizován ve VUTS Liberec a VCSVTT ČVUT v Praze (např. jejich společný projekt TAČR Alfa) a dále ve výzkumném centru EliBeamlines. V současné době není v žádném projektu systematicky řešena integrace laserů od obráběcích strojů. Na dílčí kroky realizované v letech 2000 – 2005 ve spolupráci VCSVTT a Kovosvit MAS nenavázal další vývoj ani komerční aktivity.

Cíle a praktické výstupy pro obor/průmysl

- Vývoj procesů kombinujících více výrobních technologií na jednom stroji. Pro výrobu některých složitých strojních součástí je potřeba kombinace klasické technologie obrábění a progresivní laserové technologie. Ta umožňuje velmi dobře splnit všechny náročné požadavky na rychlost, čistotu a přesnost. Kombinace třískového obrábění a některé laserové technologie mohou být podle požadavků konkrétní aplikace různé, vedle klasické třískové technologie na jednom stroji mohou probíhat technologie povrchových úprav, texturování, řezání, vrtání, svařování, tepelného zpracování nebo nanášení povlaku, které lze použít dokonce pro vytvoření buď části, nebo celého strojního dílu. Tato rozmanitost kombinací různých technologií je dána univerzálností a všestranností laserů. Laser umožňuje rovněž velmi přesné měření rozměrů, tvaru nebo drsnosti obrobené plochy součásti přímo na stroji, současně lze laser použít pro

měření opotřebení nebo zlomení břitu nástroje. Laser se používá rovněž při tváření, kde slouží k předehřevu tvářeného materiálu, čímž usnadňuje tváření např. titanových slitin. Stejně tak lze laserového paprsku využít pro zvýšení únavové pevnosti cyklicky velmi namáhaných součástí (Laser Shock Processing).

- U kombinace obrábění s nelaserovou nekonvenční technologií, nebo při použití kombinace několika nekonvečních technologií dohromady se jedná ve většině případů o úsporu času a tím zefektivnění výroby.
- Zdokonalení nebo nalezení vhodné kombinace třískového obrábění a laserové nebo jiné nekonvenční technologie pro zvýšení produktivity, přesnosti nebo energetické náročnosti výroby. Realizace zařízení ve spolupráci s výrobní sférou. Cílem je nejprve vytvoření ideových návrhů několika možných variant kombinací obráběcího stroje s laserem nebo jiné technologie podle konkrétní aplikace. Dále bude následovat projednání s výrobní sférou. Na základě výsledků jednání bude přistoupeno k realizaci vhodného zařízení. Součástí ideových návrhů bude rovněž ekonomické zhodnocení jednotlivých variant.

Vlastní odborné zhodnocení přínosu tématu pro obor a průmysl v ČR

- Vytvoření možných návrhů kombinací třískového obrábění s laserovými technologiemi, které bude možno zavádět v průmyslových podnicích. Nalezení oblasti, kde je prostor pro efektivní zavedení hybridních technologií. Dále pak snížení rozdílu mezi vyspělými zeměmi a Českou republikou v této perspektivní oblasti laserových, resp. hybridních technologií. Výsledky umožní optimalizovat výrobní procesy, dosáhnout zlepšení kvality výrobků a snížení výrobních nákladů. Výsledky výzkumu budou průběžně konzultovány s výrobci obráběcích a tvářecích strojů, aby bylo zajištěno uplatnění v průmyslu.

Způsob dosažení cílů

- Detailní studium již vyvinutých kombinací obráběcího stroje s laserem, studium vlivu laseru na proces obrábění a vyvození závěrů pro aplikace. Průzkum požadavků výrobců obráběcích strojů. Průzkum i ostatních technologií s potenciálním zapojením do hybridního konceptu. Konzultace s výrobní sférou – požadavky (teoretická práce, bez speciálních požadavků na zdroje).
- Vypracování ideových návrhů vybraných řešení s ohledem na výsledky předchozího bodu (teoretická práce, bez speciálních požadavků na zdroje).
- Aplikace konkrétního řešení ve spolupráci s vybraným podnikem, ideálně v rámci projektu podpory výzkumu a vývoje.
- Celkem cca 3 lidé v oblasti výzkumu (pro experimenty a měření) + 3 lidé ze spolupracujících podniků pro konkrétní ověřovací testy.

Doporučený řešitel

- výzkumné organizace: VCSVTT, VUTS Liberec, EliBeamlines; výrobci strojů (obecně); uživatelé strojů vyrábějící hi-tech výrobky

1.5.3. (T16) Výzkum možností nahrazení třískového obrábění laserovými technologiemi

Navrhovatel

- Ing. Jan Brajer a kol. (ČVUT v Praze)

Vazba tématu na SVA

- (U: 28)
- Laserové aplikace jako je gravírování, mikroobrábění, texturování, spékání, plátování, rychlé formování a další technologie výroby dílce s konečným tvarem a jakostí s vyšší produktivitou a nižšími náklady než při výrobě třískovým obráběním. (A_Výrobní_technologie-

  Výzkum_nových_procesů_nahrazujících_třískové_ obrábění-3

Komentář k aktualizaci

- Téma bylo doplněno především o aktuální stav laserových aplikací, které by přicházely v úvahu pro intergaci do obráběcího stroje (ať už pro podporu třískového obrábění nebo jako samostatná technologie osazená na multifunkčním stroji).

Stručný popis stavu problematiky ve světě

- Výzkum a vývoj progresivních laserových technologií nahrazujících třískové obrábění je ve světě stále velmi aktuální téma. Důvodem jsou požadavky na zkracování vývojového cyklu výrobků, na rychlejší zavádění do výroby, na dosahování nízkých výrobních nákladů a na minimalizaci množství odpadů. S odpady je spojené co nejlepší využívání materiálů a energií. V posledních několika letech dochází rovněž k velmi masivnímu rozšiřování tzv. ultra-fast laserů, tj. laserů pracujících v pulzním módu s velmi krátkou délkou pulzu (v řádech piko- či femtosekund). Tyto lasery umožňují zpracování materiálů s extrémně vysokou přesností při naprosto zanedbatelném tepelném ovlivnění (Laser Cold Processing). Ve vývoji a výrobě laserů spolu s hledáním nových aplikací a užití laserových technologií jsou dlouhodobě na špici žebříčku země jako USA, Japonsko a Německo. V oblasti ryze průmyslového využití laserů si upevňuje pozici Německo, které v tomto oboru zaujímá podíl 40 % světového obratu. Z hlediska výzkumu je v Evropě na čelní pozici německý Fraunhofer Institut, který se laserovými technologiemi velmi intenzivně zabývá. Celosvětová poptávka po nových optických systémech nadále předpovídá růst v řádu několika procent. Zcela nových dimenzí laserové technologie navíc v současné době dosahují i v ČR, a to zejména díky evropským výzkumným projektům HiLASE a ELI Beamlines, které patří pod Fyzikální ústav Akademie věd ČR. Pozitivní vývoj potvrzují jednak poznatky z největších světových veletrhů jako EMO 2013 nebo LASER 2013, tak konzultace s pracovníky špičkových výzkumných ústavů, jako je FZÚ AV ČR, Max Planck Institut nebo výše již uvedený Fraunhofer Institut. [Fraunhofer - Institut für Werkstoff- und Strahltechnik: Jahresbericht 2012].

- Na vzestupu jsou dle dostupných zdrojů především technologie laserového spékání kovových prášků. Z pohledu ekonomické návratnosti a ekologického významu zatím nelze hovořit o zásadně pozitivním dopadu. Významu tyto technologie nabývají především tam, kde nejsou dostupné jiné technologie pro výrobu dílce.

Současný způsob řešení problematiky v ČR

- Vývoj laserových technologií je v současné době realizován ve VUTS Liberec a VCSVTT ČVUT v Praze (např. jejich společný projekt TAČR Alfa) a dále ve výzkumném centru EliBeamlines. V současné době není v žádném projektu systematicky řešena integrace laserů od obráběcích strojů.

Cíle a praktické výstupy pro obor/průmysl

- Realizace náročných požadavků při výrobě. Možnost opracování těžkoobrobitelných materiálů.
- Možnost montáže zařízení kombinujících obrábění a svařování. Možnost kombinace třískového obrábění a tepelného zpracování materiálu na jednom stroji, čímž dojde ke snížení manipulačních časů a vylepšení ekologie procesu díky odstranění jedovatých kyanidových solí používaných při klasickém kalení.
- Úspora drahých legovaných materiálů vytvářením povlaků žádaných vlastností na méně drahých materiálech.
- Náhrada řezných nástrojů malých průměrů (snadné zlomení) paprskem laseru (např. vytváření písmen a reliéfů do forem, vrtání malých otvorů apod.). Zvýšení produktivity výroby.
- Ovlivnění povrchu součástí definovaným způsobem pro změnu funkčních vlastností povrchové vrstvy.
- Možnost zpracování extrémně přesných součástí.
- Výzkum a vývoj nových technologií. Cílem je vyvinout technologie, které umožní plnohodnotné zpracování strojírenských součástí laserem, tzn. formulovat podmínky, za kterých lze optimálně použít laserové technologie. Jedná se např. o technologie řezání, vrtání, svařování, tepelného zpracování, nanášení povlaků, Rapid Manufacturing nebo úpravy povrchu materiálů za účelem zlepšení funkčních vlastností strojních součástí. V oblasti řezných nástrojů bude výzkum zaměřen na vytváření optimálních tvarů utvařečů třísky ke zlepšení řezivosti nástrojů. U tvářecích nástrojů se výzkum zaměří na zlepšení jejich odolnosti proti otěru aplikací texturování, leštění a navařování. Za zmínku stojí i technologie, které byly vyvinuty v posledních letech jako je laser remote cutting nahrazující vysekávání a střihání nebo laser shock peening prosazující se místo klasických metod zpevňování povrchu složitých součástí jako je například balotina.
- Porovnání více typů laserů. Výše uvedené technologie budou zkoušeny na různých typech laserů s cílem stanovit optimální druh laseru a pro něj optimální pracovní podmínky. S tím samozřejmě souvisí také zhodnocení kvality a časové i nákladové náročnosti jednotlivých technologií. Stejným způsobem lze například porovnat i mikroobrábění laserem s mikro obráběním vysokorychlostními vřeteny osazenými nástroji s malým průměrem.
- Využití výstupů v průmyslu. Výstupy budou využity zejména v nástrojařském průmyslu a u uživatelů laserů. V oboru výrobní techniky se uplatní zejména technologie tepelného zpracování a navařování (např. kalení či vytvoření návaru u dutin vřeten nebo částí hřídelů vystavené nadměrnému zatížení otěrem). Dosáhne se výrazné úspory nákladů, zlepšení funkčních vlastností a zvýšení trvanlivosti nástrojů a strojních součástí. Konkrétní výstupy budou vázány na konkrétní požadavky výrobní sféry s podílem financování od konkrétního podniku.
- Lasery jsou velmi často používány pro zpracování nekonvenčních materiálů, jako je keramika nebo kompozity. V prvním případě jde o výhodu obrábění neobrobitelných materiálu a v případě kompozitních materiálů se jedná o výhody vysoké přesnosti za dostatečné produktivity. Z tohoto

důvodu se využívá laserů pro opracování diamantu a kubického nitridu boru, přičemž aplikací technologií s použitím těchto materiálů rapidně pribývá.

Vlastní odborné zhodnocení přínosu tématu pro obor a průmysl v ČR

- Vytvořené databáze pracovních podmínek laserových technologií bude možno zavádět v průmyslových podnicích a zvýšit tím produktivitu a ekologičnost výroby (odstranění nutnosti soli při kalení apod.). Při návrhu, konstrukci a výrobě obráběcích a tvářecích strojů bude možné použít moderní materiály (kompozity, titanové slitiny atd.), jejichž obrábění bude možné pomocí laseru. Dojde rovněž k výraznému zvýšení přesnosti výroby. Řešení tohoto úkolu pomůže českému průmyslu v konkurenceschopnosti a udrží firmy v kontaktu s pokročilými výrobními technologiemi. Výsledky pomohou optimalizovat výrobní procesy, dosáhnout zlepšení kvality výrobků a snížit výrobní náklady při realizaci náročných, zejména malosériových zakázek. Výsledky výzkumu by měly být okamžitě realizovány ve výrobě, která svým výrazným proexportním zaměřením podpoří obchodní bilanci České republiky. Laser umožňuje přímé zapojení do výrobní linky a tím zkracování časů pro manipulaci s obrobky.

Způsob dosažení cílů

- Studium procesů a aplikací zavedených v praxi.
- Provedení experimentů na zkušebních vzorcích nebo na reálných součástech ve spolupráci s průmyslem.
- Vyhodnocení experimentů (ve vazbě na bod 2) a následné ověření nejlepších dosažených výsledků.
- Spolupráce s průmyslem u opakovatelně dobrých výsledků (teoretická práce i praktická měření).
- Celkem cca 3 pracovníci v oblasti výzkumu (pro experimenty a měření) + cca 3 pracovníci ze spolupracujících podniků pro konkrétní ověření aplikací v průmyslu.

Doporučený řešitel

- výzkumné organizace: VCSVTT, VUTS Liberec, EliBeamlines; výrobci strojů (obecně); uživatelé strojů vyrábějící hi-tech výrobky

2. Stavba obráběcích strojů

2.1. Koncepce stojů a pohonů

2.1.1. (T17) Multifunkční stroje

Navrhovatel

- Ing. Petr Kolář, Ph.D., Ing Jan Smolík, Ph.D. a kol. (ČVUT v Praze)

Vazba tématu na SVA

- (U: 30, 31)
- Rozvoj schopností strojů plnohodnotně provádět více druhů obrábění. Schopnost plnohodnotně soustružit i frézovat, nebo frézovat a brousit, atp. Zmenšení potřebného počtu obráběcích strojů pro výrobu jedné součásti, menší podíl manipulace, zkrácení vedlejších časů, minimalizace znovu ustavování obrobků, maximální souběh prováděných procesů a operací. (B-Univerzálnost a multifunkčnost strojů-1)
- Vývoj komponentů a koncepcí strojů umožňujících maximální multifunkčnost stroje. (B-Univerzálnost a multifunkčnost strojů-1)

Komentář k aktualizaci

- Téma bylo aktualizováno. Protože se nezměnila jeho významnost, nedošlo k zásadním změnám textu, jen doplnění dle současného stavu techniky.

Stručný popis stavu problematiky ve světě

- Multifunkčnost strojů, tj. možnost realizovat na jednom stroji více výrobních technologií, umožňuje zvětšit produktivitu a přesnost výroby dílu. Hlavními důvody je obrábění na jedno upnutí ve stroji, ev. přepínání obrobku pouze v rámci stroje.
- V současné době jsou nejrozšířenější stroje s kombinací technologií obrábění nástroji s definovanou geometrií břitu (soustružení, frézování, vrtání) [Kolář, Fojtů: Soustruhy s vodorovnou osou. Sborník Obráběcí stroje a technologie na EMO Milano 2009, SpOS 2010]. Dále existuje i menší skupina strojů schopných obrábět nástroji s definovanou i nedefinovanou geometrií břitu (soustružení/frézování + broušení) [Kolář, Lysák: Brusky. Sborník Obráběcí stroje a technologie na EMO Milano 2009, SpOS 2010].
- Problematice vývoje a zlepšování vlastností multifunkčních strojů se intenzivně věnují přední světoví výrobci i výzkumné organizace [Moriwaki: Multi-functional machine tool. CIRP keynote paper STC-M, 2008].
- Rozvoj schopností strojů plnohodnotně provádět více druhů obrábění je závislý na vývoji klíčových komponent pro tyto stroje: frézovací vřetena se zpevňovaným rotorem pro práci stacionárními nástroji, vysokootáčkové rotační stoly pro karuselování (ty jsou dnes velkým omezením pro rozvoj soustružení na frézovacích strojích) [EMO 2011, EMO2013], náhony rotačních poháněných nástrojů. V návaznosti na to se rozvíjí i další prvky strojní technologie,

např. inprocesní vyvažování rotujících obrobků [Mori Seiki], NC řízené lunety, upínací rozhraní pro obrobky (univerzální/speciální/vyměnitelná/modulární) aj.

- Důležitým parametrem stroje je jeho přesnost. Ta je u multifunkčních strojů kritickým parametrem, protože se jedná o kinematicky složité sériové struktury. Predikce pracovní přesnosti stroje pomocí matematických modelů je významným prvkem, který umožňuje virtuálně verifikovat vlastnosti navrhovaného stroje [Treib, Matthias: Error budgeting – Applied to the calculation and optimization of the volumetric error field of multiaxis systems. Annals of the CIRP Vol. 36/1/1987]. V návaznosti na to se pracuje také na vývoji a standardizaci vhodných metod měření pracovní přesnosti víceosých multifunkčních strojů.
- Limity ve sdružování technologií v jednom stroji jsou také spojeny s podmínkami a vlastnostmi konkrétního řezného procesu. Např. integrace broušení do frézovacího nebo soustružnického stroje není snadná, protože kvůli broušení je nutno řešit specifické požadavky na upnutí nástrojů, jejich vyvažování, orovnávání, krytování stroje a dále periférie (okruh procesní kapaliny a její filtrace aj.) [EMO 2011, EMO 2013]. Dalšími specifickými technologiemi, které jsou do strojů integrovány, je technologie hlubokého vrtání a výroby drážkování a ozubení.
- Důležitým parametrem pro rozvoj multifunkčních strojů je podpora přípravy NC kódu a kontrola kolizí pro zjednodušení a zkrácení přípravy technologie (vazba na T11, T12 a T13).

Současný způsob řešení problematiky v ČR

- Tématem se zabývají všichni výrobci obráběcích strojů v ČR. Jedná se o tak významné a tedy i samozřejmé téma, že systematický výzkum neexistuje. Řešeny jsou dílčí úkoly, které bychom mohli shrnout pod jiná témata (např. strukturální optimalizace napříč aplikačními konfiguracemi stroje, příprava postrprocesorů, integratece technologie broušení aj.).

Cíle a praktické výstupy pro obor/průmysl

- Model geometrických chyb víceosého multifunkčního stroje (obecná problematika všech multifunkčních strojů). Vývoj matematického modelu popisujícího kinematiku stroje a geometrické odchylky, které na ní mohou vzniknout z důvodu reálných výrobních a montážních tolerancí. Model by měl predikovat výslednou přesnost na konci nástroje v celém pracovním prostoru. Z modelu by bylo možno identifikovat kritická místa z hlediska geometrické přesnosti. Model geometrických chyb víceosého stroje by bylo možné rozšířit o kombinaci popisu geometrických odchylek a poddajnosti nosných dílců (jako např. redukované MKP modely).
- Znalostní databáze konstrukce multifunkčních strojů (obecná problematika všech multifunkčních strojů). Přehled existujících struktur, jejich výhod, nevýhod a typických aplikací. Vazba na výše uvedený model geometrických chyb. Využití databáze k hodnocení potenciálu dosažení multifunkčnosti u existujících koncepcí českých strojů z hlediska technických a ekonomických parametrů.
- Vývoj otočných stolů pro soustružení (soustružnicko-frézovací multifunkční stroje). Vývoj karuselovacích stolů s přiměřeně velkými vnějšími rozměry pro tři nebo čtyři velikostní kategorie odpovídající velikosti strojů běžně vyráběných v ČR. Řešení problematiky uložení (tuhost vs. dosažitelné max. otáčky, hybridní uložení valivé+hydrostatické/elektromagnetické), konstrukční návrh konceptu otočného stolu s architekturou vřetena, řešení problematiky pohonů vysokootáčkových stolů (max. otáčky vs. max. krouticí moment, problematika duálních pohonů).
- Paleta s integrovaným vyvažováním (soustružnicko-frézovací multifunkční stroje). Nárůst otáček otočných stolů klade nároky na určitou úroveň vyvážení obrobku. Ty však mohou mít výrazné nerotační/excentrické prvky, které vytvářejí nevývažek omezující pracovní otáčky stolu. Cílem by bylo vyvinout paletu s integrovaným vyvažovacím mechanismem a automatickou detekcí nevývahy.

- Integrace specifických technologií obrábění nástroji s definovanou geometrií břitu: hluboké vrtání a vyvrtávání, výroba drážkování a ozubení.
- Integrace technologie broušení do soustružnických a frézovacích strojů (soustružnicko-brousicí resp. frézovací-brousicí multifunkční stroje). Technologie broušení umožňuje dokončovací obrábění s vynikající integritou povrchu jak běžných, tak i těžce obrobitelných materiálů (slitiny Ti, slitiny Ni, konstrukční keramika, slinuté karbidy). Analýza minimálních potřeb procesu broušení.

Vlastní odborné zhodnocení přínosu tématu pro obor a průmysl v ČR

- Multifunkčnost a integrace operací jsou jednoznačně dlouhodobým trendem, který je českými výrobci více či méně systémově řešen. Navržené výzkumné cíle a praktické výstupy by měly pomoci podpořit aktivity firem jak v oblasti simulační (predikce vlastností strojů a jejich komponent), tak v oblasti experimentální (konkrétní měření a testy multifunkčních strojů) a v oblasti aplikační (návrh, verikace a realizace komplexních výrobních řešení).

Způsob dosažení cílů

- Tvorba modelu geometrických chyb víceosého multifunkčního stroje.
- Vývoj znalostní databáze konstrukce multifunkčních strojů.
- Vývoj konstrukčních prvků podporujících multifunkčnost strojů. Analýza možností aplikace nekonvenčních materiálů.
- Analýza možností integrace broušení do soustružnických a frézovacích strojů. Doporučení změn v konstrukci a vybavení stroje pro úspěšné používání technologie broušení.
- 4 lidé z výzkumu + lidé ve firmách pro konzultaci a poskytnutí dat.

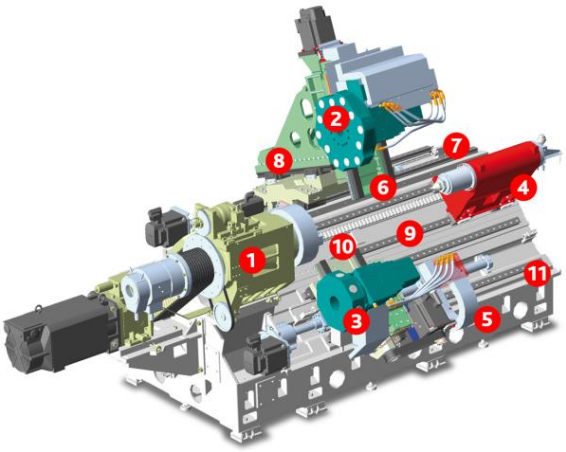
Doporučený řešitel

- VCSVTT; výrobci multifunkčních strojů (např. TAJMAC-ZPS, TOS Kuřim, Kovosvit MAS, TOSHULIN, Strojírna Tyc, TOS a.s., a další firmy s ambicí nabízet multifunkční stroje); výrobci komponent a univerzálních konstrukčních celků; výrobci nekonvenčních materiálů a výrobci kompozitních dílů (např. CompoTech Plus, LA Composite); uživatelé výrobních strojů (obecně)

2.1.2. (T18) Rekonfigurovatelné stroje

Navrhovatel

- Ing. Petr Kolář, Ph.D. a kol. (ČVUT v Praze)



Vazba tématu na SVA

- (U: 32, 67)
- Snadná rekonfigurovatelnost strojů na základě požadavků zákazníka. Jeden stroj, sestavený ze základních modulů, bude možné např. jednou připravit jako primárně soustružnický stroj a podruhé jako primárně brousící stroj. (B-Univerzálnost a multifunkčnost strojů-1)
- VaV modulů pro snadno rekonfigurovatelné multifunkční stroje dle požadavku zákazníka (ve fázi, kdy zákazník specifikuje požadavky na stroj před jeho vývojem, koupí a instalací). (B-Jednoduchost konstrukce a unifikace dílců, skupin a komponent-3)

Komentář k aktualizaci

- Aktualizován text – především vzhledem k faktu, ře rekonfigurovatelnost je v současné době řešena na úrovni modularity konstrukce (tzv. rekonfigurovatelnost na úrovni montáže stroje).

Stručný popis stavu problematiky ve světě

- Rekonfigurovatelné stroje je velké téma, které je různými metodami řešeno ve výzkumných institucích již přibližně 20 let. Rekonfigurovatelnost stroje úzce souvisí s modularitou jeho stavby. Rekonfigurovatelnost realizovaná záměnou nebo změnou polohy a vazby modulů může být chápána a realizována ve třech úrovních: a) modulární stroj – z připravené modulové stavebnice je výrobcem vyroben stroj v konfiguraci požadované zákazníkem; změna koncepce po instalaci stroje již není možná; b) rekonfigurovatelný stroj s integrovanými moduly – konstrukce stroje od výrobce obsahuje přidané pohybové dvojice, které mohou u zákazníka realizovat rekonfiguraci struktury (např. překlopení horizontálně orientovaného vřetena do vertikální polohy nebo výškově posuvný příčník apod.) [Koren et. all: Reconfigurable Manufacturing Systems. CIRP keynote paper STC-M, 1999]; c) rekonfigurovatelný stroj s externími moduly – konstrukce stroje je provedena tak, že některé uzly stroje jsou k základní struktuře připojeny pomocí rozhraní, které umožňuje snadné a rychlé odpojení uzlu-modulu od stroje a výměnu za jiný uzel-modul [Abele et. all: Mechanical module interfaces for reconfigurable machine tools. Production Engineering, Volume 1, Number 4 / December, 2007]
- Modulární konstrukce (a) se ukazuje jako užitečný koncept, který umožňuje unifikaci dílů a snižuje náklady na konstrukci a výrobu. Dnes je využíván především u velkých obráběcích strojů. Koncepce strojů s integrovanými moduly (b) se navzdory teoretickým výhodám nikdy prakticky příliš neprosadila. Její hlavní nevýhodou je extrémní komplexnost systému (změny v mechanické struktuře se musí odrazit i v PLC, nastavení řídicího systému apod.) a s tím spojené vysoké pořizovací náklady. Potřebnou výrobní flexibilitu v této oblasti nabídly multifunkční stroje. Koncepce strojů s externími moduly (c) je v posledních letech oživována německými výzkumnými institucemi (PTW Darmstadt, TU Karlsruhe) ve spolupráci s některými firmami (EMAG). Základem je výzkum tuhých a přesných rozhraní založených na paletových

upínačích, které zajistí vysokou opakovatelnost přesnosti upínání modulů a současně i perfektní statickou a dynamickou tuhost struktury.

- Praxe firem ukazuje, že ekonomicky nejperspektivnější je modularita konstrukce a ev. podpora multifunkčnosti stroje (viz T17). Rekonfigurovatelné stroje s externími moduly se tak nedostaly za laboratorní studie a technický ani obchodní vývoj nenaznačují, že by se to mělo změnit.

Současný způsob řešení problematiky v ČR

- České firmy věnují modularitě konstrukcí velkou pozornost. Viz např. projekty podpořené z prostředků státního rozpočtu: „Multifunkční obráběcí centrum“ (TOSHULIN + ČVUT v Praze), „Soustružnické centrum SP630 a multifunkční centrum Multicut 630“ (Kovosvit MAS + ČVUT v Praze), „Nová koncepce vřeteníků“ (TOS Varnsdorf + VUTS Liberec), „Modulární stroje“ (TOS Kuřim + Škoda Machine Tools + ČVUT v Praze). Téma je řešeno také v rámci strukturálních optimalizací ve WP3 projektu CK SVT řešeném ČVUT v Praze a oborovými firmami.

Cíle a praktické výstupy pro obor/průmysl

- Posilování modularity konstrukcí strojů. Výpočtové analýzy pro posouzení vhodné úrovně sdílení modulů a komponent (stanovení stupně neoptimálnosti) a to včetně vazby na cenu řešení. Experimentální sběr dat pro zpřesnění vstupů do výpočtových modelů (údaje o zatížení a využití jednotlivých uzlů stroje). Analýza přesnosti stroje při kombinaci jednotlivých skupin a uzlů.
- Nové ochodní modely (sdílení součástí mezi více stroji, resp. zákazníky) se neukazují jako životaschopné vzhledem k poměru ceny servisu a tlaku na spolehlivost.

Vlastní odborné zhodnocení přínosu tématu pro obor a průmysl v ČR

- Téma směřuje ke snižování objemu firemních investic do vývoje, ale při zajištění potřebného objemu vývojových prací. Dalším přínosem je snižování výrobních nákladů a dále možnost zákaznické konfigurace stroje a tedy posílení konkurenschopnosti firmy.

Způsob dosažení cílů

- Identifikace smysluplné úrovně modularity.
- Definice jednotných rozhraní a komunikačních standardů.
- Vývoj a implementace nástrojů pro rychlý návrh a posouzení variant modulární konstrukce se zohledněním určitého stupně neoptimálnosti.

Doporučený řešitel

- VCSVTT; ekonomické ústavy (např. ČVUT FS - Ú 12 138; VŠE FM); výrobci strojů (obecně); výrobci komponent a univerzálních konstrukčních celků; uživatelé výrobních strojů (obecně)

2.1.3. (T19) Nekonvenční koncepce strojů a pohonů pohybových os

Navrhovatel

- Ing. Jiří Švéda, Doc. Ing. Pavel Souček, DrSc. a kol. (ČVUT v Praze)

Vazba tématu na SVA

- (U: 40, 46)
- Výzkum nekonvenčních uspořádání strojů a pohonů pohybových os jako například plovoucího principu a kombinovaných pohonů, vývoj relevantních matematických modelů. (B-Zvyšování přesnosti strojů-1)
- Komplexní dynamická simulace strojů zahrnující simulační modely mechanické stavby stroje, pohonů, agregátů, řízení a dalších obslužných systémů, náhradu CNC systému. Simulace a predikce chování stroje při reálném obrábění v reálném výrobním procesu. (B-Virtuální testování a obrábění-1)

Komentář k aktualizaci

- Téma bylo upraveno a zaměřeno především na vývoj primárně HW nekonvenčních řešení. SW řešení na bázi zpětnovazebního řízení pohonů je obsaženo v T42. Vypuštěny byly z tohoto tématu stroje s více nástroji v řezu – viz T20.

Stručný popis stavu problematiky ve světě

- Nekonvenční uspořádání strojů není v oboru výrobní techniky příliš rozšířené. Představitelem nekonvenčního uspořádání strojů je např. plovoucí princip, kde dochází k vzájemnému pohybu nástroje a obrobku, který má volný pohyb ve vztahu k základu stroje [Zeleny J., Novotny L.: Seismically Balanced High Precision Machine Tools, Matador 2004], [prototyp stroje H50 float, VCSVTT a Tajmac-ZPS]. Rozšířenou variantou je potom seismicky vyvážený stroj [prototyp stroje H80DD, VCSVTT a Tajmac-ZPS]. Mezi stroje s nekonvenčním uspořádáním lze také zařadit stroje s paralelní kinematikou [EMO 2009, EMO 2011, EMO 2013] a stroje s paralelní redundantní kinematikou, např. SLIDING STAR (ČVUT, FS, Ú12105). Mezi nekonvenční kinematiky pro obrábění lze počítat i roboty se sériovou kinematickou strukturou [EMO 2011, EMO 2013].
- V oblasti pohonů pohybových os obráběcích strojů je v současné době využíváno především konvenčních pohonů využívajících kuličkových šroubů, ozubených pastorků a v menší míře také lineárních motorů [EMO 2009]. V literatuře a ve formě prototypů se na výstavách objevují pohony využívající nekonvenční uspořádání, jako jsou kuličkové šrouby s motory na obou koncích nebo lineární motory s kompenzací dynamických účinků. V případě lineárního motoru je potlačení dynamických účinků provedeno pružným uložením sekundárního dílu [O'Connor R: Jerk-free acceleration for machine tools, Global Design News, 24, 2000], metodou motor na motoru [Švéda J., Šika Z., Valášek M.: Machine Tool with Undisturbed Frame, MM Science Journal, 2009, ISSN 1803-1269] nebo protipohybující se hmotou. Za nekonvenční lze z hlediska současného pohledu považovat i některé speciální komponenty a konstrukční celky. Lze sem zařadit např. speciální konstrukci otočného stolu, která umožňuje vysokou přesnost polohování

a zároveň dosažení vysokých otáček potřebných pro karuselování [Novotný, L., Rybář, P., Souček, P. Pohon rotačních os, zejména obráběcích strojů, robotů a manipulátorů. 2011 - Užitný vzor]. Jako další příklad může být lineární motor s integrovaným hydrostatickým vedením.

Současný způsob řešení problematiky v ČR

- Nekonvenční koncepce strojů a pohonů byly v ČR řešeny především v letech 2005 – 2012 (stroje s plovoucím principem, laboratorní testy kuličkových šroubů s oboustranným náhonem, integrované přímé pohony s hydrostatickým uložením – vše vývoj ve VCSVTT ČVUT v Praze). V současné době není žádné takové řešení výzkumně ani vývojově rozvíjeno. Svou roli hraje jednoznačná orientace oborových firem na modulární a multifunkční stroje, která zcela saturuje výzkumnou základnu vznikajícími požadavky.

Cíle a praktické výstupy pro obor/průmysl

- Vývoj a návrh nekonvenčních uspořádání strojů - cílem tohoto vývoje je analýza současných nekonvenčních uspořádání strojů ve smyslu jejich využitelnosti v oblasti výrobních strojů a jejich případná modifikace přinášející vyšší rozšíření v průmyslu. Dále je cílem vývoj zcela nových koncepcí výrobních strojů, které mohou přinést nejen zvýšení dynamických parametrů (jerk, zrychlení, otáčky), ale také celkové zvýšení produktivity výroby. Takovéto koncepce se mohou vyznačovat např. současným vícenástrojovým obráběním nebo snížením poměru velikosti stroj/obrobek, redundantním uspořádáním paralelních kinematických struktur za účelem zvýšení tuhosti atd. Stroje s paralelní kinematickou strukturou mohou mít nově potenciál též v dynamicky se rozvíjející oblasti 3D tisku. Navržené koncepce pak mohou představovat základ pro nově vyvíjené výrobní stroje v průmyslu.
- Návrh nekonvenčního uspořádání pohonů pohybových os - cílem vývoje nekonvenčního uspořádání pohonů pohybových os je zejména zvýšení statických i dynamických parametrů pohybových os. Dále se jedná o vývoj v oblasti interakce pohonů s rámem obráběcího stroje, o návrh nových nekonvenčních uspořádání a vytipování vhodnosti jejich použití. Nově vyvinuté koncepce mohou představovat alternativu pohonů (nebo jejich komponent) s vylepšenými parametry.
- Matematické modely nekonvenčních uspořádání strojů a pohonů pohybových os - vývoj v oblasti matematického modelování nekonvenčního uspořádání strojů a pohonů je nedílnou součástí výše uvedených cílů. V rámci tohoto vývoje je nutné vytvořit relevantní matematické modely pro popis chování jednotlivých dílů i celků nového nekonvenčního uspořádání obráběcích strojů. Tyto matematické modely pak slouží pro analýzu a porovnání nově navržených metod a pro tvorbu virtuálních modelů výrobních strojů vybavených navrženými metodami. Virtuální modely takovýchto obráběcích strojů jsou důležitým výstupem pro průmysl a umožňují predikovat přínosy i nedostatky jednotlivých řešení.

Vlastní odborné zhodnocení přínosu tématu pro obor a průmysl v ČR

- Nekonvenční koncepce strojů a pohonů pohybových os představuje potenciál pro zvýšení dosažitelných parametrů současných výrobních strojů, a to nejen ve smyslu dosažitelných přesností, ale také ve smyslu produktivity výroby. Hlavní charakteristikou těchto koncepcí je netradiční konfigurace pohybových os a pohonů s důrazem na snížení vlivu nežádoucích dynamických účinků a na zlepšení statických a dynamických parametrů pohybových os.
- Hlavním přínosem pro obor/průmysl je samotný výzkum v oblasti nových koncepcí strojů a jejich pohonů, který je využitelný v průmyslu při navrhování strojů s vysokými nároky.

Způsob dosažení cílů

- Detailní studium metod využívaných u současných strojů s nekonvenční koncepcí pohybových os a pohonů a analýza využitelnosti těchto metod (teoretická práce bez speciálních požadavků na zdroje).
- Vývoj a návrh výrobních strojů s nekonvenčním uspořádáním pohybových os a pohonů včetně analýzy technické náročnosti navržených řešení a zhodnocení jejich smysluplnosti při současném stavu poznání (teoretická práce bez speciálních požadavků na zdroje).
- Vývoj relevantních matematických modelů pro popis chování strojů a pohonů s nekonvenčním uspořádáním s cílem zajistit prostředky pro simulační analýzu takovýchto obráběcích strojů (teoretická práce bez speciálních požadavků na zdroje).
- Experimentální testování vybraných navržených principů nekonvenčního uspořádání strojů a pohonů pohybových os na zjednodušených testovacích zařízeních (návrh, konstrukce a výroba testovacího zařízení, nákup komponent)
- Celkem cca 4 lidé, 1 z oblasti výzkumu a vývoje konstrukce obráběcích strojů, 1 z oblasti výzkumu a vývoje pohonů obráběcích strojů, 1 z oblasti výzkumu a vývoje virtuálních (matematických) modelů obráběcích strojů a 1 z oblasti výroby (konstrukce a výroba testovacího zařízení).

Doporučený řešitel

- VCSVTT; ústavy zabývající se mechanikou, mechatronikou a řízením (např. ČVUT FS - Ú 12 105, UTIA AVČR); matematické ústavy (např. ČVUT FS - Ú 12 101, UK MFF, MU AVČR); výrobci strojů (Tajmac-ZPS, TOS Kuřim, Kovosvit MAS); výrobci CNC řídicích systémů (MEFI, Siemens); výrobci komponent a univerzálních konstrukčních celků; výrobci nekonvenčních materiálů a výrobci kompozitních dílů (např. CompoTech Plus, LA Composite); uživatelé výrobních strojů (obecně)

2.1.4. (T20) Vývoj strojů s více pracovními nástroji v řezu

Navrhovatel

- Ing. Petr Kolář, Ph.D. a kol. (VCSVTT)

Vazba tématu na SVA

- (U: 34)
- Vývoj strojů s více pracovními nástroji v řezu. Integrace různých mechanických procesů v jednom stroji. Zvyšování souběhu více procesů nad jedním obrobkem. (B-Univerzálnost a multifunkčnost strojů-1)

Komentář k aktualizaci

- Aktualizace dle současného stavu techniky, zdůraznění vazeb na související témata.

Stručný popis stavu problematiky ve světě

- Zvyšování produktivity výroby na jednom stroji zvyšováním množství nástrojů v řezu je jednoznačným trendem posledních let [IMTS 2008, EMO 2009]. Konstrukční provedení této myšlenky má různá provedení: a) vícevřetenové stroje – stroj má vřeteník s více vřeteny, která se pohybují nad více upnutými obrobky; stroj vyrábí násobně více identických obrobků [STAMA]; b) stroje s více shodnými nástrojovými skupinami – nástroje jsou upnuty do více identických nástrojové skupiny; tato konfigurace umožňuje obrábět více dílců nebo obrábět symetricky/nesymetricky jeden obrobek; příkladem mohou být např. tzv. duo stroje – u jednoho stolu s obrobkem jsou proti sobě dvě stejné nástrojové skupiny (dva stojany s vřeteny) nebo soustružnická centra s více revolverovými hlavami [EMO 2009, EMO 2011, IMTS 2012, EMO 2013]; c) stroje s více rozdílnými nástrojovými skupinami – nástroje jsou upnuty do více konstrukčně odlišných nástrojových skupin; typickým příkladem jsou multifunkční soustružnická centra, kde může být nerotující nástroj upnut buď ve frézovacím vřeteni nebo v revolverové hlavě.
- Významným prvkem ovlivňujícím rozšiřování počtu nástrojových skupin na stroji je řídicí systém. Zásadním bodem je rozhodnutí, zda ŘS bude jednokanálový (všechny pohybové osy patří jednomu stroji) nebo vícekanálové (možnost mít v jednom stroji více nezávislých strojů). Počet kanálů udává, kolik NC programů bude možno do stroje poslat paralelně k odbavení. Vzájemně lze programy synchronizovat pomocí tzv. čekacích bodů, nelze však svázat dohromady interpolace os, což může být nedostatek při opracování tvarových ploch více nástroji [Gildemeister – dvoukanálový ŘS na stroji Gamma]. Pokud by tedy stroj měl umět pracovat jako více nezávislých strojů a současně si zachovat schopnost vzájemně interpolovaného společného pohybu, bude nutný buď další vývoj na poli ŘS, nebo vývoj v oblasti přípravy NC kódu, aby bylo možno prolnout více programů do jednoho.
- S přípravou NC kódu a programováním více nástrojů v řezu souvisí také vývoj pokročilých prvků pro kontrolu kolizí ve stroji. Ta dnes existuje pro multifunkční centra [Okuma, WFL, Mori Seiki aj.]. Jedná se však o veřejně nedostupné výsledky firemního vývoje.
- Širokým tématem při obrábění více nástroji je také interakce nástrojů a obrobku. Budicí řezné síly mohou kmity obrobku buď vzájemně zesilovat, nebo naopak tlumit. Někdy tato interakce může znemožnit paralení obrábění více nástroji (např. dokončovací broušení paralelně

s hrubovacím frézováním). Jedná se o široké teoreticky nezpracované téma, což oficiálně uvádí i organizace CIRP [Moriwaki: Multi-functional machine tool. CIRP keynote paper STC-M, 2008; Altintas, Weck: Chatter Stability of Metal Cutting and Grinding. CIRP keynote paper STC-M, 2004].

- Řešení tématu se postupně přesouvá blíže do oblasti přípravy a optimalizace technologie. Konkrétní (české) stroje jsou známy: dvousmykadlové stroje (portálová frézovací centra, horizontální vyvrtávačky), soustružnické automaty (dlouhotočné a vícevřetenové).

Současný způsob řešení problematiky v ČR

- V ČR jsou vyráběny stroje, které mohou mít více nástrojů v řezu. V tomto tématu však neprobíhá žádný zpecifický výzkum a aplikační záležitosti jsou řešeny ad-hoc.

Cíle a praktické výstupy pro obor/průmysl

- Vývoj pokročilých nástrojů pro přípravu NC kódu pro více nezávisle pracujících nástrojů. Vývoj nástrojů pro řízení nezávisle se pohybujících nástrojů při jednokanálovém řízení stroje (včetně nástrojů pro kontrolu kolizí).
- Vývoj modelů kmitání soustavy stroj-nástroj-obrobek při paralelním obrábění více nástroji. Vývoj matematických modelů interakce obráběcích procesů, stroje a obrobku.

Vlastní odborné zhodnocení přínosu tématu pro obor a průmysl v ČR

- Zvyšování produktivity obrábění pomocí paralelní práce více nástrojů je trendem, který je stále potvrzován. Problematika je však širší a zahrnuje nejen nákladově přiměřené řešení konstrukčních problémů, ale především problémy spojené s aplikačním nasazením. Protože nyní v ČR neexistuje podpora těchto aplikací, je každý případ řešen až při předání stroje zákazníkovi, z čehož mohou plynout problémy.
- Z aplikačního pohledu téma zahrnuje další významnou část aktivit, které se dotýkají další témat: příprava NC kódu pro všechny řízené kanály stroje/nástroje v řezu (vazba na T11), analýza kolizí (vazba na T12 a T29) a analýzu vzájemné interakce více řezných procesů v jednom stroji (vazba na T10 a T29).

Způsob dosažení cílů

- Vývoj databáze konstrukce strojů s více paralelně pracujícími řeznými nástroji. Sběr existujících dat, jejich třídění, příprava dat pro práci formou znalostní databáze.
- Vývoj pokročilých nástrojů pro přípravu NC kódu pro více nezávisle nebo vzájemně interpolovaně pracujících nástrojů. Ověření možností existujících CAM programů, ev. jejich přizpůsobení. Speciální typy postprocesorů. Analýza využití komerčně dostupných řešení i vyvíjených nástrojů virtuálního obrábění pro analýzu kolizí při práci více typy nástrojů.
- Vývoj modelů kmitání soustavy stroj-nástroj-obrobek při paralelním obrábění více nástroji a to jak při obrábění více nástroji stejnou technologií (dvě paralelně běžící frézovací operace, dvě a více paralelních soustružnických operací, atp.), tak i při obrábění více nástroji rozdílnou technologií (např. současné vrtání a frézování, atp.). Rozšíření existujících modelů stability obrábění o vliv dalšího řezného nástroje. Praktická měření a testy vzájemné interakce nástrojů přes strukturu stroje a obrobku. Experimenty na konkrétných typech strojů a obrobků (např. vícevřetenové automaty, vícesuportové soustruhy, frézovací stroje s více vřeteny). Vazba na vývoj virtuálního modelu obráběcího stroje.

Doporučený řešitel

- VCSVTT; výrobci strojů s více nástroji v řezu (TOS Varnsdorf, TOS Kuřim, Tajmac-ZPS, Kovosvit MAS, TOS a.s, TOSHULIN.); výrobci CNC řídicích systémů; výrobci CAM systémů

2.2. Komponenty, skupiny a hlavní nosná struktura

2.2.1. (T21) Rozšiřování technologických možností komponent strojů

Navrhovatel

- Ing. Jan Smolík, Ph.D. (ČVUT v Praze)

Vazba tématu na SVA

- (U: 33, 52, 65)
- Rozšiřování technologických možností strojů (otáčky, momenty, výkony) a jejich příslušenství (nástroje, hlavy, stoly, řezná prostředí). (B – Univerzálnost a multifunkčnost strojů – 1)
- Optimalizace elektromagnetických obvodů motorů užívaných v OS (B-Ecodesign strojů-1)
- Unifikace dílců a komponentů s cílem minimalizovat rozdílnost užívaných komponent při zachování velmi dobrých statických a dynamických vlastností strojů. (B – Jednoduchost konstrukce a unifikace dílců, skupin a komponent – 3)

Komentář k aktualizaci

- Téma je aktuální, byly doplněny pasáže týkající se hydrostatických uložení.

Stručný popis stavu problematiky ve světě

- Rozšiřování technologických možností komponent strojů (lineárních a rotačních ložisek, komponent pohybových os, motorů, apod.) zvyšováním jejich užitných vlastností jako: max. rychlost/otáčky, tuhost, únosnost, nízké pasivní odpory, výkon, krout. momenty apod., má přímý pozitivní vliv na většinu žádaných parametrů stroje (výrobní výkon, přesnost, spolehlivost a jakost obrobků). Současné limity komponent jsou dány: a) materiálovými vlastnostmi jejich součástí, b) dosaženou přesností součástí, c) vnitřním konstrukčním řešením komponent a řešením rozhraní, d) způsobem aplikace komponent, e) použitým příslušenstvím (např. mazací systém ložisek, měnič motoru, apod.). Rozšiřování možností komponent je tedy značně multidisciplinární problém a ke zlepšení jejich parametrů může potenciálně dojít každou z výše uvedených cest. Je třeba dále uvážit, že mechanické limity často velmi úzce souvisí s tepelnými vlastnostmi komponent - produkcí tepla a možnostmi jeho odvádění.
- V pohonech posuvů NC obráběcích strojů se dnes uplatňují převážně bezkartáčové synchronní motory s permanentními magnety (SMPM) napájené pulzně šířkově modulovaným napětím (PWM). Tyto motory vykazují nerovnoměrný chod projevující se kolísáním momentu (proudu) a následným kolísáním rychlosti a polohy tímto motorem poháněné pohybové osy (snížení výsledné přesnosti obrábění a zhoršení kvality povrchu obrobku). Pulzní řízení a nerovnoměrný chod motoru vnášejí do frekvenčního spektra proudů ve vinutí vyšší harmonické složky, které se dle Parsevalovy věty podílejí na nežádoucím oteplování motoru a vnášejí chyby do jeho regulace.

- Pro lepší a efektivnější využití vlastností komponent slouží prediktivní modely. Typickým příkladem jsou valivá ložiska ve vysokorychlostních vřetenech. Metody pro stavbu jejich mechanických modelů popisuje např. [Cao, Y., Altintas, Y. A general method for the modeling of spindle-bearing systems. JMD - ASME. 2004, vol. 126, s. 1089-1104.], teplotních modelů [Holkup, T. et al. Thermo-mechanical model of spindles, CIRP Annals - Manufacturing Technology, Volume 59, Issue 1, 2010, Pages 365-368].
- Jako parametr, který ve fázi výběru pak mezi jednotlivými kvalitativními třídami komponent vystupuje, je cena. Aplikace drahých komponent se špičkovými vlastnostmi za účelem rozšíření možností stroje pro specifické výrobní operace automaticky znamená určitou neefektivitu v případě, kdy jsou parametry komponent využívány jen částečně [L. N. López de Lacalle, A. Lamikiz, Machine Tools for High Performance Machining, Springer, 2009]. Součástí úvahy o výběru a aplikaci by mělo být i metodicky správné posouzení účelnosti jejich volby s ohledem na výsledné dlouhodobé náklady.

Současný způsob řešení problematiky v ČR

- V ČR spoléhá většina výrobců na nákup komponent od renomovaných firem. Vlastní vývoj je realizován pouze v oblasti hydrostatického uložení a mechanicky naháněných vřeten (Kovosvit MAS, TOS Varnsdorf, TOS Kuřim, TOSHULIN, Škoda Machine Tool, Tajmac-ZPS a další). V návaznosti na to je podle potřeby zajišťována návrhová a simulační podpora, především ze strany VCSVTT ČVUT v Praze.

Cíle a praktické výstupy pro obor/průmysl

- Hodnocení vlivu vnitřních rozměrových odchylek na výsledné vlastnosti přesných komponent s valivými elementy. Aplikace na případ matic kuličkových šroubů a valivého vedení, sledovaným parametrem je mechanická tuhost.
- Analýza pasivních oporů a zdrojů tepla komponent s valivými elementy, zejména vysokorychlostních vřetenových ložisek, nebo lineárních valivých vedení, pro lepší stanovení vlivu tepelných vlastností na technologické možnosti komponent.
- Výzkum chování a charakteristik hydrostatických (HS) uložení s různými typy řízení (kapiláry, dělič průtoků, PM regulátor). Výzkum a vývoj modelů HS uložení pro vysokorychlostní aplikace (typicky karuselovací stoly o velkých průměrech). Vývoj zpřesněných matematických modelů pro popis charakteristik HS uložení v závislosti na naklopení HS kapes. Výzkum a vývoj matematického modelu pro popis tepelných zdrojů HS uložení. Výzkum možností aktivního řízení výšky šikrticí mezery HS kapes pro kompenzace nevývah pohybových os.
- Optimalizace konstrukce SMPM s cílem zvýšení rovnoměrnosti chodu. Kolísání momentu motoru (cogging) lze snížit vhodnou konstrukcí motoru přinášející rovnoměrnější rozložení magnetické indukce po obvodě vzduchové mezery, [Hanselman, D.: Brushless permanent magnet motor design, Second edition, The writer's collective, 2003].
- Kompenzační algoritmy implementovatelné do komerčních řídicích systémů. Na již zakoupeném motoru je nutné negativní účinek coggingu minimalizovat pomocí kompenzačních řídících signálů implementovatelných do komerčních řídicích systémů.
- Prediktivní modely umožňující návrhovou optimalizaci složitých konstrukčních celků (pohybových os s hydrostatickým vedením, obráběcích vřeten, apod.) pomocí vhodné volby a konfigurace komponent.
- Metodika pro kvalifikované hodnocení přínosu komponent s lepšími nominálními parametry s ohledem na jejich cenu.
- Výzkum tlumení komponent uložení lineárních a rotačních pohybových os (ložiska, valivá vedení, HS uložení).

Vlastní odborné zhodnocení přínosu tématu pro obor a průmysl v ČR

- Rozšiřování technologických možností komponent strojů (lineárních a rotačních ložisek, komponent pohybových os, motorů, apod.) zvyšováním jejich užitných vlastností jako: max. rychlost/otáčky, tuhost, únosnost, nízké pasivní odpory, výkon, krout. momenty apod., má přímý pozitivní vliv na většinu žádaných parametrů stroje (výrobní výkon, přesnost, spolehlivost a jakost obrobků). Důležitým parametrem komponentu je však stále jeho cena.
- Správné pochopení příčin nerovnoměrnosti chodu motorů, jejich následné potlačení znamená dosažení vyšší přesnosti a jakosti obrábění, snížení oteplování motoru a snížení elmag. emisí.

Způsob dosažení cílů

- Vývoj stochastického modelu sledujícího vliv vnitřních rozměrových odchylek na výsledné vlastnosti přesných komponent s valivými elementy. Aplikace na případ matic kuličkových šroubů, sledovaným parametrem je mechanická tuhost. (teoretická práce, praktická měření ve spolupráci s KSK Kuřim, nutno nakoupit materiál)
- Stavba prototypu kuličkové matice se speciální geometrií, která zachovává své původní montážní předpětí při různých teplotních polích, inertně k teplotní roztažnosti dílů. (teoretická práce, stavba prototypu ve spolupráci s KSK Kuřim, praktická měření)
- Experimentální i teoretická analýza pasivních oporů a zdrojů tepla komponent s valivými elementy, zejména vysokorychlostních vřetenových ložisek,pro lepší stanovení limitů jejich použitelnosti. (teoretická práce, nákup vzorků ložisek pro měření, praktická měření)
- Výzkum statických, dynamických a teplotních vlastností (zdroje tepla, vedení a prostup tepla) lineárních valivých vedení
- Výzkum a vývoj modelů chování hydrostatického uložení lineárních a rotačních pohybových os se zvláštním přihlédnutím k vysokorychlostním aplikacím (karuselovací otočné stoly)
- Studium příčin nerovnoměrnosti chodu motorů. Vytvoření matematických modelů nerovnoměrného chodu motoru a jeho kompenzace. Optimalizace konstrukce motorů. (teoretická práce, stavba prototypů motorů, experimentální testy)
- Vývoj kompenzačních metod a jejich implementace do komerčních řídicích systémů. Automatická detekce nerovnoměrného chodu motoru a následné uzpůsobení parametrů kompenzačního signálu. (teoretická práce, experimentální testy)
- Studium možností zvýšení odolnosti motoru proti negativním účinkům PWM (zejména interakce mezi frekvenčním měničem a motorem). (teoretická práce, experimentální testy)
- Metodika pro kvalifikované hodnocení přínosu komponent s lepšími parametry s ohledem na jejich cenu. (teoretická práce)
- Vývoj prediktivních modelů umožňujících návrhovou optimalizaci složitých konstrukčních celků (např. pohybových os s hydrostatickým vedením, sestav valivých ložisek) pomocí vhodné volby a konfigurace komponent. (teoretická práce, praktická měření)
- Celkem cca 7 výzkumných pracovníů + 3 pracovníci ze zapojených podniků.

Doporučený řešitel

- VCSVTT; ústavy zabývající se mechanikou, mechatronikou a řízením (např. ČVUT FS - Ú 12105, UTIA AVČR); matematické ústavy (např. ČVUT FS - Ú 12 101, UK MFF, MU AVČR); výrobci strojů (obecně); výrobci CNC řídicích systémů; výrobci komponent a univerzálních konstrukčních celků

2.2.2. (T22) Zvyšování přesnosti stavby strojů

Navrhovatel

- Ing. Miroslav Ondráček, Ph.D., Ing. Martin Morávek a kol. (ČVUT v Praze)

Vazba tématu na SVA

- (U: 36)
- Zvyšování přesnosti samotné stavby stroje (přesnost dílců, komponentů a montáže). Velmi přesné komponenty a prvky vedení a pohonů. (B – Zvyšování přesnosti strojů – 1)

Komentář k aktualizaci

- Aktualizován text. Zdůrazněna potřeba kvalitní a přesné montáže a s tím související potřeba rozvoje měřicích technik. Doplněna vazba na technologičnost konstrukce dílců.

Stručný popis stavu problematiky ve světě

- Geometrické chyby dílů obráběcího stroje - zvyšování přesnosti samotné stavby stroje snižuje geometrické chyby, které musí být za provozu kompenzovány řídícími systémy. Kompenzace geometrických chyb je však schopna korigovat pouze translační, nikoliv úhlové odchylky a využívá různé postupy analyzující měřené a predikované chyby konkrétního stroje. Výsledná přesnost stavby je tak kombinací přesnosti komponent, dílů, montáže, nastavení kompenzačních algoritmů a časové stálosti rozměrů. [Smith, Woody, Miller: Improving the Accuracy of Large Scale Monolithic Parts Using Fiducials, CIRP Annals, STC-M, 2005]. Na problematiku přesnosti stavby stroje pak úzce navazuje samostatné téma kompenzace odchylek způsobených teplotní deformací.
- Výroba tvarově složitých součástí požaduje vysoce přesné obráběcí stroje s tuhou nosnou strukturou. Existují dvě konstrukční strategie pro vývoj takových strojů: 1) Kompaktní konstrukce – konstrukční uspořádání vysoce přesných funkčních částí jako jsou ložiska, vedení a odměřování do co nejmenšího zástavbového prostoru. Jelikož se používají konvenční a ne miniaturizované funkční části, výsledný stroj může dosáhnout jak vysoké přesnosti, tak i vysoké tuhosti. 2) Funkční integrace – snížení počtu částí a spojovacích míst v silovém toku, vývoj multifunkčních dílů schopných realizovat např. jak funkce pohonu tak i uložení. [Brecher, Utsch, Wenzel: Five-axes accuracy enhancement by compact and integral design, CIRP Annals, STC-M, 2009]
- Nové návrhy nosných dílců se provádějí pomocí optimalizačních metod tak aby se snížily materiálové vstupy a zároveň aby se zachovaly nebo zvýšily statické a dynamické vlastnosti nosných dílců. Při návrhu nosných dílců je nutné řešit hlavně technologičnost výroby nosných dílců vzhledem k uvažované výrobní technologii (svařování, slévání) a nebyla degradována tuhost a přesnost stroje.
- Přímý vliv na přesnost stavby stroje mají komponenty zajišťující lineární a rotační pohyb. Příkladem jsou rotační valivá ložiska vřeten a otočných stolů, lineární recirkulační vedení nebo kuličkové šrouby. Protože se obvykle jedná o konstrukční prvky strojů se sériovou kinematikou, jejich výrobní odchylky se přímo superponují na celkové odchylky ostatních dílů nosné struktury stroje. Pravidlo sériové superpozice odchylek pohybové osy však neplatí v případě použití

přímého odměřování, kdy je rozměrový obvod složitější. Je také třeba si uvědomit, že cena komponent roste s třídou přesnosti exponenciálně a je vždy na místě kriticky zvážit očekávaný přínos [L. N. López de Lacalle, A. Lamikiz, Machine Tools for High Performance Machining, Springer, 2009].

- Vnitřní výrobní odchylky složitých komponent (typickým příkladem jsou matice kuličkových šroubů) výrazně ovlivňují jejich výsledné vlastnosti jako je tuhost, životnost, hlučnost apod. Na problematiku úzce navazuje téma zabývající se technologickými možnostmi komponent.
- SW kompenzace umožňují poměrně efektivní snížení či eliminaci odchylek výroby strojních komponent, stavby a seřízení stroje. Jejich nadměrné užívání může ve výsledku působit i negativně na přesnost práce obráběcího stroje. SW kompenzace je třeba využívat přiměřeně a až v okamžiku, kdy je provedeno precizní mechanické seřižení stroje.
- Dle poznatků z výstavy EMO 2013, kladou špičkový výrobci obráběcích strojů stále extrémní důraz na přesné dokončování stěžejních dílců obráběcích strojů například pomocí ručního zaškrabávání.

Současný způsob řešení problematiky v ČR

- Zvyšování přesnosti strojů při montáži jako základ celkové provozní přesnosti stroje je v ČR stále akcentováno. Systematicky je rozvíjeno i např. v projektu TAČR Alfa Modulární stavba strojů (VUT v Brně, INTEMAC, Tajmac-ZPS, TOS Kuřim, Škoda Machine Tool, TOSHULIN). Projevuje se vliv nových měřidel, např. lasertrackerů a lasertracerů.

Cíle a praktické výstupy pro obor/průmysl

- Vývoj nových nebo úprava stávajících komponent pro přesné obráběcí stroje (např. pohybové skupiny, otočné stoly, frézovací hlavy, atd.). Zaměření se na kompaktní konstrukci (zmenšení zástavbových rozměrů) konstrukčních skupin a na funkční integraci komponent (např. elektromatice, lineární motory s hydrostatikou) pro dosažení vysoké přesnosti a tuhosti.
- Hodnocení vlivu montáže na přesnost celého stroje. Vliv odchylek vzniklých při montáži přesných komponent (lineární vedení, ložiska, kuličkové šrouby) do vyráběných dílců s horší přesností. Vliv ustavovacích prvků na přesnost a tuhost konstrukčních skupin, vliv spojování skupin do konstrukčních celků.
- Využití umělého tepelného stárnutí materiálu dílů před montáží nebo před finálním obráběním pro zajištění časové stálosti tvaru a rozměru dílů strojů.
- Hodnocení účelnosti použití vysoce přesných dílů a komponent ve stavbě stroje, a stanovení „efektivní třídy přesnosti“ s ohledem na celkové určení stroje. Porovnání různých přístupů k dosažení požadované přesnosti z pohledu vynaložených nákladů (např. použití vysoce přesných komponent v porovnání se změnou typu odměřování).

Vlastní odborné zhodnocení přínosu tématu pro obor a průmysl v ČR

- Vyšší přesnost dílců, komponent a montáže může snížit náklady na odladění stroje po montáži. Bude snazší nastavit geometrické kompenzace v řídicím systému, nebude nutné řešit korekce úhlů natočení a bude možné se zaměřit na kompenzace teplotních deformací.

Způsob dosažení cílů

- Návrh nových konstrukčních skupin ve spolupráci s výrobci obráběcích strojů. Optimalizace konstrukce pro vysokou tuhost a přesnost. Řešení technologičnosti výroby nosných dílců, aby vlivem obrábění nedošlo k degradaci tuhosti a přesnosti. Vývoj multifunkčních konstrukčních uzlů v intencích přístupů „kompaktní konstrukce“ a „funkční integrace“. (náklady na výrobu a testy prototypů konstrukčních celků s integrovanými funkcemi)

- Analýza vlivu montáže na přesnost celého stroje.
- Optimalizace rozměrových obvodů, volba typu a umístění odměřování na stroji, konstrukční úpravy pro možnost aktivní kompenzace úhlových odchylek.
- Výzkum časových změn v přesnosti stroje z důvodu stárnutí materiálu a opotřebení dílů a komponent. (náklady na nákup a testy komponent a vzorků materiálu)
- Studie vztahu získaných užitných vlastností a nákladů spojených se zvýšením přesnosti stavby stroje.
- Aplikace modelů volumetrické přesnosti se zahrnutím vlivu poddajnosti nosné struktury stroje
- Nové metody pro kontrolu přesnosti montáže stěžejních dílců obráběcích strojů. Využití moderních metod prostorového měření na bázi optických metod měření vzdálenosti pomocí laserového paprsku

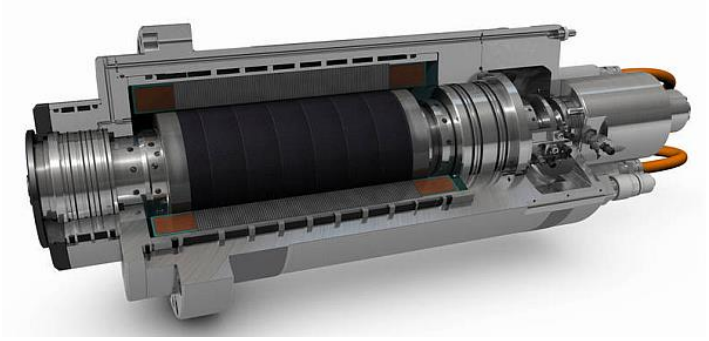
Doporučený řešitel

- VCSVTT, INTEMAC; výrobci strojů (obecně); výrobci komponent (např. KSK Kuřim) a univerzálních konstrukčních celků; uživatelé strojů zabývající se výrobou velmi přesných dílů; výrobci měřicí techniky

2.2.3. (T23) Unifikace komponent a metody pro jejich výběr

Navrhovatel

- Ing. Miroslav Ondráček, Ph.D., Ing. Matěj Sulitka, Ph.D. (ČVUT v Praze)



Vazba tématu na SVA

- (U: 65, 31, 33)
- Unifikace dílců a komponentů s cílem minimalizovat rozdílnost užívaných komponent při zachování velmi dobrých statických a dynamických vlastností strojů. (B – Jednoduchost konstrukce a unifikace dílců, skupin a komponent – 3)
- Vývoj komponentů a koncepcí strojů umožňujících maximální multifunkčnost stroje. (B - Univerzálnost a multifunkčnost strojů - 1)
- Rozšiřování technologických možností strojů (otáčky, momenty, výkony) a jejich příslušenství (nástroje, hlavy, stoly, řezná prostředí). (B – Univerzálnost a multifunkčnost strojů – 1)

Komentář k aktualizaci

- Doplněny vazby na simulační podporu volby komponent.

Stručný popis stavu problematiky ve světě

- Využití určité míry unifikace komponent je přirozenou cestou jak snížit náklady na jejich výrobu. Unifikace vychází ze specializace výrobců komponent a potřeby stanovení katalogových řad nabízených zákazníkům. Při odstupňování řad je činěn kompromis: výroba specifických kusů až malých sérií je sice technologicky možná, náklady na kus však mohou dosahovat až několikanásobku nákladů velkosériové výroby při výrazném odstupňování řad. [H. S. C. Perera, N. Nagarur, M. T. Tabucanon, Component part standardization: A way to reduce the life-cycle costs of products, International Journal of Production Economics, Volumes 60-61, 1999].
- Z pohledu uživatele komponent je výhodou unifikace kromě nižší ceny i možnost snadnějšího kombinování komponent navzájem a záměny komponent různých výrobců. Nevýhodou je pak nepružnost ve výběru a problémy, pokud se nepodaří nalézt standardní komponent splňující speciální požadavky.
- Nevýhody lze do určité míry omezit využíváním širokých databází komponent více výrobců s automatickými vyhledávacími algoritmy. Typickým příkladem je výběr součástí pro pohon pohybových os, kdy je automaticky porovnán velký počet kombinací komponent z databází, přičemž sledována je konkrétní výsledná vlastnost celé osy (např. první antirezonanční frekvence, tzv. redukované hmoty osy, apod.). [Pavel Rybář, Metodika návrhu posuvové osy obráběcího stroje s kuličkovým šroubem: Diplomová práce, 2006]. Pokud by však bylo možné spojitě volit parametry jako např. stoupání šroubu nebo jeho průměr, bylo by teoreticky možné dosáhnout lepších vlastností, např. pomocí výběru s využitím tzv. genetických algoritmů.
- Klíčovým okamžikem pro volbu je tedy rozvaha, která z požadovaných parametrů komponentu je pevný (požadovaný) a který volný, jaká je cena kompromisu při ne optimálních parametrech a jaká je cena za výrobu technicky vhodnějšího nestandardního komponentu v menší sérii. Pro

metodické porovnání pak slouží citlivostní analýzy, které jsou závislé na přesné kvantifikaci ekonomického přínosu jednotlivých variant a jejich pořizovací ceny [L. N. López de Lacalle, A. Lamikiz, Machine Tools for High Performance Machining, Springer, 2009].

Současný způsob řešení problematiky v ČR

- Výrobci obráběcích strojů v ČR unifikaci komponent používají z finančních důvodů. Proto byly vyvinuty/jsou vyvíjeny podpůrné SW nástroje. Např. systém pro volbu komponent pohybových os (vyvinuto ve VCSVTT ČVUT v Praze v rámci projektu MPO Synergický vývoj obráběcích strojů) nebo WP3 projektu CK SVT řešeného ČVUT v Praze a oborovými firmami.

Cíle a praktické výstupy pro obor/průmysl

- Cílem je mít k dispozici nástroj pro relevantní ekonomické porovnání výhod a nevýhod unifikace komponentů a kompromisů z ní plynoucích.
- Metoda pro stanovení užitné hodnoty stroje na základě jeho celkových mechanických vlastností a předpokládaného typického režimu obrábění, z pohledu celého životního cyklu stroje. Klíčem k volbě komponent pak bude její citlivost na jejich jednotlivé vlastnosti. Vzhledem k přirozeným nejistotám při stanovení „vnitřní hodnoty stroje“ bude význam metody spočívat spíše v rozkrytí vzájemných souvislostí nákladů a přidané hodnoty než ve stanovení absolutních údajů.
- Vývoj pokročilých postupů pro rychlou tvorbu propojených modelů a rychlé simulace strukturálních vlastností v závislosti na volbě dílců a komponent nosné struktury stroje.
- Metoda pro nalezení efektivního stupně unifikace, kdy nastává teoretické optimum z pohledu vlastností stroje a pořizovacích nákladů.
- Rozšířené databáze a algoritmy pro automatizovaný návrh komponent konstrukčních celků při sledování jejich výsledných celkových vlastností.
- Celkem 2 výzkumní pracovníci + 2 pracovníci z každého zapojeného podniku.

Vlastní odborné zhodnocení přínosu tématu pro obor a průmysl v ČR

- Výběr komponent pro výrobní stroje je nutně spojen s potřebou kompromisu. Stupeň unifikace komponent a dílů na stroji pak obvykle přímo souvisí s nižšími pořizovacími náklady, ale horšími výslednými mechanickými vlastnostmi, vazby mezi oběma oblastmi jsou však obvykle vnímány spíše intuitivně. Navrhovaný přístup využívající citlivostní analýzy si klade za cíl: a) nalézt efektivní stupeň unifikace, který představuje ekonomicky optimální řešení z pohledu celého životního cyklu stroje, a b) napomáhat při volbě komponent a hodnocení jejich vlivu na celkovou užitnou hodnotu stroje. Modelem navržená řešení je pak nutné testovat v praxi.

Způsob dosažení cílů

- Vývoj metody pro stanovení užitné hodnoty stroje na základě jeho celkových mechanických vlastností a předpokládaného typického režimu obrábění. (teoretická práce)
- Vývoj metody pro nalezení efektivního stupně unifikace, kdy dochází k teoretickému optimu z pohledu vlastností stroje a nákladů. (teoretická práce)
- Rozšíření databáze a vývoj algoritmů pro automatizovaný návrh komponent konstrukčních celků při modelovém i praktickém sledování jejich výsledných celkových vlastností. (teoretická práce, experimentální ověření); vývoj konfigurátoru sestav nosné struktury stroje z knihovních modulů.

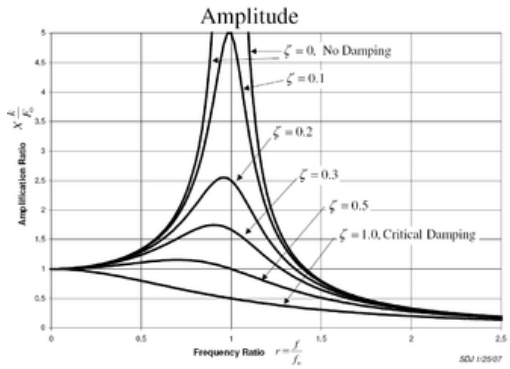
Doporučený řešitel

- VCSVTT; ekonomické ústavy (např. ČVUT FS - Ú 12 138; VŠE FM); výrobci strojů (obecně); výrobci komponent a univerzálních konstrukčních celků

2.2.4. (T24) Konstrukce se zvýšeným tlumením vibrací

Navrhovatel

- Ing. Matěj Sulitka, Ph.D., Ing. Viktor Kulíšek a kol. (ČVUT v Praze)



Vazba tématu na SVA

- (U: 38, 6)
- Konstrukce s vyšší absorpcí či eliminací vibrací (s vyšší statickou a dynamickou tuhostí s použitím nových materiálů s vyšším tlumením). (B_Zvyšování přesnosti strojů_1)
- Optimalizace řezných podmínek s využitím širších znalostí o dynamickém chování nástroje, vřetene, stroje, obrobku s cílem zvýšení výkonnosti a využití instalovaného výkonu. (A_ Optimální řezné podmínky (známých, ověřených technologií obrábění)_1)

Komentář k aktualizaci

- Téma se aktuální a v textu nebyly provedeny zásadní změny.

Stručný popis stavu problematiky ve světě

- Nosná struktura výrobních strojů je za provozu vystavena silovým účinkům rázového a periodického charakteru a její schopnost tyto účinky absorbovat pozitivně ovlivňuje možnosti nastavení regulace a řezných podmínek, což se projeví zvýšením přesnosti a výkonnosti stroje. Obecně však panují výrazné nejasnosti ohledně oblastí, ve kterých k disipaci energie vibrací dochází a nejistota které části stroje k tlumení nejvíce přispívají. Tlumení se obvykle rozlišuje na dva základní druhy: materiálové a stykové. Nejrozšířenější obecná představa „viskózního“ tlumení, má v praxi jen omezenou platnost
- Firmy nabízející tzv. netradiční materiály pro výrobu dílů strojů (např. Trickes-Mineralguss, Granitan, DemTec, Hydropol, Hypercon a další) obvykle udávají zvýšené materiálové tlumení a pozitivní vliv na vlastnosti stroje, aniž by svá tvrzení opřely o směrodatnou normalizovanou zkoušku. Tematické publikace [Rivin 1999, Lopez de Lacalle 2009] se dále liší v praktických závěrech, kde k tlumení dochází a jak tlumení využít při konstrukci.
- V literatuře je obvykle hlavní podíl na tlumení ve strojích připisován tzv. vnitřnímu materiálovému tlumení, to však odporuje praktickým zkušenostem VCSVTT, které poukazují spíše na význam stykového tlumení v rámci komponent zajišťujících lineární a rotační pohyb (ložiska, lineární vedení) a tření na stycích dílů (stěrače krytování, těsnění, předepjaté spoje), které je navíc výrazně frekvenčně závislé.
- Zatím spíše v laboratorních podmínkách jsou aplikovány postupy přídavného mechatronického tlumení vibrací pomocí aktivních členů [Švéda J. et al.: Dynamic behaviour of experimental milling machine LM-2 axis with active vibroabsorbtion design, Engineering Mechanics 2006, Svratka]. Podobně vzácné V praxi je rozšířenější použití přídavných olejových tlumičů dynamicky naladěných pro absorbování energie dominantních tvarů kmitu (oblast výzkumu Zkušebny VUOS) jako řešení problému vibrací na již hotových strojích. Pro vybrané aplikace je praktickése objevuje nasazení nekonvenčních materiálů (kompozitní nebo sendvičové struktury) s vyšším potenciálem pro tlumení vibrací. Více v praxi rozšířený postup je použití přídavných

olejových tlumičů dynamicky naladěných pro absorbování energie dominantních tvarů kmitu (oblast výzkumu Zkušebny VUOS) jako řešení problému vibrací na již hotových strojích.

Současný způsob řešení problematiky v ČR

- Téma je systematicky řešeno ve WP4 projektu CK SVT, který je řešen ČVUT v Praze a oborovými firmami.

Cíle a praktické výstupy pro obor/průmysl

- Hlavním cílem je získání přesnější představy o zdrojích tlumení v konstrukci výrobních strojů, využití získaných zkušeností při optimalizaci nosné struktury strojů s ohledem na schopnost absorpce vibrací a formulace zobecněných doporučení. Dílčími cíly jsou:
- Vlastní metodika pro experimentální stanovení materiálového tlumení vzorků, alternativní ke zjednodušené normě (DIN 51290-3).
- Postupy pro matematický popis různých druhů tlumení (viskózní, proporcionální, tlumení v důsledku tření, paod.) v materiálu, komponentech a na stycích dílů. Metodika využití matematického popisu pro zpřesnění tzv. komplexních modelů dynamického chování celých strojů.
- Vývoj experimentálních a matematických postupů pro identifikaci tlumení v rozhraních
- Analýza příspěvků tlumení v jednotlivých dílcích nosné struktury na dynamické vlastnosti v místě nástroje s využitím pokročilých simulačních technik a postupů.
- Stanovení vhodných oblastí pro praktická zlepšení konstrukce pomocí pasivních metod: aplikace laděných přídavných tlumičů, tlumicích výplní (např. ponechání jader v odlitcích, apod.), změnou konstrukce, změnou materiálu dílů, náhradou valivého vedení hydrostatickým, aplikací nekonvenčních materiálů, apod. Analýza tlumení v různých typech spojů (šroubované, svařované, lepené apod.). Hodnocení časové stálosti řešení. Hodnocení možností zvýšení tlumení pomocí aktivních členů.

Vlastní odborné zhodnocení přínosu tématu pro obor a průmysl v ČR

- Schopnost nosné struktury stroje absorbovat či eliminovat vibrace za provozu má pozitivní vliv na jeho přesnost a výkonnost. V praxi však panují značné nejistoty ohledně a) kvantifikace tlumení, b) lokalizace oblastí, ve kterých k útlumu vibrací dochází, c) vzájemné interakce těchto oblastí, d) posouzení jejich relativního významu a konečně e) možností jak tlumení efektivně zvýšit. Po důkladném experimentálním a teoretickém studiu bude možné dělat kompetentní konstrukční doporučení sledující zvýšení schopnosti stroje absorbovat vibrace a zvýšit tím jeho přesnost a výkonnost.

Způsob dosažení cílů

- Vývoj vlastní metodiky pro experimentální stanovení materiálového tlumení vzorků, alternativní ke zjednodušené normě DIN 51290-3. Využití modelových případů a etalonů.
- Vývoj postupů pro matematický popis různých druhů tlumení (viskózní, proporcionální, tlumení v důsledku tření) v materiálu, komponentech a na stycích dílů.
- Využití matematického popisu tlumení pro zpřesnění tzv. komplexních modelů a rozšíření možnosti predikce dynamického chování strojů ve fázi jejich návrhu.
- Testy různých konstrukčních úprav sledujících zvýšení tlumení na experimentálních zařízeních i reálných strojích v průmyslu. Vývoj aktivních tlumicích členů. (praktická měření, náklady na materiál a komponenty experimentálních zařízení, náklady na senzoriku). Výzkum možností využití přídavných relativních či absolutních tlumičů. Testy přínosu dílů z nekonvenčních materiálů.

- Vývoj postupů pro identifikaci tlumení v rozhraních a spojích.
- Vývoj a aplikace matematických modelů pro citlivostní analýzy příspěvků tlumení dílců, komponent a rozhraní k celkovému tlumení konstrukcí.
- Vývoj matematického modelu pro optimalizaci polohy a orientace rozhraní v nosné stavbě stroje.
- Celkem 3 výzkumní pracovníci + 2 pracovníci z každého zapojeného podniku.

Doporučený řešitel

- VCSVTT; Zkušebna VUOS; ústavy zabývající se mechanikou, mechatronikou a řízením (např. ČVUT FS - Ú 12 105, UTIA AVČR); matematické ústavy (např. ČVUT FS - Ú 12 101, UK MFF, MU AVČR); výrobci strojů (obecně); výrobci nekonvenčních materiálů a výrobci kompozitních dílů (např. CompoTech Plus, LA Composite)

2.2.5. (T25) Nekonvenční materiály pro obráběcí stroje

Navrhovatel

- Ing. Viktor Kulíšek a kol. (ČVUT v Praze)

Vazba tématu na SVA

- (U: 58)
- Využití lehkých (málo hmotných) materiálů s vysokou tuhostí a vyšším tlumením. Cílené zvyšování dynamické tuhosti a tlumení strojů jejich komponentů při snížení spotřeby energie. Využití nekonvenčních materiálů a materiálových struktur (vláknové kompozity, hybridní materiály (kompozit-kov, kov-pěna, kov-beton), keramika, sendviče, betony (polymerbeton, cementový beton), keramika). (B–Nekonvenční materiály-2)

a

Komentář k aktualizaci

- Text byl celkově aktualizován vzhledem k aktuálnímu stavu aplikací nekonvenčních materiálů.

Stručný popis stavu problematiky ve světě

- Nahrazení tradičních konstrukčních materiálů (ocel, litina) materiály nekonvenčními nachází postupně se zvětšující uplatnění v oblasti stavby obráběcích strojů. Nejvíce rozšířenou aplikací je použití nekonvenčních materiálů jako je polymerbeton, cementový beton, případně žula. Tyto materiály jsou používány na konstrukci loží OS s cílem zvýšit tlumení a tepelnou stabilitu. Při výrobě strojů ve větších sériích je při použití polymerbetonů či cementových betonů možné, díky jejich stylu výroby, ekonomicky výhodně a rychle vyrábět hotové dílce, včetně připravených připojovacích rozhraní. Díky nízkým hodnotám měrného modulu pružnosti je jejich použití pro nosné dílce pohybových os spíše ojedinělé a vychází ze specifických požadavků a možností výrobce OS. Pro tyto materiály existují komerčně nabízené řešení loží, případně stojanů od dodavatelů materiálu, popř. výrobců OS. [EMO 2009, EMO 2011, EMO 2013]
- Vláknové kompozity vynikají svým vysokým měrným modulem pružnosti, a tudíž by se jejich použití vybízelo jako možná cesta pro snížení hmotnosti pohybových os při zachování vysoké statické tuhosti. Vlivem výhodných vlastností dochází k postupné aplikaci do nosných komponent OS. Aplikace jsou nabízeny zejména pro rotační komponenty s vysokými nároky na dynamické chování, například hřídele elektrovřeten, náhonové hřídele, upínače soustruhů, případně pro nástroje – brousicí kotouče, vyvrtávací tyče. Většímu rozšíření brání zatím nepříznivá cena vláknových kompozitů, větší náročnost při navrhování těles a, v porovnání s nabídkou pro kovy, menší dostupnost dodavatelů kompozitních řešení. [Výzkumné zprávy projektu 1.2.2., VCSVTT, EMO 2013]
- Pro stavbu nosných dílců OS vykazují možný potenciál tzv. hybridní struktury, které kombinují běžné konstrukční materiály s vysokou tuhostí s nekonvenčními materiály o výrazně nižší hmotnosti. Jejich kombinací jsou zachovány vysoké hodnoty statické tuhosti spolu se zvýšenými hodnotami tlumení. Příkladem těchto konstrukcí mohou být materiály Hydropol Light/Superligth, tvořené tenkostěnnými svařenci vyplněnými polymerbetonem nebo jiným lehčím materiálem. VCSVTT ve spolupráci s DAM Ústí nad Labem s.r.o. vytvořilo pohyblivý stojan z kombinace základního ocelového svařence s výplní z lehké hliníkové pěny. U tohoto stojanu bylo, v

porovnání s podobnou standardní svařovanou verzí, dosaženo zvýšení dynamické tuhosti spolu se zvýšením či zachováním tuhosti statické stojanu. Dalším typem hybridních struktur jsou struktury typu kompozit-kov, které umožňují dosáhnout vysokého poměru tuhosti k hmotnosti. Jejich nasazení je ale spojeno s úspěšným řešením návrhu komponent s odlišnými teplotně-mechanickými vlastnostmi. [EMO 2009, 2011, 2013], [Výzkumné zprávy projektu 1.2.2., VCSVTT]

Současný způsob řešení problematiky v ČR

- Téma je systematicky řešeno ve WP7 projektu CK SVT, který je řešen ČVUT v Praze a oborovými firmami. Aplikace částicových výplňových mateirálů sytematicky řeší firma DAM ve spolupráci s VCSVTT ČVUT v Praze. Firma Compotech ve spolupráci s U12105 ČVUT v Praze řeší rozsáhlý projekt TAČR Alfa v oblasti návrhu dílců z kompozitových materiálů.

Cíle a praktické výstupy pro obor/průmysl

- Snižování hmotnosti nosných dílců pohybových os OS při zachování vysoké statické tuhosti. V případě úspěšné aplikace hybridních struktur, nebo vláknových kompozitů lze na základě současných zkušeností předpokládat možnou úsporu hmotnosti pohyblivých dílců v rozsahu 10 až 40 % původní hmotnosti pohybové osy při zachování statické tuhosti. S úsporou hmotnosti souvisí možnost použití komponent pohonů o nižších výkonových parametrech a snížení množství spotřebované elektrické energie. Snížení spotřeby energii při obrábění je jedním z nejdůležitějších parametrů při posuzování eco-designu a po předpokládaných legislativních změnách v budoucích letech se může stát velmi žádoucím parametrem, který může ospravedlnit i případné vyšší náklady na nekonvenční materiály.
- Zvýšení dynamické tuhosti komponent pohyblivých os. Zvýšení dynamické tuhosti nosných dílců pohybových os stroje může vést k dosažení vyšších dynamických parametrů pohonu a tudíž schopnosti zvýšení produktivity při obrábění. Zvyšování dalších modálních vlastností strojů. Návrh z vláknových kompozitů umožnuje integraci tlumicích vrstev do kompozitní skladby a zvýšení tlumení struktury značně nad možnosti kovu, otázkou je návrh na vhodné tlumení bez redukce statické tuhosti.
- Výzkum teplotně-stabilních přesných základů nebo referenčních prvků pro zvýšení přesnosti obrábění.
- Vývoj vysoko-rychlostní rotačních součástí OS z nekonvenčních materiálů. Náhradou tradiční oceli například u elekotrovřeten za výrazně lehčí vláknové kompozity lze při vhodném návrhu dosáhnout výrazného zvýšení dynamické tuhosti i vlastního tlumení, což může vést k větší výrobní výkonnosti na nástroji.
- Snižování hmotnosti rozměrného krytování strojů. Náhrada tradičních plechových konstrukcí krytování lehčími nekonvenčními hybridními strukturami o stejné statické tuhosti umožní snížit setrvačné síly, které je jinak nutné eliminovat nůžkovými mechanismy nebo tlumícími systémy.
- Analýza možností uplatnění inteligentních materiálů, materiálů s pamětí, materiálů s detekcí vnitřního porušení, nových keramicko-kovových materiálů a nových výsledků povrchového inženýrství ve stavbě strojů a to především pro zvýšení spolehlivosti a životnosti dynamicky zatěžovaných dílců.

Vlastní odborné zhodnocení přínosu tématu pro obor a průmysl v ČR

- Použití nekonvenčních materiálů se v konstrukci OS postupně rozšiřuje. Většímu rozšíření částečně brání skutečnost, že techničtí pracovníci nemají potřebné znalosti pro práci s nekonvenčními strukturami. Velkou překážkou je cena nových materiálů, která je často vyšší než u tradičních konstrukcí. Zvládnutí technologických, konstrukčních a výpočtářských znalostí

práce s nekonvenčními materiály a jejich správná aplikace může přinést velkou konkurenční výhodu, neboť umožní dosáhnout vyšší přesnosti, produktivity či jakosti na obrobku.

Způsob dosažení cílů

- Detailní studium mechanických vlastností, ceny a dostupnosti nekonvenčních struktur. Provedení technických a ekonomických studií případů, pro jaké typy strojů a jejich komponent je aplikace nekonvenčních materiálů vhodná a vede ke zvýšení konkurenceschopnosti celku.
- Získání konstrukčních a technologických znalostí pro práci s nekonvenčními materiály se zaměřením na efektivní konstrukční návrh a výrobu struktur včetně možnosti jejich spojování s ostatními komponentami OS. Seznamování technické veřejnosti s těmito informacemi ve formě seminářů, školení.
- Výroba vhodných prototypů reálných dílců a jejich verifikační zkoušky na prototypech strojů.
- Vývoj použitelných numerických výpočtových metod pro spolehlivou predikci mechanicko-tepelných vlastností navrhovaných dílců nebo sestavy OS využívajících nekonvenčních nebo hybridních struktur. Vývoj výpočtových postupů pro posouzení příspěvku celků a uzlů z nekonvenčních materiálů v kontextu celé struktury stroje.
- Řešitelské kapacity u výzkumných institucí: cca 2-3 lidé na provedení technických a ekonomických studií, konstrukčních návrhů vhodných dílců a aplikaci numerických výpočtových metod vyvinutých v rámci T26

Doporučený řešitel

- VCSVTT; výrobci strojů (Tajmac ZPS, a.s., TOS Varnsdorf a.s., Strojírna Tyc s.r.o., Erwin Junker, TOSHULIN, a.s., Kovosvit MAS a. s., TOSHULIN); výrobci nekonvenčních materiálů a výrobci kompozitních dílů (např. CompoTech Plus, LA Composite)

2.2.6. (T26) Predikce vlastností dílců obráběcích strojů z nekonvenčních materiálů

Navrhovatel

- Ing. Viktor Kulíšek a kol. (ČVUT v Praze)

Vazba tématu na SVA

- (U: 58, 59)
- Predikce vlastností dílců z nekonvenčních materiálů. Vývoj a verifikace výpočtových modelů, které umožní posoudit přínos nového materiálu komponenty na chování celého stroje. (B–Nekonvenční materiály-2)
- Využití lehkých (málo hmotných) materiálů s vysokou tuhostí a vyšším tlumením. Cílené zvyšování dynamické tuhosti a tlumení strojů a jejich komponentů při snížení spotřeby energie. Využití nekonvenčních materiálů a materiálových struktur (vláknové kompozity, hybridní materiály (kompozit-kov, kov-pěna), polymerbeton, keramika). (B–Nekonvenční materiály-2)

Komentář k aktualizaci

- Text byl celkově aktualizován vzhledem k aktuálnímu stavu aplikací nekonvenčních materiálů.

Stručný popis stavu problematiky ve světě

- Nejběžnějším nástrojem pro analýzu vlastností sestavy OS nebo jeho nosných dílců z tradičních konstrukčních materiálů je metoda konečných prvků. Její výsledky jsou používány při běžném posuzování statických, dynamických, teplotních vlastností jednotlivých variant při návrhu stroje. S rozvojem výpočetní techniky jsou vyvíjeny komplexní modely, které propojují mechanickou stavbu stroje s jeho pohony a umožňují posuzovat vliv jednotlivých parametrů na přesnost, jakost a možnou produktivitu na obrobku. Zároveň je stále častěji používáno pokročilých optimalizačních metod, kterými je možné určovat mnoho geometrických parametrů stroje a jeho komponent, případně parametrů pohonů. Cílem optimalizace je ve fázi návrhu získat nejvýhodnější hodnoty zkoumaných parametrů pro dosažení požadovaných vlastností konstrukce. (např. statická nebo dynamická tuhost na nástroji, parametry regulace pohonu, snížení hmotnosti při zachování tuhosti). [Závěrečné zprávy projektu 1.4.3., VCSVTT], [Recent advances in engineering design optimisation: Challenges and future trends; R. Roy; CIRP Annals 2008]
- Pro predikci dílců z nekonvenčních materiálů je v principu používáno stejných výpočetních nástrojů. Oproti materiálům konvenčním jsou odlišnosti ve složitosti materiálových modelů nekonvenčních materiálů, v přesnosti vstupních materiálových dat a v časové náročnosti přípravy, výpočtu a vyhodnocování dat. Makroskopické materiálové modely u nekonvenčních materiálů lze zjednodušit na modely klasického izotropního kontinua pro materiály typu polymerbeton, žula, keramika. U ostatních používaných materiálů jako jsou kovové pěny, vláknové kompozity je nutné použít náročnějších materiálových modelů, které vystihují anizotropní, popřípadě nelineární chování. Problematické je především získání materiálových konstant a jejich přesnost, která je úzce spojena s možností opakovaně vyrábět dílce

z nekonvenčních materiálů se stejnými mechanickými vlastnostmi. Ve VCSVTT byl v letech 2005-2013 proveden výpočtově-experimentální program, který zahrnoval výpočty a zkoušky na keramických, kompozitních, hybridních ocelovo-pěnových strukturách navrhovaných pro oblast OS. Řada výpočetních modelů struktur z nekonvenčních materiálů byla již ověřena měřením na zkušebních dílcích, tj. jsou již vypracovány postupy, jak jednotlivá tělesa modelovat. Z hlediska efektivního vývoje komponent OS se ukazuje za vhodné rozvíjet výpočetní modely globálních sestav, u kterých lze posuzovat příspěvek jednotlivých komponent k dynamickému chování stroje, tj. hodnotit vliv nových materiálů komponent nejen na statickou ale i dynamickou tuhost stroje. [Kulíšek – závěry z průběhu projektu 1.2.2. v letech 2005-2011, VCSVTT]

- Problematika časové stálosti mechanických vlastností dílců z nekonvenčních materiálů je oblast nepříliš prozkoumaná. U nosných dílců z konvenčních materiálů není nutno tyto problémy, vzhledem k nízkým hodnotám napětí, prakticky řešit. Problém může nastat u nekonvenčních struktur s anizotropními vlastnostmi, u kterých může dojít k poškozování ve směru zatěžování nevhodně orientovaných částic ve struktuře. To se může projevit v počáteční nepatrné degradaci mechanických vlastností, která by se dále nerozvíjela. Při nevhodném návrhu by došlo k průběžné degradaci tuhosti. Další nepříliš řešenou otázkou je schopnost nekonvenčních materiálů odolávat vlivům agresivního prostředí (třísky od obrábění, chladicí kapaliny). Tyto otázky je problematické zkoumat výpočetně a v naprosté většině případů jsou zkoumány experimentálně. Příkladem takového výzkumu byl vývoj kompozitního vřetena více-vřetenového automatu, které bylo ve spol. Tajmac ZPS a.s. dlouhodobě testováno v oleji.

Současný způsob řešení problematiky v ČR

- Téma je systematicky řešeno ve WP7 projektu CK SVT, který je řešen ČVUT v Praze a oborovými firmami. Aplikace částicových výplňových mateirálů sytematicky řeší firma DAM ve spolupráci s VCSVTT ČVUT v Praze. Firma Compotech ve spolupráci s U12105 ČVUT v Praze řeší rozsáhlý projekt TAČR Alfa v oblasti návrhu dílců z kompozitových materiálů.

Cíle a praktické výstupy pro obor/průmysl

- Hlavním cílem je vývoj numerických metod pro predikci mechanických vlastností nekonvenčních materiálů a jejich experimentální verifikace. Cílem je navrhnout a verifikovat výpočtové modelů pro predikci statické a dynamické tuhosti reálných komponent OS z nekonvenčních materiálů. Pro vybrané varianty nekonvenčních materiálových řešení získat podklady pro určování konstant materiálových vstupů, včetně jejich možných rozptylů daných z principu použitých výrobních technologií.
- Vývoj výpočtových modelů pro výzkum teplotně mechanických dějů na spojovacích rozhraních nekonvenčních materiálů a jejich verifikace,
- Metodiky efektivního návrhu vysoce-tuhých komponent z nekonvenčních materiálů při konstrukci stroje. Výzkum, jak je velký vliv tlumení jednotlivých komponent na tlumení stroje a jakým způsobem daný problém modelovat.
- Výzkum časové stálosti mechanických vlastností dílců z nekonvenčních materiálů a jejich spojů, výzkum jejich odolnosti na vliv prostředí provozu OS.

Vlastní odborné zhodnocení přínosu tématu pro obor a průmysl v ČR

- Zvýšení produktivity, přesnosti a jakosti na obrobku jsou přirozeným záměrem výrobců OS. Jedna z cest jak tyto parametry zkvalitnit je ve vhodné aplikací nekonvenčních materiálů. Pro správný návrh nově koncipovaných dílců je rozhodující znalost chování těchto materiálů a schopnost je efektivně modelovat pro výpočty ať už samotných dílců nebo celého OS.

Způsob dosažení cílů

- Výpočtové studie nekonvenčních provedení vhodných komponent OS spolu s experimentální verifikací. Efektivní návrh spojen s posouzením příspěvku komponenty v modelu celého stroje.
- Studie spojů na rozhraní nekonvenčních a tradičních materiálů. Provedení teplotně-pevnostních analýz a jejich experimentální verifikace.
- Využívání pokročilých optimalizačních metod pro návrh skladby anizotropních materiálů. . Vývoj výpočetních postupů pro optimalizaci návrhu struktur a dílců z nekonvenčních materiálů v kontextu vlastností nosné soustavy celého stroje.
- Experimentální modální analýza navrhovaných komponent a celku OS.
- Experimentální zkoušení časové stálosti vlastností komponent z nekonvenčních materiálů.
- Řešitelské kapacity u výzkumných institucí: cca 2 až 4 plné úvazky.

Doporučený řešitel

- VCSVTT; ústavy zabývající se mechanikou, mechatronikou a řízením (např. ČVUT FS - Ú 12 105, UTIA AVČR); matematické ústavy (např. ČVUT FS - Ú 12 101, UK MFF, MU AVČR); zkušební laboratoře (např. Zkušebna VUOS, s.r.o.); výrobci nekonvenčních materiálů a výrobci kompozitních dílů (např. CompoTech Plus, LA Composite); ZČU FAV

2.2.7. (T27) Technologické postupy pro zpracování nekonvenčních materiálů pro stavbu obráběcích strojů a jejich komponent

Navrhovatel

- Ing. Viktor Kulíšek a kol. (ČVUT v Praze)

Vazba tématu na SVA

- (U: 58, 60)
- Vývoj metod pro zpracování nekonvenčních materiálů a návrh směrnic, doporučení a postupů pro jejich použití v konstrukci OS. (B–Nekonvenční materiály-2)
- Využití lehkých (málo hmotných) materiálů s vysokou tuhostí a vyšším tlumením. Cílené zvyšování dynamické tuhosti a tlumení strojů a jejich komponentů při snížení spotřeby energie. Využití nekonvenčních materiálů a materiálových struktur (lamináty, keramika, sendviče, lehčený polymerbeton, hybridní materiály). (B–Nekonvenční materiály-2)

Komentář k aktualizaci

- Text byl celkově aktualizován vzhledem k aktuálnímu stavu aplikací nekonvenčních materiálů.

Stručný popis stavu problematiky ve světě

- V oboru konstrukce obráběcích strojů zahrnuje v současnosti pojem nekonvenční materiály neželezné materiály, tedy betony, polymerní betony, žuly, minerální litiny, plasty, kompozity a jejich kombinace. Použití žuly a různých druhů betonu je ve stavbě nosných dílů relativně rozšířené, nedává však možnost konstruovat stroje s lepším poměrem tuhosti k hmotnosti. Problematika výroby takového dílu, včetně vlepených spojovacích inzertů a vložek pro montáž vedení, je řešena výrobcem podle požadavků zákazníka, jsou k dispozici dodavatelé řešení nepohyblivých komponent OS v průmyslové kvalitě (polymerní beton, cementový beton, žula). [Smolík: Stavba nosných soustav. EMO 2009, EMO 2013]
- Vyšší potenciál pro zvyšování tuhosti a tlumení dílů při stejné nebo nižší hmotnosti mají hybridní konstrukce – například nosné díly strojů z ocelových svařenců vyplněných odlehčeným polymerbetonem, kovovými pěnami. U12135 získal v minulých letech v rámci projektu 1.2.2 zkušenosti s konstrukcí a výrobou hybridního stojanu stroje, tvořeného ocelovým svařencem s vlepovanými jádry z hliníkové pěny. Vzhledem k unikátnosti provedení lepeného spoje (rozsah lepení, spojované materiály, uspořádáním lepených ploch) byla použita modifikovaná metoda lepení sendvičových panelů pomocí tekutých lepidel. Měření potvrdilo zlepšení tuhostních a tlumících vlastností stojanu při snížení hmotnosti. Byly realizovány další dva stojany pro české výrobce OS. Z hlediska rozvoje se jako limitní ukazovala technologie lepení (cena lepidla, obrábění pěny, časová prodleva při lepení), bylo by vhodné se zaměřit na přímé vyplnění dutin bez nutnosti lepení. [Výzkumné zprávy projektu 1.2.2., VCSVTT]
- Technologie vláknových kompozitních materiálů umožňuje konstruovat díly obráběcích strojů s nižší hmotností, vyšší tuhostí, tlumením a lepšími modálními vlastnostmi. Většímu rozšíření doposud brání vyšší cena, malé zkušenosti v oboru obráběcích strojů a složitější návrhové a výrobní postupy. Přehled současného stavu ve světě ukázal, že dodavatelé řešení již vyvíjí metody, jak řešit tvorbu spojovacích rozhraní (např. pro lineární vedení smykadel) v kvalitě

obvyklé pro OS. Je k dispozici nabídka náhonových hřídelů se spojovacími rozhraními pro přenos vysokých hodnot krouticích momentů, v řešení jsou otázky tvorby připojovacích rozhraní pro ložiska kompozitních hřídelů. [Výzkumné zprávy projektu 1.2.2., VCSVTT, EMO 2013]

- Ve stádiu výzkumu je problematika recyklace hybridních struktur. Hlavní komplikací je ekologicky šetrné oddělování jednotlivých složek struktury z různých materiálů. Dalším problémem může být recyklace vláknových kompozitů. Toto téma není zatím příliš řešené, recyklací samotných vláknových kompozitů se v ČR zabývalo např. VZLÚ. [Valeš, Cihelník, Štekner: Recyklace kompozitních materiálů s uhlíkovou výztuží, získané recykláty a jejich aplikace, Elektronický sborník VZLU, č. 7, 2008].

Současný způsob řešení problematiky v ČR

- Téma je systematicky řešeno ve WP7 projektu CK SVT, který je řešen ČVUT v Praze a oborovými firmami. Aplikace částicových výplňových mateirálů sytematicky řeší firma DAM ve spolupráci s VCSVTT ČVUT v Praze. Firma Compotech ve spolupráci s U12105 ČVUT v Praze řeší rozsáhlý projekt TAČR Alfa v oblasti návrhu dílců z kompozitových materiálů.

Cíle a praktické výstupy pro obor/průmysl

- Vývoj vhodných postupů obrábění a spojování kompozitních dílů. Specifika výroby vláknových kompozitů (zvláště navíjených) vyžadují zvládnutí problémů s připojováním k dalším částem konstrukce, daných většími výrobními tolerancemi kompozitů a obtížným zaváděním osamělých sil (v případě sendvičových struktur). Řešení obrábění na přesný rozměr, spojování lepením nebo mechanickými prvky umožní konstruovat složitější kompozitové struktury a přizpůsobení nárokům obráběcích strojů.
- Vývoj technologických postupů výroby hybridních struktur. Hybridní struktury často vyžadují spojování netypických materiálů (např. ocel a hliníková pěna), proveditelné lepením. Modifikace stávajících postupů lepení umožní spojování materiálů nespojitelných jinou metodou. Vývoj ocelové konstrukce s vypěňovaným jádrem by eliminoval komplikované lepení, ovšem může přinášet stabilitní problémy v tenkostěnné ocelové části.
- Návrh vhodných postupů recyklace nebo likvidace hybridních struktur.

Vlastní odborné zhodnocení přínosu tématu pro obor a průmysl v ČR

- Kompozitní materiály a hybridní struktury nejsou doposud (zvláště v ČR) ve stavbě obráběcích strojů příliš rozšířené. Důvodem je nejen problematický návrh, ale i výroba dílů a následné připojování k dalším částem konstrukce. Zvládnutí problematiky lepení velkých, tvarově složitých ploch, obrábění kompozitů a mechanických spojů by umožnilo konstruovat a dále nabízet high-tech řešení obráběcích strojů.

Způsob dosažení cílů

- Studium stávajících řešení spojování jednotlivých dílů pomocí vlepovaných insertů a mechanických kotvících prvků (teoretická práce bez zvláštních požadavků).
- Studium používaných technologických postupů lepení kompozitních, kovových i smíšených konstrukcí, tvorba hybridních struktur kompozit-kov, kompozit-pěna. Studie vyplňování svařenců bez nutnosti přesné technologie lepení (teoretická práce bez zvláštních požadavků).
- Přizpůsobení technologických postupů lepení specifickým požadavkům kladeným na lepené spoje ve stavbě obráběcích strojů - velké lepené plochy, netypická tvarová konfigurace lepených ploch, nepříznivé vlivy předcházejících výrobních operací na čistotu lepeného spoje, řešení vytvrzování lepeného spoje a teplotní deformace od vytvrzení.

- Experimentální ověřování lepených prvků a spojů na sadách zkušebních vzorků (praktické experimenty vyžadující nákup materiálu na výrobu vzorků, případně zajištění výroby, zajištění zkušebních zařízení).
- Vývoj, výroba a testování vhodných demonstrátorů (nutno zajistit výrobu v návaznosti na požadavky konstrukce stroje) a jejich aplikace v praxi na prototypech stroje.
- Studium v současnosti používaných metod recyklace a likvidace hybridních struktur a kompozitních materiálů.
- Řešitelské kapacity u výzkumných institucí: cca 2 až 3 lidé na vývoj technologií výroby, spojování, výrobu demonstrátorů a experimentální ověřování, 1 úvazek řešící problematiku recyklace nekonvenčních materiálů (ve spojení s T34).

Doporučený řešitel

- VCSVTT; ústavy zabývající se mechanikou, mechatronikou a řízením (např. ČVUT FS - Ú 12 105, UTIA AVČR); ekonomické ústavy (např. ČVUT FS - Ú 12 138; VŠE FM); výrobci strojů (TOSHULIN a.s., Strojírna Tyc, s.r.o., Tajmac ZPS, a.s.); zkušební laboratoře (např. Zkušebna VUOS, s.r.o.); výrobci nekonvenčních materiálů a výrobci kompozitních dílů (např. CompoTech Plus, LA Composite); VZLÚ, a.s.

2.2.8. (T28) Vývoj technických prostředků pro obrábění mikronástroji

Navrhovatel

- Ing. Pavel Zeman, Ph.D. a kol. (ČVUT v Praze)

Vazba tématu na SVA

- (U: 17)
- Zvyšování rychlosti obrábění, frézování nad 1000 m/min, broušení nad 100 m/s, vývoj a konstrukce vřeten pro velmi vysoké rychlosti. (A-Výzkum nových technologií třískového obrábění pro zvýšení výkonnosti obrábění nebo jakosti povrchu-2)

Komentář k aktualizaci

- Bez zásadních změn, popsána nezbytná senzorika pro obrábění mikronástroji.

Stručný popis stavu problematiky ve světě

- Pro broušení vnějších rovinných i tvarových ploch je problém dosažení vysoké řezné rychlosti přenesen na konstrukci vhodného nástroje, kde jsou dnes např. pro CBN brusné materiály vyvinuty kotouče schopné dosáhnout obvodové rychlosti 180 – 230 m/s, (průměr 690 mm) [www.mach-rotec.com].
- Dosažení vysoké rychlosti při frézování činí problémy zejména v oblastech, kde si nemůžeme pomoci volbou většího průměru nástroje, který případný nedostatek otáček nahradí, naopak malé průměry nástrojů nutí uživatele otáčky dále zvyšovat. Pro frézování složitých a hlubokých tvarových kapes jsme jasně omezeni průměrem nástroje a obráběným materiálem, který klade požadavky na řeznou rychlost, tato situace také nastává u případů vnitřního broušení. Vřetena pro aplikace s velmi vysokými řeznými rychlostmi by měla dosahovat řádově statisíců otáček za minutu. V současné době jsou k dispozici v těchto hladinách otáček pouze vřetena přídavná. Dnešní přídavná brousicí elektrovřetena s maximem otáček 200 - 250 tisíc otáček za minutu (max. průměr nástroje 3 mm). [www.fischerprecise.com, www.gmn.de]
- Pro práci nástroji průměru menšího než 1 mm je nutné stroj zajistit dodatečnou senzorikou, která zajistí správnou detekci kontaktu nástroje s oborbkem a předejde destrukci nástroje při najíždění kusu [Marposs].

Současný způsob řešení problematiky v ČR

- Přídavná vysokootáčková vřetena s otáčkovou zpětnou vazbou a automatickým monitoringem řezného procesu jsou vyvíjena a testována v rámci WP2 projektu CK SVT řešeného ČVUT v Praze společně s oborovými firmami.

Cíle a praktické výstupy pro obor/průmysl

- Výstupem by měl být funkční vzorek přídavného vysokootáčkového vřetene dosahující vysokých hladin otáček, schopný spolehlivě pracovat.
- Problematika návrhu těchto zařízení spočívá v návrhu pohonu (rychloběžnost, účinnost), návrhu uložení rotorů a jejich stability. Dosažení tepelné stability celého zařízení a přesnost chodu.

- Problematika regulace (turbinový pohon) - vytvoření externí regulační jednotky, která bude uživatelům sloužit k nastavení zvolené otáčkové hladiny.
- Konstrukční řešení ložisek pro uložení hřídele s otáčkami nad 100 tis. ot/min.

Vlastní odborné zhodnocení přínosu tématu pro obor a průmysl v ČR

- Nasazení těchto vřeten při výrobě součástí, jejichž tvarová složitost, nebo materiál budou vyžadovat aplikaci vysokých řezných rychlostí, umožní uživatelům značně rozšířit technologické možnosti jejich strojů. Neméně významným přínosem těchto zařízení je pozitivní vliv na produktivitu výrobního systému.
- Možnost použití vřetene v zásobníku nástrojů pouze pro vybrané operace, s použitím regulační jednotky, která bude obsahovat akční člen a řídicí algoritmus bude vykonávat PLC stroje.
- Celkovým přínosem je rozšíření výrobních schopností uživatelů disponujících těmito zařízeními a zvýšení konkurenceschopnosti výrobců.

Způsob dosažení cílů

- Řešení problematiky pohonu, tvorba modelů a simulace turbinového pohonu.
- Řešení problematiky uložení rotoru a jeho stability při velmi vysokých otáčkách.
- Návrh, výroba, vytvoření metodiky testování a testy v reálném provozu při výrobě tvarově složitých součástí.
- Vývoj a vyhotovení několika variant těchto zařízení a jejich testování (proměření výkonových charakteristik, měření přesnosti, testy životnosti).
- Vývoj a realizace externího modulu pro regulaci těchto zařízení, který bude sloužit k nastavení požadované hladiny otáček a studium možností pro propojení tohoto modulu s řídicím systémem stroje.

Doporučený řešitel

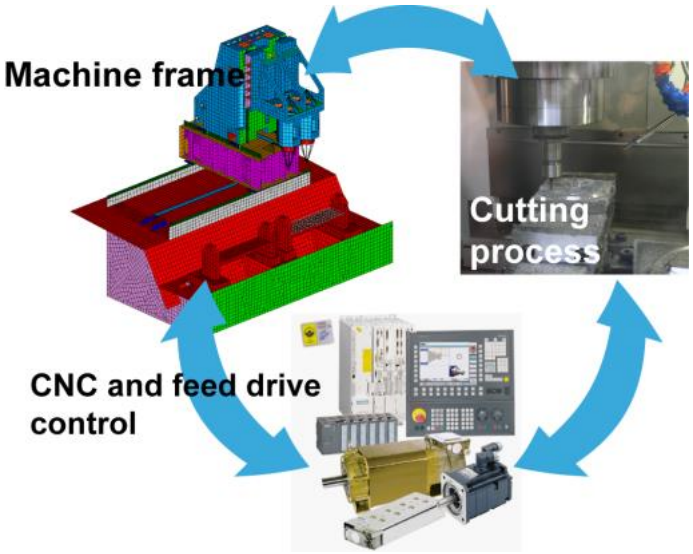
- VCSVTT; výrobci strojů nabízející zákazníkům odladěné technologie; výrobci komponent a univerzálních konstrukčních celků; uživatelé strojů zabývající se výrobou velmi přesných dílů; uživatelé strojů zabývající se výrobou tvarově složitých malých dílů

2.3. Matematické modely strojů a jejich verifikace

2.3.1. (T29) Virtuální modely strojů a obrábění

Navrhovatel

- Ing. Matěj Sulitka, Ph.D. a kol. (ČVUT v Praze)



Vazba tématu na SVA

- (U: 46, 47, 48)
- Komplexní dynamická simulace strojů zahrnující simulační modely mechanické stavby stroje, pohonů, agregátů, řízení a dalších obslužných systémů, náhradu CNC systému. Simulace a predikce chování stroje při reálném obrábění v reálném výrobním procesu. (B-Virtuální testování a obrábění-1)
- Simulace zahrnující model řezného procesu, model vřetene, nástroje a obrobku a umožňující ve spolupráci s komplexním dynamickým modelem stroje realizovat virtuální obrábění a inspekci virtuálně obrobeného povrchu. (B-Virtuální testování a obrábění-1)
- Predikce a ověření výsledků výroby společně s její optimalizací již v návrhovém stádiu. Přizpůsobení řízení k mechanické stavbě stroje. (B-Virtuální testování a obrábění-1)

Komentář k aktualizaci

- Téma bylo kompletně přepracováno, aby odráželo výrazný posun v tématu dosažený ve světě i v ČR. Za podtémata T29 lze považovat témata T12 a T13.

Stručný popis stavu problematiky ve světě

- Obecné cíle virtuálního modelování strojů a obrábění je možno rozdělit do dvou směrů. První z nich se zaměřuje na vývoj *off-line* softwarových nástrojů, které umožní simulačně hodnotit výsledky obrábění podle kritérií kvality, přesnosti a času obrábění dříve, než je stroj realizován, nebo optimalizovat nastavení existujícího stroje a technologie obrábění. Přínosy tohoto typu modelování spočívají především ve výrazné úspoře času vývoje stroje, sledující dosažení požadovaných parametrů, nebo ladění technologie obrábění konkrétních dílců [Altintas, Y., Brecher, C., Weck, M., Witt, S.: Virtual Machine Tool. Annals of CIRP Vol. 54, Issue 2, 2005, pp. 115-138]. Průmyslové aplikace off-line virtuálních modelů stroje v současnosti míří především na kontrolu NC kódu s využitím interpolátoru skutečného CNC řídicího systému stroje a kontrolu kolizních stavů [např. DMG Virtual Machine; en.dmgmori.com/products/software/dmg-virtual-machine, nebo software Virtuos firmy ISG Stuttgart; www.isg-stuttgart.de]. Virtuální modely stroje zahrnující jádra skutečných řídicích systémů jsou označovány také jako systémy Hardware in the loop (HIL).

- Další motivací vývoje postupů virtuálního modelování je vize implementace virtuálního modelu stroje do CNC řídicího systému stroje a real-time běh virtuálního modelu na pozadí skutečného řízení. V současnosti se začínají objevovat průmyslová řešení, jejichž cílem je aktivní kontrola kolizních stavů s využitím modelu kinematiky stroje a možností aktivního zamezení kolizí při chodu stroje v jakémkoliv režimu (automatický, MDA, JOG) [např. Siemens Collision Avoidance system, 2013; www.automation.siemens.com].
- Během posledních zhruba patnácti let došlo k intenzivnímu vývoji a aplikaci matematických postupů pro virtuální modelování interakce mechanické stavby stroje a řízení. Počátky vývoje se zabývaly vlivem dynamiky nosné struktury stroje na řízení pohonů [Berkemer, J.: Simulation von Werkzeugmaschinen unter Berücksichtigung der Antriebsregelung. Tagungsband XXIV. FEM-Kongress, Baden-Baden, 1997]. Tvorba propojených modelů mechanické stavby pohonů s kuličkovým šroubem a nosné struktury stroje je založena na využití postupů MKP [Zäh, M. F., Oertli, Th.: Finite Element Modelling of Ball Screw Feed Drive Systems. Annals of CIRP 53/1/2004, pp. 289-293].
- Vliv proměnné kinematické konfigurace nosné struktury stroje na celkové dynamické vlastnosti umožňují efektivně sledovat výpočetní postupy založené na principu propojeného modelování soustav mnoha poddajných těles (flexible Multi Body Systém, MBS) [Zatarain, M., Lejardi, E., Egana, F.: Modular Synthesis of Machine Tools. Annals of CIRP 47/1/1998, pp. 333-336]; [Siedl, D.: Flexible Mehrkörpersimulation im Entwicklungsprozess von Werkzeugmaschinen. Seminarberichete (2007) 88: Mechatronik – Vorsprung durch Simulation, iwb, TU München, 2007]; [Maj, R., Bianchi, G.: Mechatronic analysis of machine tools. 9th SAMTECH Users Conference 2005, 2 – 3 February 2005, Paris, France]
- Propojené modely řízení a mechanické stavby stroje jsou rozšiřovány o modely pasivních odporů a modely řezného procesu, umožňující simulovat interakci nástroje s obrobkem. Cílem je získat modely pro predikci stability obrábění a návrh optimálních řezných podmínek [Brecher, C., Esser, M., Witt, S.: Interaction of manufacturing process and machine tool. Annals of CIRP Vol. 58, 2009, pp. 588 – 607].
- Vyvíjeny jsou modely pro realistickou simulaci úběru materiálu a vizualizaci topografie obrobeného povrchu v simulacích 3-osého i 5-osého obrábění [Müller, H. et al.: Online sculpting and visualization of multi-dexel volumes. Symposium on Solid Modeling and Applications, 2003, pp. 258-261], [Lavernhe, S., Quinsat, Y., Lartigue, C.: Model for the prediction of 3D surface topography in 5-axis milling. International Journal of Advanced Manufacturing Technology (2010), pp. 915–924].

Současný způsob řešení problematiky v ČR

- Téma virtuálního obrábění je významně rozvíjeno v rámci WP1 projektu CK SVT řešeného ČVUT v Praze společně s oborovými firmami.

Cíle a praktické výstupy pro obor/průmysl

- Hlavní přínosy a praktické výstupy uplatnění virtuálního modelu stroje a obrábění spočívají v možnosti simulačního posouzení kvality, přesnosti a času obrábění konkrétního dílce pro konkrétní stroj. Je možno očekávat významné časové a finanční úspory, pokud se odladění nastavení řízení stroje pro obrábění provede pomocí virtuálního modelu. Předejde se složitému iterativnímu postupu seřizování a hledání optimálních technologických a řídicích parametrů na reálném stroji.
- Virtuální model stroje umožňuje účinně identifikovat zdroje neuspokojivé kvality výsledků obrábění a virtuálně testovat vliv parametrů řízení stroje a jeho mechanické stavby.

- Pomocí propojených modelů řízení, mechanické stavby pohonů a nosné struktury stroje je možno účinně analyzovat dynamické vlastnosti řízení pohonů a predikovat dosažitelné parametry nastavení regulátorů řízení.
- Virtuální model stroje umožní relevatně testovat alternativní způsoby řízení pohonů a optimalizace dráhového řízení.
- Virtuální model stroje a obrábění se zahrnutím verifikovaného modelu stability řezného procesu umožní aplikace pro optimalizaci dráhového řízení a řezných podmínek pro maximalizaci úběru materiálu, zkracování času obrábění, zvýšení jakosti a přesnosti obrobení, nebo zvýšení životnosti nástroje a ladit technologii obrábění.
- S využitím virtuálního modelu je možno provádět simulace spotřeby energie pohonů pohybových os stroje a posuzovat energetickou náročnost různých strategií obrábění.
- Aplikace virtuálního modelu stroje umožní kvalitativně zvýšit efektivitu a účinnost úloh optimalizací nosné struktury stroje, neboť cílová kritéria optimalizace budou moci být odvozena od přímých požadavků na přesnost stroje a jeho dynamické chování při obrábění.
- Prostřednictvím virtuálního modelu stroje, jako volitelného doplňku při koupi stroje, může výrobce strojů nabízet pokročilou zákaznickou podporu v přípravě a optimalizaci technologií obrábění. Simluace virtuálního obrábění se mohou stát účinným podpůrným nástrojem technické podpory obchodu pro nabídky vhodných typů strojů podle požadavků zákazníků.
- Popis chování strojů a jejich uzlů lze získat buď matematickým modelováním (viz T31) nebo pokročíly identifikačními metodami nad experimentálně získanými daty.

Vlastní odborné zhodnocení přínosu tématu pro obor a průmysl v ČR

- Virtuální modelování strojů a obrábění je tématem s velmi širokým záběrem spektra výzkumu a vývoje v oblastech pokročilého matematického modelování chování strojů a řízení, řezného procesu a programování. Svojí komplexní povahou je možno jej považovat za zastřešení a završení aktivit mnoha specializovaných odborných skupin. Vlastní vývoj v této oblasti v ČR je prestižní záležitostí, jejíž přínos může spočívat nejen v původnosti získaných výsledků, ale i schopnosti udržovat úzkou spolupráci a komunikaci mnoha odborných skupin výzkumných institucí, výrobců i uživatelů strojů.
- Aktivity na poli virtuálního modelování se na půdě ČVUT FS, Ú12135 a VCSVTT zaměřovaly doposud především na vývoj funkčnosti systému pro analýzy dynamických vlastností pohonů a řízení, poddajné nosné struktury stroje a virtuální kontrolu výsledků obrábění v parametrech kvality, přesnosti a času obrábění s důrazem na věrohodnou vizualizaci obrobeného povrchu. Uvedené zaměření je motivováno praktickými otázkami jak vývoje mechanické stavby pohonů a nosné struktury stroje, tak ladění nastavení CNC řízení a řízení pohonů strojů pro obrábění konkrétních dílců. Virtuální model stroje s popisem důležitých vazeb mezi řízením a mechanickou stavbou stroje je unikátním konceptem.
- Značného pokroku bylo na půdě ČVUT FS, Ú12135 a VCSVTT dosaženo v oblasti pokročilého matematického modelování nosných struktur a pohonů. Výsledkem vývoje, který plně odpovídá nejaktuálnějšímu stavu na předních zahraničních pracovištích, jsou modely pro časově velmi efektivní simulace dynamického chování stavby stroje.
- Vyvíjena je metodika pro rychlou vizualizaci úběru materiálu a výsledného obrobeného povrchu s možností vyhodnocení odchylek od žádaného modelu. Tento nástroj umožní efektivně hodnotit výsledky virtuálního obrábění se zahrnutím projevů kompletní dynamiky interpolátoru CNC řízení, řízení pohonů a mechanické stavby stroje.

Způsob dosažení cílů

- Vývoj pokročilých matematických metod a postupů pro časově efektivní simulace soustav více poddajných těles a aplikace uvedených postupů na modelový popis soustavy nástroj – vřeteno – rám stroje – pohony – řízení pohonů.
- Vývoj zpřesněných modelových náhrad komponent stavby stroje s popisem strukturálního a teplotního chování – např. lineární vedení (valivá, hydrostatická).
- Implementace a aplikace modelových popisů tlumení a teplotních deformací stavby mechanické struktury stoje.
- Vývoj postupů pro propojené hybridní modelování dynamických vlastností nosné struktury stroje a nástroje (kombinace experimentálního popisu dynamiky nosné struktury a modelu nástroje pomocí MKP).
- Vývoj postupů pro experimentální popis dynamických vlastností nosné struktury stroje pro implementaci do virtuálního modelu stroje v případech, kdy není k dispozici model MKP stroje.
- Vývoj postupů propojení skutečných CNC řídicích systémů (virtuální jádro řídicího systému Siemens 840D – VNCK, resp. Heidenhain iTNC530 – VirtualTNC) s propojeným modelem pohonů a mechanické stavby stroje.
- Vývoj zpřesněného modelu řezných sil pro soustružení a frézování.
- Vývoj matematického modelu pro časové simluace průběhu řezných sil při obrábění.
- Vývoj SW nástroje pro 3D vizualizaci obrobeného povrchu, efektivní vyhodnocování dynamických a celkových chyb obrábění a kontrolu kolizních stavů
- Celkem cca 5 – 6 výzkumných pracovníků a 1 – 2 ze spolupracujících podniků.

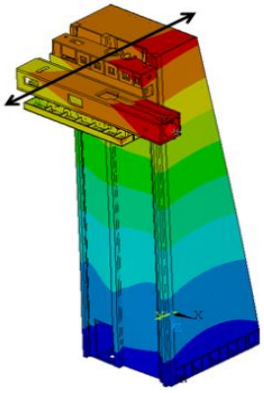
Doporučený řešitel

- VCSVTT; ústavy zabývající se mechanikou, mechatronikou a řízením (např. ČVUT FS - Ú 12 105, UTIA AVČR); matematické ústavy (např. ČVUT FS - Ú 12 101, UK MFF, MU AVČR); výrobci strojů (Tajmac – ZPS, Strojírna TYC, Kovosvit MAS, TOS Kuřim a další); výrobci CNC řídicích systémů; firmy zabývající se vývojem software.

2.3.2. (T31) Modely mechanické stavby OS pro virtuální model stroje a optimalizační úlohy

Navrhovatel

- Ing. Matěj Sulitka, Ph.D. a kol. (ČVUT v Praze)



Vazba tématu na SVA

- (U: 55)
- Simulace mechanické stavby zahrnující základ stroje, uložení, skelet a strukturálně významné skupiny s cílem získávat informaci o statické tuhosti, modálních vlastnostech, teplotně- mechanickém chování stroje a energetické spotřebě. (B-Optimalizace při vývoji strojů - 2)

Komentář k aktualizaci

- Téma bylo kompletně přepracováno, aby odráželo vazbu na T29 a T32.

Stručný popis stavu problematiky ve světě

- K vyšetření strukturálních (statických, dynamických, teplotně-mechanických) vlastností mechanických struktur jsou běžně používány postupy využívající metody MKP. Základním cílem výpočtů ve fázi podpory vývoje konstrukce nosné struktury stroje je stanovení deformací v místě nástroje při zatížení řeznou silou, vlastních frekvencí kmitání a teplnotních deformací. Model stroje je zpravidla vytvořen v konfiguraci s největší statickou a dynamickou poddajností [Zaeh, M., Siedl, D.: A New Method for Simulation of Machining Performance by Integrating Finite Element and Multi-body Simulation for Machine Tools. Annals of the CIRP Vol. 56/1, 2007].
- Rozšířeno je v oblasti konstrukce OS využití metod topologické a parametrické optimalizace (OptiSlang, Optistruct, TOSCA). Hledány jsou způsoby formulací pokročilých optimalizačních úloh pro mechanické systémy tvořené pohyblivými skupinami na základě využití metody modelů více těles (MKS) [Kipfmüller, M.: Aufwandsoptimierte Simulation von Werkzeugmaschinen. Disertační práce, wbk, Karsruhe, 2009], [Fleischer, J., Broos, A.: Parameteroptimierung bei Werkzeugmaschinen – Anwendungsmöglichkeiten und Potentiale. Weimarer Optimierungs- und Stochastiktage, 2004]
- Teplotně-mechanické modely OS, založené na metodě MKP, jsou vhodným nástrojem pro optimalizaci mechanické stavby OS z hlediska její teplotní deformace. Klíčový problém MKP modelů však spočívá ve stanovení okamžitých místních součinitelů přestupu tepla (SPT) na povrchu stroje a okamžité velikosti tepelných zdrojů na stroji, které jsou často nelineární, časově proměnné [Uriarte, Zatarain: Thermal Modal Analysis and its Application to Thermal Deformations of Machine Tools. 58th CIRP General Assembly, 2008]. Dalším přínosem MKP modelů je, že mohou sloužit jako vodítko pro stanovení potřebného počtu teplotních čidel a jejich nejvhodnějších pozic pro kompenzační modely teplotních chyb OS. Touto speciální oblastí, která je zatím v počáteční fázi, se mimo jiné zabývá teplotní modální analýza (TMA) [Yang: Thermal error mode analysis and robust modeling for error compensation on a CNC turning center. International Journal of Machine Tools & Manufacture vol. 39, 1999].

Současný způsob řešení problematiky v ČR

- Téma správné přípravy modelů strojů je významně rozvíjeno v rámci WP1 projektu CK SVT řešeného ČVUT v Praze společně s oborovými firmami.

Cíle a praktické výstupy pro obor/průmysl

- Pokročilé metody parametrického modelování nosných struktur stroje jako soustavy mnoha poddajných těles umožní výrazně zrychlit řešení optimalizačních úloh a současně zvýšit jejich efektivitu. Pomocí parametrických propojených modelů bude možno rychle posuzovat výsledné vlastnosti nosné struktury při parametrické změně, nebo záměně jednotlivých nosných dílců, typů uložení pohybových os (lineární valivé, hydrostatické apod.), případně typu a velikosti rozhraní (svařované spoje, šroubové spoje apod.).
- Parametrické propojené modely umožní rychlé zohlednění různých kinematických konfigurací (vzájemné polohy jednotlivých pohybových stkupin) nosné struktury stroje v optimalizačních úlohách.
- Uvedené modely umožní realizovat vizi modulární optimalizace nosných struktur s využitím databáze komponent a dílců a vývoje systému pro rychlý výběr nejvhodnějšího uspořádání struktury stroje pro definovanou velikost obrobku, přesnost a dynamiku stroje.
- Výzkum a verifikace teplotně-mechanických MKP modelů strojů umožní jejich relevantní použití pro optimalizaci mechanické struktury z hlediska teplotních deformací a umístění teplotních čidel, které slouží jako vstupy do kompenzačních algoritmů teplotních chyb stroje.
- Vlastnosti vyvíjených výpočetních modelů, na jejichž základě budou realizovány optimalizační úlohy, budou ověřovány na příkladech skutečných strojů z praxe.

Vlastní odborné zhodnocení přínosu tématu pro obor a průmysl v ČR

- Postupy efektivní tvorby velkých propojených modelů MKP struktur OS zvýší potenciál pro rychlejší a účinnější návrh strukturálně optimalizovaných skupin a dílců stavby OS. Nové postupy umožní účinné posouzení vlastností vybraných dílců ve vazbě celou strukturu stroje a současně rychlé hodnocení různých kinematických konfigurací skupin pohybových os.
- Vývoj a verifikace teplotně-mechanických modelů MKP strojů přispěje jak k možnosti jejich aplikace pro optimalizace nosných struktur z hlediska teplotních deformací, tak uplatnění modelů MKP pro vývoj a ladění modelů teplotně mechanických přenosových funkcí pro kompenzace teplotních deformací.

Způsob dosažení cílů

- Vývoj vhodných metod pro propojené modelování soustav více poddajných těles s aplikací na nosné struktury OS
- Vývoj matematických postupů pro parametrický popis propojených modelů nosné struktury stroje a časově efektivní simulace
- Vývoj matematických postupů pro parametrické morfování sítí MKP
- Aplikace pokročilých optimalizačních metod
- Zpřesňování teplotně-mechanických MKP modelů strojů, identifikace okrajových podmínek do těchto modelů, detailní studium prací zabývající se teplotně-mechanickými analýzami.
- Celkem cca 4 – 5 výzkumných pracovníků a 1 – 2 ze spolupracujících podniků.

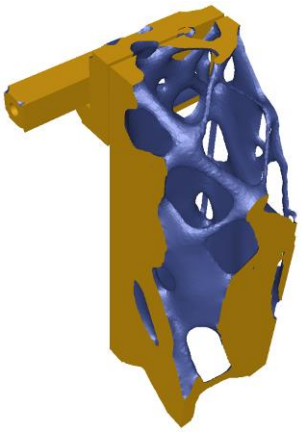
Doporučený řešitel

- VCSVTT; matematické ústavy (např. ČVUT FS - Ú 12 101, UK MFF, MU AVČR); výrobci strojů (TOS Varnsdorf, Tajmac – ZPS, Strojírna TYC, TOS Kuřim, Kovosvit MAS, TOSHULIN a další)

2.3.3. (T32) Moderní výpočtové a návrhové postupy nosných struktur a pohonů

Navrhovatel

- Jaroslav Šindler a kol. (ČVUT v Praze)



Vazba tématu na SVA

- (U: 54, 57)
- Využití moderních optimalizačních nástrojů, technik a postupů. Rozšířené využití topologických, parametrických a stochastických metod u virtuálních modelů strojů a komponentů. (B-Optimalizace při vývoji strojů-2)
- Zvyšování statické a dynamické tuhosti (skelet, vřeteno, pohony). (B-Optimalizace při vývoji strojů-2)

Komentář k aktualizaci

- Téma bylo doplněno o popis analytických výpočtových algoritmů pro vícekriteriální optimalizaci.

Stručný popis stavu problematiky ve světě

- Matematické metody – konečných prvků (MKP) a objemů – našly široké uplatnění v technických oborech. Ve strojírenství je již běžné používat MKP při návrhu nosných struktur strojů: kontrola statické tuhosti, napěťové, teplotní, modální, aj. analýzy. Stále však přetrvává využívání metod hodnotících pouze úzké spektrum sledovaných parametrů (dosažitelná tuhost, vlastní frekvence, aj.). Provázání více parametrů a jejich současná klasifikace přináší velké možnosti z hlediska hledání globálního optima dané úlohy. Problematikou se ve světě začíná zabývat řada výzkumných ústavů a univerzit [Machining Centers for Heigh Speed Machining: a New Design Approach; G. Tani; University of Florence, Italy], [Recent advances in engineering design optimisation: Challenges and future trends; R. Roy; CIRP Annals 2008].
- Další oblastí je využívání vysokého výpočetního výkonu ve spojení s databázovými softwary. Je tak možno porovnat mnoho variant (např. nosné struktury stroje) a v součinnosti hodnotit více optimalizačních parametrů (např. tuhost, modální vlastnosti, hmotnost). Výsledkem jsou mnohorozměrné prostory variant, ze kterých je dle metod pareto-optimální analýzy vybíráno nejlepší konstrukční řešení. [Synergický vývoj obráběcích strojů; MPO projekt; MAS Kovosvit, TOS Varnsdorf, VCSVTT], [Next Generation Production Systems; FP6 integrated project].
- Pro posouzení relevance výsledků poskytnutých matematickými modely je třeba zvážit i statistický charakter vstupních parametrů, jako jsou např. materiálové vlastnosti a geometrické parametry. Dále, v některých případech je pro stanovení vlastností komponent skládajících se z přesných částí (např. ložiska, kuličkové šrouby, apod.) uvážit střední odchylky vnitřních výrobních rozměrů. Tyto odchylky pak výrazně ovlivňují kromě přesnosti chodu i výsledné mechanické vlastnosti jako je tuhost a únosnost komponent. Relevantní stochastické přístupy k modelování jsou založeny na vyhodnocení mnoha parciálních výpočtů provedených pro různé kombinace vstupních parametrů. V současnosti se jedná především o metodu SBRA, při posouzení spolehlivosti konstrukcí. [Probabilistic Assessment of Structures using Monte Carlo Simulation, Marek a kol. 2003]. Statistický charakter vstupů do MKP modelů není v současné době MKP řešiči podporován, pro vyhodnocení statistických vstupů do modelů je nutné model zjednodušit, tak aby bylo možné provést velké množství simulací.

Současný způsob řešení problematiky v ČR

- Téma optimalizací struktur i pohonů při návrhu strojů je významně rozvíjeno v rámci WP3 projektu CK SVT řešeného ČVUT v Praze společně s oborovými firmami.

Cíle a praktické výstupy pro obor/průmysl

- Hodnocení navrhované konstrukce by mělo vycházet z více úhlů pohledu – statické a dynamické vlastnosti, výrobní náročnost, rozměry, cena, aj. To vede na využívání vícekriteriálních matematických úloh. Současné výpočetní výkony i software jsou omezeně schopny takové úlohy řešit. Problém však představuje přesná specifikace cílové funkce a proměnných parametrů. Cílem je navrhnout výpočtové algoritmy pro fázi vývoje a optimalizaci konstrukce výrobních strojů. Výstupem budou matematické modely částí, popř. celých strojů, které budou splňovat požadavky dle kritérií (např. tuhost, hmotnost, rozměry, cena, aj.).
- Vývoj a implementace analytických výpočtových algoritmů, které umožní efektivní více-kriteriální optimalizaci.
- Výrobní stroj je tvořen velkým množstvím dodávaných komponent, které je možno vybírat od více výrobců v několika řadách. Pro návrhové výpočty je nutné znát mechanické, geometrické a cenové parametry takových komponent. Cílem je vytvořit databáze komponent s jejich vlastnostmi a přímo je napojit na výpočtové programy. Výstupem tak bude provázaný soubor výpočtových a databázových celků, pomocí nichž bude možno simulovat vlastnosti strojů s ohledem na diskrétní pole jejich komponent.
- Cílem využití stochastických metod při návrhu a optimalizaci výrobních strojů je posouzení relevance výsledků výpočetních modelů s ohledem na nejistotu vstupních parametrů a určit potenciální rizika plynoucí z těchto nejistot. Dále, postupně zavádět MKP výpočty se vstupy ve formě statistických rozložení (výstupem bude opět statistické rozložení počítané veličiny). Analytické výpočtové algoritmy umožní zadávat vstupy jako statistiké rozložení. Bude tedy možné simulovat efektivně vliv těchto vstupů na plném MKP modelu. Případně lze provádět simulace na zjednodušených modelech.

Vlastní odborné zhodnocení přínosu tématu pro obor a průmysl v ČR

- Konstrukční a výpočtové programy tvoří dnes součást většiny firem zabývajících se vlastním návrhem a konstrukcí strojů. Přinesly vyšší míru flexibility a převzaly značný poddíl rutinních výpočetních úkonů. Tento trend zcela jistě pokračuje. Je nutné dále rozvíjet takové postupy a algoritmy, které dovolí zmapovat větší oblast možných řešení v krátkém čase (řádově dny) a nabídnou pouze optimální obálku konečných variant.

Způsob dosažení cílů

- Aplikace matematických metod (pareto-optimalizace, parametrické výpočty, stochastické metody, analytické metody) se standardně používanými výpočtovými postupy (MKP analýza, topologická optimalizace)
- Vazba na konkrétní problémy dané strojírenské firmy – soubor hodnotících (optimalizačních) kritérií k danému výrobku (cena, mechanické parametry, aj.) a soubor návrhových a omezujících parametrů (geometrické vazby a jejich limity, databáze komponent, aj.)
- Analýza materiálových, geometrických a dalších nejistot v matematických modelech strojů. Kvantifikace vlivu nejistot na sledované vlastnosti modelu.

Doporučený řešitel

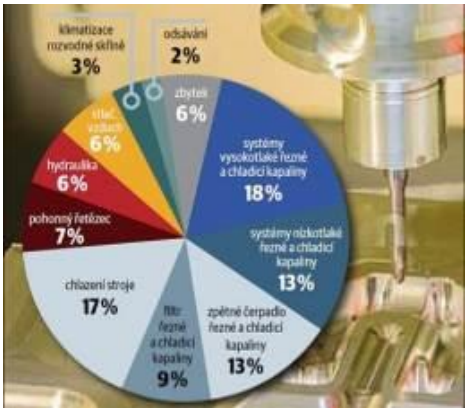
- VCSVTT; ústavy zabývající se mechanikou, mechatronikou a řízením (např. ČVUT FS - Ú 12 105, UTIA AVČR); matematické ústavy (např. ČVUT FS - Ú 12 101, UK MFF, MU AVČR); výrobci strojů (obecně); výrobci komponent a univerzálních konstrukčních celků

2.4. Ecodesign

2.4.1. (T33) Snižování energetické náročnosti obráběcích strojů

Navrhovatel

- Ing. Tomáš Holkup, Ph.D., Ing. Jiří Vyroubal, Ph.D. a kol. (ČVUT v Praze)



Vazba tématu na SVA

- (U: 49 - 54)
- Snižování energetické náročnosti obráběcích strojů, pohonů i ostatních systémů stroje, využívání moderních elektronických prvků - rychlé výkonové tranzistory s min. tepel. ztrátami, snižování akustických emisí stroje, snižování znečištění okolí průsaky, odpařováním a exhalacemi. (B-Ecodesign strojů-1)
- Monitorování zátěžných spekter pohonů a periférií s cílem poskytnutí relevantních dat pro jejich dimenzování. Cílem je optimální návrh pohonu z hlediska instalovaných příkonů. (B-Ecodesign strojů-1)

Komentář k aktualizaci

- Přepracován popis stavu problematiky ve světě i v ČR. Doplněny úkoly dle poznatků získaných předchozími pracemi.

Stručný popis stavu problematiky ve světě

- Význam energetické efektivity výrobních strojů roste. Na světových výstavách v čele s EMO Hannover 2013 byla zřejmá snaha výrobců nabídnout zákazníkovi nejen stroj s potřebnými užitnými vlastnostmi, ale i stroj pracující energeticky úsporně. Je také patrná vyšší informovanost zákazníků a do obecného povědomí se dostává čím dál více informací o řešeních, která zajišťují stejné užitné vlastnosti při snížené spotřebě energie.
- Se spotřebou elektrické energie během provozu stroje je velmi přímo spjat i jeho vliv na životní prostředí. Proto, bavíme-li se o „ekodesignu“ strojů, jedná se zejména o jejich energetickou efektivitu při jejich provozu. Problematika „ecodesignu“ obráběcích strojů je také ostře sledována evropskou komisí, která připravuje pravidla (v návaznosti na směrnici 2009/125/EC) s cílem kontinuelně snižovat energetickou náročnost strojů.
- Standardním parametrem stroje je jeho katalogový instalovaný příkon uváděný v [kVA] (zdánlivý výkon), podle kterého se i dimenzují jističe a přívodní kabely, a který má vliv na výši plateb za elektrickou energii. Instalovaný výkon je však stále velmi vzdálen střednímu příkonu, tedy aritmetického průměru za delší pracovní čas. Ten zohledňuje nejen nominální pracovní výkon / příkon komponent stroje, ale i jeho rozložení v čase. Teprve ze středních výkonů plyne význam jednotlivých spotřebičů a jejich priorita při energetické optimalizaci.
- Lze předpokládat, že intenzivní řešení snižování energetické náročnosti obráběcích strojů bude mít zásadní kladný dopad na životní prostředí. Vždy pro přesné konkrétní určení významu spotřeby el. energie na negativních projevech konkrétního stroje vůči životnímu prostředí však

bude nezbytné provádět environmentální LCA analýzu. Obecně však lze předpokládat že řešení ostatních témat, jako jsou výpary do ovzduší, průsaky, hlučnost, atd. se jeví vzhledem ke spotřebě el. energie jako méně významné. Tyto otázky, stejně jako ekologické dopady užitých nekonvenčních materiálů mohou zodpovědět až další konkrétní LCA analýzy.

- Přesnější určení podílů jednotlivých spotřebičů stroje při různých provozních režimech stroje je předmětem dalších prací a analýz. Pro pochopení skutečných vazeb mezi stavbou stroje, užitými komponenty, aplikovanými technologiemi a jeho užíváním a energetickou náročností je třeba provést řadu vlastních měření a experimentů, které vytvoří vlastní odborné know-how na kterém lze stavět další směřování vývoje a výzkumu v této oblasti.
- Od roku 2010 je téma v ČR řešeno v rámci několika vývojových projektů spojujících více výrobců OS. Na základě výsledků bylo publikováno několik článků a studií na téma energetické efektivity a možností k jejímu zvyšování.
- [Detlef Hagemann, VDW - Energieeffizienz zwischen Markt und Gesetz, Symposium - Die energieeffiziente Werkzeugmaschine, METAV Düsseldorf, 24. Februar 2010]
- [Dietmair, A.: Energy Consumption Forecasting and Optimisation for Tool Machines, MATAR 2008, PRAGUE]
- [RAJEMI, M.F.: Energy and Carbon Footprint Analysis for Machining Titanium Ti-6Al-4V Alloy, CIRP workshop in Karpacz 2009]
- [TS B 0024-1:2010, Machine tools-Test methods for electric power consumption-Part 1: Machining centres, Japanese standard, 2010]
- [ISO/CD 14955-1, Environmental Evaluation of Machine Tools, International Organization for Standardization, Standard under development.]
- [CECIMO, 2009, Concept Description for CECIMO's Self-regulatory Initiative (SRI) for the Sector Specific Implementation of the Directive 2005/32/EC. Online: http://www.ecodesign-info.eu/document-tations/Machi- ne_tools_VA_20Oct09.pdf]
- [Schichke K., Energy-Using Product Group Analysis, Lot 5: Machine tools and related mchinery, Fraunhofer IZM, 2011, dostupný na http://www.ecomachinetools.eu]

Současný způsob řešení problematiky v ČR

- Téma snižování energetické náročnosti bylo řešeno v rámci projektu MPO Ecodesign řešeného ČVUT v Praze a firmami TOS Varnsdorf, TOS Kuřim, Kovosvit MAS a Tajmac-ZPS. V současné době je téma významně rozvíjeno v rámci WP5 projektu CK SVT řešeného ČVUT v Praze společně s oborovými firmami.

Cíle a praktické výstupy pro obor/průmysl

- Získání statisticky relevantních údajů o energetické spotřebě OS za provozu, identifikace podílů spotřeby, určení klíčových jednotek a procesů, u nichž lze sníženou spotřebu elektrické energie nejvýznamněji pomoci (citlivostní analýza). Analýza reálných podílů produktivních a neproduktivních časů stroje a případných úspor v těchto časech s ohledem na celkovou dlouhodobou energetickou náročnost stroje.
- Získání znalostí a realizace ověřených postupů měření a správného vyhodnocení získaných dat. Vytvoření postupů pro dlouhodobé sledování aplikovaných energetických úspor v praxi
- Navržení a realizace nových technických řešení na snížení energ. spotřeby a ekologických dopadů provozu stroje (energy management, modifikace el. projektů, úsporné agregáty a periferie, optimalizované rozběhy pohonů, optimalizovaný samotný technologický proces), implementace navržených technologií v průmyslu pro návrh optimalizovaných hospodárných strojů.

- Vytvoření ověřených simulačních modelů pro predikci spotřeby elektrické energie OS (nad portfoliem strojů spolupříjemců). Využití simulačních modelů pro optimální návrhy strojů a jejich periférií vzhledem k plánovaným užitným vlastnostem a spotřebě energie.
- Odpovědné zastupování zájmů, podložené technickými argumenty v oblasti Ecodesignu, na evropské úrovni v CECIMO a EC.
- Analýza požadavků na OS s ohledem na energetické a ekologické aspekty na trzích Evropy, USA a Asie. Návrhy opatření a inovací na strojích pro zajištění udržení a vylepšení pozice na trhu.
- Navržení metodiky energetického auditu obráběcích strojů nad portfoliem strojů produkovaných v ČR s možností jejího zobecnění, ověřování metodiky u výrobců OS i u koncových zákazníků, implementace navržené metodiky v průmyslu.

Vlastní odborné zhodnocení přínosu tématu pro obor a průmysl v ČR

- Je nezbytné se v tématu energetické spotřeby zorientovat na základě vlastních měření a vlastního výzkumu. Pokud budou vznikat vlastní původní výsledky a argumenty, pak bude obor schopen adekvátně reagovat na požadavky zákazníků a na nové legislativní požadavky.
- Konkrétní technické řešení tématu umožní získat nejen marketingový náskok před konkurencí, ale přispěje také skutečně k naplňování koncepce trvalé udržitelnosti, která je předpokladem další existence.

Způsob dosažení cílů

- Návrh měřicích technologií, instalace na strojích, měření, statistické zpracování, stanovení histogramů energetické spotřeby, analýza
- Návrh technických cest k řešení modifikací PLC programů (energy management) a úprav elektroprojektů s cílem snížení energetické náročnosti zařízení
- Návrh úsporných agregátů a periferních zařízení
- Analýza energetických aspektů řezného procesu
- Návrh a verifikace simulačních modelů pro predikci spotřeby el. energie strojem při dlouhodobém provozu
- Vlastní LCA analýzy na strojích z české produkce s cílem kvantifikovat skutečně významné oblasti dopadů na životní prostředí
- Příprava technických podkladů a stanovisek ČR vůči CECIMO v oblasti Ecodesignu
- Analýza požadavků na OS s ohledem na energetické a ekologické aspekty na trzích Evropy, USA a Asie
- Návrh metodiky provádění energetického auditu obráběcích strojů nad portfoliem strojů spolupříjemců.
- Definování strategických postupů pro postupné uvolňování inovací a úsporných opatření a tím udržování dobrého postavení vůči konkurenci.
- Celkem cca 3-4 pracovníci v oblasti výzkumu (pro simulace a měření) + lidé ze spolupracujících podniků pro realizaci měření na strojích a vývoj a výzkum uplatnitelných řešení pro snižování energet. spotřeby na jejich strojích a vázané LCA analýzy.

Doporučený řešitel

- VCSVTT; ústavy zabývající se mechanikou, mechatronikou a řízením (např. ČVUT FS - Ú 12105, UTIA AVČR); ekonomické ústavy (např. ČVUT FS - Ú 12138; VŠE FM); výrobci strojů (obecně); výrobci CNC řídicích systémů; výrobci nekonvenčních materiálů a výrobci kompozitních dílů (např. CompoTech Plus, LA Composite); uživatelé výrobních strojů (obecně)

2.4.2. (T34) Ecodesign – další environmentální aspekty výroby, provozu a likvidace obráběcích strojů

Navrhovatel

- Ing. Tomáš Holkup, Ph.D., Ing. Jiří Vyroubal, Ph.D. a kol. (ČVUT v Praze)

Vazba tématu na SVA

- (U: 50, 53)
- Snižování potřeby užitého množství materiálů na strojích a řešení otázky ekologické likvidace obráběcích strojů. (B–Ecodesign strojů-1)
- Využívání obecně ekologických postupů při výrobě OS, volbě užitých materiálů a volbě komponent. Zjednodušení likvidace nebo recyklace OS a jejich komponent. (B–Ecodesign strojů-1)

Komentář k aktualizaci

- Předmětem tématu T33 jsou environmentální dopady spojené se spotřebou energie strojů ve fázi jejich využívání. Toto téma je jeho doplňkem k celkovým environmentálním dopadům, včetně dopadů fází výroby a likvidace stroje a i jiné než se spotřebou energie spojené dopady ve fázi využití. Aktualizováno dle současného stavu informací.

Stručný popis stavu problematiky ve světě

- Dlouhodobým cílem Evropské unie je snižování zátěže životního prostředí a trvale udržitelný rozvoj. Pro eko-design energetických spotřebičů byla za tímto účelem přijata směrnice 2005/32/EC.
- Standardní analýzou dopadu na životní prostředí je tvz. LCA analýza (Life Cycle Assesment), která posuzuje všechny fáze života stroje, od těžby a dopravy surovin pro výrobu jednotlivých komponent, sestavení stroje, transport k zákazníkovi, vlastní užití stroje až po demontáž stroje a recyklaci jeho komponent. Řada LCA analýz byla provedena v rámci sdružení CECIMO pro vybrané typy soustružnických a frézovacích strojích. Z provedených analýz vyplynulo, že z hlediska produkce škodlivých efektů je nejdůležitější fáze užití stroje, ve které dominuje faktor spotřebované energie.
- Otázka recyklace komponent OS z tradičních materiálů byla okrajově řešena např. v projektu Ecofit ve formě vyhodnocení LCA analýzy recyklace ocelových a litinových komponent. Samotná problematika recyklace OS není příliš zkoumaná, a to zejména z důvodu, že tradiční OS jsou rozebíratelné na jednotlivé komponenty, které jsou tvořené z homogenních struktur materiálu (ocel, litina, kabeláž) se snadnou recyklovatelností. Zároveň je třeba poznamenat, že řada komponent OS, zejména nosné dílce, mají prakticky neomezenou životnost, a je možné je využívat i po repasování stroje, při kterém dochází k výměně morálně a funkčně zastaralých komponent (např. pohonů, vedení, systémů řízení stroje apod.) [Ecofit].
- Nezanedbatelné jsou dále environmentální dopady spotřebního materiálu během používání strojů: náplně maziva, emulze, hydraulického oleje, spotřební a náhradní díly.

Současný způsob řešení problematiky v ČR

- Téma snižování energetické náročnosti bylo řešeno v rámci projektu MPO Ecodesign řešeného ČVUT v Praze a firmami TOS Varnsdorf, TOS Kuřim, Kovosvit MAS a Tajmac-ZPS. V současné době je téma významně rozvíjeno v rámci WP5 projektu CK SVT řešeného ČVUT v Praze společně s oborovými firmami.

Cíle a praktické výstupy pro obor/průmysl

- Cílem je mít znalosti a schopnosti pro provádění LCA analýz při návrhu strojů tak, aby stroje vyhověly budoucím legislativním požadavkům EU na eko-design. Výrobní stroje jsou tvořeny řadou komponent se zcela odlišnými surovinovými a energetickými potřebami pro výrobu, dopravu, montáž do stroje, provoz, finální demontáž a recyklaci. Komplexní LCA analýza vyžaduje velké množství informací o komponentách, tyto informace by bylo vhodné soustředit do databází pro jejich efektivní použití.
- Vývoj nových koncepcí OS s nižším množstvím užitého materiálu. Cílem je důsledně aplikovat pokročilé výpočtové modely a optimalizace ve fázi návrhu OS pro dosažení efektivního přenosu zatížení, což umožní snížení nutného množství materiálu při zachování tuhosti. Uplatnění lehčích nekonvenčních materiálu na nosné struktury pro snížení hmoty. Vývoj nových mechatronických systémů, které umožní kompenzovat nižší statickou a dynamickou tuhost způsobenou nižším množstvím materiálu.
- Návrh vhodných postupů recyklace nebo likvidace konvenčních a nekonvenčních komponent OS. Cílem je být připraven na nutnost zaručovat velký podíl recyklovatelných složek v sestavě OS. Problematické může být užití nekonvenčních materiálů, zvláště pak hybridních struktur. Nekonvenční materiály typu polymerbeton mají dobrou recyklovatelnost (rozemletí a použití jako výztuží). Problémem může být jejich oddělování od tradičních struktur, např. u tenkostěnných svařenců vyplněných pojivem pro zvýšení tlumení (polymerbeton, Al pěna). Problémem může být ekologicky šetrná recyklace vláknových kompozitů a lepených spojů nekonvenčních materiálových struktur.
- Při komplexním posouzení pomocí LCA bude vhodné i přísně lokalizovat jednotlivé dopady a například rozlišovat emise z komínů dodavatele el. energie od aerosolu vznikajícího při obrábění za přítomnosti řezné emulze přímo v blízkosti obsluhy. Karcinogenní vliv těchto aerosolů byl již dříve prokázán. Standardní LCA studie toto neumožňují, bude tak potřeba zvolit vlastní přístup.

Vlastní odborné zhodnocení přínosu tématu pro obor a průmysl v ČR

- Vzrůstající legislativní tlaky na udržení trvalého rozvoje se odráží v potřebě oboru výrobních strojů vyvíjet a vyrábět produkty ekologicky šetrné ve všech fázích svého života. Tyto otázky nelze přehlížet, a tudíž je nutné začít připravovat odborníky v ČR, kteří budou schopni efektivně hodnotit dopady navrhovaných strojů na životní prostředí. Zároveň je vhodné vyvíjet nová technická řešení, která umožní snižování ekologické zátěže ať už z hlediska nižšího potřebného množství materiálu na výrobu komponent OS, tak z hlediska jejich následné recyklace.

Způsob dosažení cílů

- Studium legislativy EU a samoregulačních iniciativ oboru. Zajištění dobré informovanosti českých výrobců OS a spolupráce při přípravě výroby na nadcházející legislativní kroky EU.
- Provádění LCA analýz pro výrobní stroje produkované průmyslem v ČR. Vznik ucelené metodiky umožňující efektivní provádění těchto analýz (vytvoření informačních databází).
- Vývoj propojených modelů spolupracujících s optimalizačními programy, které umožní snížení nutného množství nosného materiály.

- Studium recyklovatelnosti hybridních struktur kombinující tradiční materiály (ocel, litina) s nekonvenčními materiály (polymerbetony, kovové pěny, vláknové kompozity). Řešení problematiky ekologicky šetrného oddělování složek.
- Aplikace vyvíjených mechatronických systémů pro umělé zvyšování tuhosti.
- Řešitelské kapacity u výzkumných institucí: 0,5 úvazku pro studium legislativy, 1 úvazek pro LCA analýzy, 0,5 úvazku pro vývoj propojených modelů, 1 úvazek pro studium recyklovatelnosti hybridních struktur (vazba na T27).

Doporučený řešitel

- VCSVTT; ústavy zabývající se mechanikou, mechatronikou a řízením (např. ČVUT FS - Ú 12 105, UTIA AVČR); ekonomické ústavy (např. ČVUT FS - Ú 12 138; VŠE FM); chemicko-technologická výzkumná pracoviště (např. VŠCHT); výrobci strojů (obecně); výrobci komponent a univerzálních konstrukčních celků; uživatelé výrobních strojů (obecně)

2.4.3. (T103) Optimálně navržené a provozované periférie strojů

Navrhovatel

- Ing. Tomáš Holkup, Ph.D., Ing. Jiří Vyroubal, Ph.D. a kol. (ČVUT v Praze)

Vazba tématu na SVA

- (U: 49 - 54)
- Optimálně navržené periférie strojů (okruhy chlazení stroje, chlazení řez. procesu, hydrauliky, rozvody stlačeného vzduchu, apod.), vzhledem k dosažitelným řezným podmínkám, výkonům a reálným požadavkům procesu. (B–Ecodesign strojů-1)
- Snižování energetické náročnosti obráběcích strojů, pohonů i ostatních systémů stroje. (B–Ecodesign strojů-1)

Komentář k aktualizaci

- Téma je nově doplněné. Doplňuje téma T33, které se spotřebou energie obráběcích strojů zabývá jako celek. Protože periférie, jejich správný návrh a provoz, mají na spotřebu energie výrazný vliv a jejich změny lze provádět bez invazivního zásahu do stroje, je toto téma definováno nově jako samostatné.

Stručný popis stavu problematiky ve světě

- Instalovaný výkon strojů je obvykle velmi vzdálen střednímu příkonu, tedy aritmetického průměru za delší pracovní čas. Ten zohledňuje nejen nominální pracovní výkon / příkon komponent stroje, ale i jeho rozložení v čase. Teprve ze středních výkonů plyne význam jednotlivých spotřebičů a jejich priorita při energetické optimalizaci. Snadno se totiž může stát, že významnějším, než pohony všech lineárních os, se u malého frézovacího centra stane např. odsávání mlhy z pracovního prostoru, přestože má zlomkový instalovaný výkon. Pro korektní stanovení středních příkonů komponent strojů je nejlepší provést měření s vícekanálovým wattmetrem během typických pracovních režimů.
- V české ani světové literatuře neexistuje popis obecného postupu pro vyhledání oblastí s největším potenciálem pro úspory na úrovni jednoho stroje. Nejblíže k němu má níže uvedená vznikající norma ISO 14955. Zásadní jsou vždy konkrétní zkušenosti s konkrétním typem strojů a jeho komponenty a možnost provádět vícekanálová měření spotřeby energie.
- U servopohonů pohybových os nelze hledat velký potenciál pro úspory. Jejich spotřeba je přímo dána požadavkem na dynamiku a řezný proces a úspora by měla negativní vliv na užitné vlastnosti stroje. Nejzajímavější z pohledu potrnciálních úspor energie je většinou druhá skupina spotřebičů, kterou tvoří různorodé periférie strojů. Mezi ně patří i složitější celky, jako je výměna nástrojů či palet, typickým představitelem však jsou systémy hospodaření se stlačeným vzduchem a kapalinami. Ekvivalentem 1 l/min spotřebivaného stlačeného vzduchu z centrálních rozvodů o tlaku 6 bar je cca 30 W elektrického příkonu kompresoru.
- Pokud se podíváme na střední příkony periférií, tedy kombinaci instalovaných příkonů a reálného využití komponent, u většiny obráběcích strojů zjistíme, že nejjednodušší a nejefektivnější jsou úspory právě v oblastech: hospodaření se stlačených vzduchem;

hospodaření s řeznou emulzí; energeticky úsporné okruhy hydrauliky; vhodně zvolené a dimenzované chlazené stroje.

- [Environmental Product Declarations – Product category rules, Milling machines case study, 2012, available at http://www.environdec.com/en/detail/?epd=8174]
- [Joost R. Duflou, John W. Sutherland, David Dornfeld, Christoph Herrmann, Jack Jeswiet, Sami Kara, Michael Hauschild, Karel Kellens, Towards energy and resource efficient manufacturing: A processes and systems approach, CIRP Annals - Manufacturing Technology, Volume 61, Issue 2, 2012, Pages 587-609, ISSN 0007-8506]
- [ISO/CD 14955-1, Environmental Evaluation of Machine Tools, International Organization for Standardization, Standard under development.]
- [CECIMO, 2009, Concept Description for CECIMO's Self-regulatory Initiative (SRI) for the Sector Specific Implementation of the Directive 2005/32/EC. Online: http://www.ecodesign-info.eu/document-tations/Machi- ne_tools_VA_20Oct09.pdf.]
- [Schichke K., Energy-Using Product Group Analysis, Lot 5: Machine tools and related mchinery, Fraunhofer IZM, 2011, avaliable at http://www.ecomachinetools.eu]

Současný způsob řešení problematiky v ČR

- Téma návrhu a provozu periférií obríběcích strojů je v současné době významně rozvíjeno v rámci WP5 projektu CK SVT řešeného ČVUT v Praze společně s oborovými firmami.

Cíle a praktické výstupy pro obor/průmysl

- Zlepšení znalostí o správném dimenzování, výběru a provozu periférií OS.
- Známé energetické profily jednotlivých komponent (chlazení, čerpadla, hydraulika), transparentní spolupráce s výrobci komponent;
- Aparatura pro měření elektrických, pneumatických, hydraulických a tepelných výkonů využitelná pro optimální dimenzování a posouzení účinnosti periférií OS.
- Energetické mapy (rozdělení spotřeby energie mezi jednotlivé komponenty) základních typů strojů při základních pracovních režimech.
- Zlepšení povědomí o potřebném typu a intenzitě chlazení řez. procesu;

Vlastní odborné zhodnocení přínosu tématu pro obor a průmysl v ČR

- Je nezbytné se v tématu energetické spotřeby zorientovat na základě vlastních měření a vlastního výzkumu. Pokud budou vznikat vlastní původní výsledky a argumenty, pak bude obor schopen adekvátně reagovat na požadavky zákazníků a na nové legislativní požadavky.

Způsob dosažení cílů

- Výzkum správného dimenzování, výběru a provozu periférií OS.
- Stanovení energetických profilů jednotlivých komponent (chlazení, čerpadla, hydraulika), transparentní spolupráce s výrobci komponent;
- Stavba a využívání aparatury pro měření elektrických, pneumatických, hydraulických a tepelných výkonů využitelné pro optimální dimenzování a posouzení účinnosti periférií OS.
- Experimentální stanovení energetických map (rozdělení spotřeby energie mezi jednotlivé komponenty) základních typů strojů při základních pracovních režimech.
- Výzkum možností různých typů a intenzit chlazení řez. procesu;
- Stanovení ekonomické návratnosti úsporných opatření;

Doporučený řešitel

- VCSVTT; ekonomické ústavy (např. ČVUT FS - Ú 12138; VŠE FM); výrobci strojů (obecně); výrobci CNC řídicích systémů a komponent periferií strojů; uživatelé výrobních strojů (obecně)

2.5. Spolehlivost a bezpečnost

2.5.1. (T35) Bezpečnost, spolehlivost a kvalita strojních uzlů a komponent

Navrhovatel

- Ing. Petr Kolář, Ph.D. (ČVUT v Praze), Doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D. (VUT v Brně)

Vazba tématu na SVA

- (U: 61, 62, 63)
- VaV vysoce spolehlivých a přesných komponentů, jednotek a uzlů (kuličkové šrouby, vedení, ložiska, krytování, převodovky, atp.). Vývoj komponentů spolehlivých ve funkci i v parametrech. (B-Nástroje pro dosažení vysoké spolehlivosti-2)
- Systémy pro řízení spolehlivosti, včetně nástrojů pro zpětnou vazbu ze servisních zásahů do konstrukční kanceláře vedoucí k neustálému zvyšování spolehlivosti stávajících konstrukčních řešení. (B-Nástroje pro dosažení vysoké spolehlivosti-2)
- Zahrnutí spolehlivostních aspektů již ve vývojové fázi nového stroje. (B-Nástroje pro dosažení vysoké spolehlivosti-2)

Komentář k aktualizaci

- Téma je stále aktuální. Texty nebyly upraveny.

Stručný popis stavu problematiky ve světě

- Bezpečnost, spolehlivost a kvalita jsou klíčovým konkurenčním faktorem každého výrobku. Tyto parametry významně ovlivňují úspěch či neúspěch výrobku na trhu a můžeme je posuzovat jak z pohledu zákazníka (splnění deklarovaných i skrytých očekávání), tak i z pohledu výrobce (minimalizování vícenákladů spojených s vývojem, výrobou, garantovaným provozem a likvidací strojního zařízení). Požadavky na strojní zařízení vztahující se k bezpečnosti, kvalitě a použitelnosti neustále stoupají. Prostřednictvím včasných konstrukčních opatření a preventivní údržby lze významným způsobem předcházet poruchám a výpadkům zařízení.
- Preventivní hodnocení bezpečnosti, spolehlivosti a kvality se vyznačuje včasným nasazení pokročilých technik a technologií již v předvýrobních etapách vzniku strojního zařízení. Analyzuje se celý životní cyklus strojního zařízení a predikují se možné problémy. Použít zde lze např. metody FMEA (Failure Mode and Effects Analysis), FTA (Fault Tree Analys) apod. [Fleischer, Schopp: Sustainable Machine Tool Reliability based on Condition Diagnosis and Prognosis. Advances in Life Cycle Engineering for Sustainable Manufacturing Businesses. Proceedings ofis the 14th CIRP Conference on Life Cycle Engineering, Waseda University, Tokyo, Japan, 2007].
- Dodatečné hodnocení bezpečnosti, spolehlivosti a kvality je založeno na sběru dat o provozu a závadách zařízení, jejich analýze a integraci závěrů do preventivního hodnocení nových

zařízení. Sběr dat je založen na zprostředkovaných informacích ze servisního oddělení nebo na přímých informacích získaných vzdáleně z PLC stroje, signálů z integrovaných senzorů nebo z dat z tzv. bezsenzorové diagnostiky. Tato data jsou vstupem pro stochastický model spolehlivosti zařízení, s jehož využitím lze predikovat náklady na provoz zařízení (LCC – Life Cycle Costs – náklady na životní cyklus výrobku) a dále ve vazbě na analýzu FMEA provádět komplexní hodnocení spolehlivosti a nákladů na provoz zařízení RAMS+C (Reliability, Availability, Maintainability, Safety + Costs – spolehlivost, dostupnost, udržovatelnost, bezpečnost + náklady [www.tuv.com/us/en/rams_reliability_availability_maintainability_safety_.html]). Analýza RAMS+C umožňuje spojit dohromady hodnocení technických parametrů zařízení a nákladů na jeho výrobu a provoz. Z výsledků tohoto hodnocení mohou vyplynout doporučení pro změny v konstrukci, způsobu výroby a montáže a volbě komponent.

- Vývoj strojů dle požadovaných technických parametrů, ale i se zohledněním spolehlivosti a nákladů, je předmětem zkoumání, vývoje a implementace v celém hospodářsky vyspělém světě. Příkladem je např. německý národní projekt ZuprogOn [http://www.zuprogon.de/] nebo evropský projekt Prolima [http://www.prolima.net/] zahrnutý do 6. rámcového programu. Hlavní motivací je vývoj produktů s vyšší konkurenceschopností na trhu (především vůči asijským dodavatelům) a menšími dopady na životní prostředí. Kromě výše uvedených projektů s průmyslovými podniky se tématem zabývá mj. také organizace CIRP [např. Westkaemper, Alting, Arndt: Life Cycle management and assessment: approaches and visions towards sustainable Manufacturing. CIRP keynote paper STC-O, 2000].

Současný způsob řešení problematiky v ČR

- Téma spolehlivosti a kvality strojních uzlů a komponent není v ČR systematicky rozvíjeno v žádném řešeném projektu. Téma bezpečnost návrhu a provozu je dlouhodobě řešeno ÚVSSR VUT v Brně; v současné době např. v rámci WP10 projektu CK SVT řešeného VUT v Brně a oborovými firmami.

Cíle a praktické výstupy pro obor/průmysl

- Zobecněné FMEA a FTA analýzy konstrukce vybraných typů obráběcích strojů a jejich uzlů.
- Databáze závad a servisních zásahů. Vytvoření jednotné firemní nebo mezifiremní databáze poruch strojů a servisních zásahů u zákazníka. Kategorizace poruch by měla postihnout významnost závady pro stroj, její příčina a následek, způsob opravy a délku odstávky stroje. Databáze by měla umožnit využití dat ze vzdáleného monitoringu strojů.
- Tvorba modelu spolehlivosti stroje. Vývoj modelu spolehlivosti stroje s využitím FTA analýzy. Vstupem pro tento model by byly data z databáze závad a servisních zásahů. Výstupem by byla pravděpodobnost poruchy stroje v definovaném časovém úseku.
- Tvorba technik pro podporu spolehlivosti za provozu pomocí snadnější a instruované údržby, snadné vyměnitelnosti uzlů. Prodlužování cyklů údržby ve vazbě na průběžnou diagnostiku stavu strojů.

Vlastní odborné zhodnocení přínosu tématu pro obor a průmysl v ČR

- Hodnocení bezpečnosti, spolehlivosti a kvality strojů a jejich uzlů ve vazbě na vývoj nových produktů a ve vazbě na predikci a snižování nákladů na vývoj a provoz stroje jsou významným konkurenčním faktorem. V době, kdy asijští výrobci konkurují především se stroji s nízkou cenou, je potřeba se soustředit na snižování nákladů spojených s vývojem strojů domácích producentů při zachování vysoké úrovně jejich kvality. Tím může být např. podpora vysoké provozuschopnosti tuzemských strojních zařízení.

Způsob dosažení cílů

- Systémová analýza stroje, příprava blokových diagramů vybraných strojů pro FMEA a FTA analýzy a model jejich spolehlivosti. Příprava etalonů na úrovni uzlů stroje. Hodnocení konkrétních typů strojů bude probíhat s využitím těchto etalonů.
- Vývoj databáze pro sběr informací o závadách a servisních zásazích.
- Vývoj modelu spolehlivosti vybraných strojů.
- Lidé z výzkumu + lidé ve firmách pro konzultaci a poskytnutí dat.

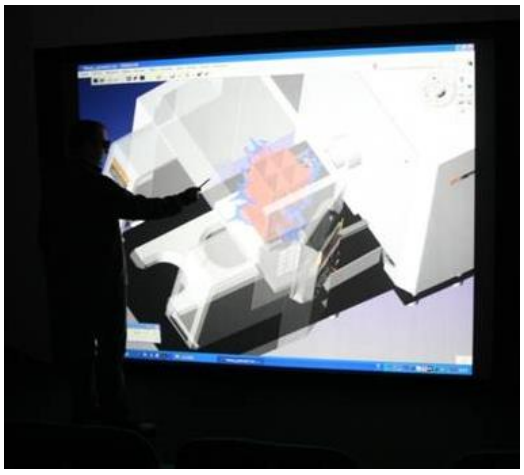
Doporučený řešitel

- VCSVTT (ČVUT v Praze, VUT v Brně); výrobci strojů; výrobci komponent a univerzálních konstrukčních celků; uživatelé výrobních strojů

2.5.2. (T36) Analýza rizik při konstrukci strojů

Navrhovatel

- Doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D. a kol. (VUT v Brně)



Vazba tématu na SVA

- (U: 62, 63, 83, 86)
- Systémy pro řízení spolehlivosti, včetně nástrojů pro zpětnou vazbu ze servisních zásahů do konstrukční kanceláře vedoucí k neustálému zvyšování spolehlivosti stávajících konstrukčních řešení. (B-Nástroje pro dosažení vysoké spolehlivosti-2)
- Zahrnutí spolehlivostních aspektů již ve vývojové fázi nového stroje. (B-Nástroje pro dosažení vysoké spolehlivosti-2)
- Snadno obsluhovatelné stroje s nízkými nároky na kvalitu obsluhy a její znalosti a zkušenosti, samo-vysvětlující ovládání stroje, technologie schopné včasné detekce chyb. (C-Jednoduchost a bezpečnost pro obsluhu -1)
- Zvyšování bezpečnosti stroje pro lidskou obsluhu, eliminaci poškození stroje, nástroje, upínače a obrobku. Systémy vyhodnocující nárůst rizik při specifickém využívání stroje, nebo při specifické technologii, manipulaci s obrobky a nástroji, atp. "Online" vyhodnocování rizik, kontakt s obsluhou a údržbou a její varování. (C-Jednoduchost a bezpečnost pro obsluhu -1)) a „offline“ identifikace významných nebezpečí s využitím technologií virtuální reality.

Komentář k aktualizaci

- Téma bylo doplněno a modifikováno podle současné úrovně znalostí; především ve vazbě na aktuální stav evropské legislativy.

Stručný popis stavu problematiky ve světě

- Bezpečnost, spolehlivost a kvalita jsou klíčovým konkurenčním faktorem každého výrobku. Tyto parametry významně ovlivňují úspěch či neúspěch výrobku na trhu a můžeme je posuzovat jak z pohledu zákazníka (splnění deklarovaných i skrytých očekávání), tak z pohledu výrobce (minimalizování vícenákladů spojených s vývojem, výrobou, garantovaným provozem a likvidací strojního zařízení) a v neposlední řadě rovněž z pohledu legislativních požadavků (splnění minimálních požadavků na bezpečnost stroje). V EU se nyní zvyšují požadavky zejména na funkční bezpečnost strojů, která přímo souvisí se spolehlivostí jednotlivých komponent řídicích a ovládacích systémů použitých pro zajištění bezpečnosti stroje (např. bezpečné otáčky nástroje, nouzové zastavení stroje, blokování krytů). Prostřednictvím včasných konstrukčních opatření a preventivní údržby lze významným způsobem předcházet poruchám a výpadkům zařízení. Aplikační oblast je zde ale limitována ekonomickým přínosem. Preventivní zabezpečování kvality, tj. rovněž spolehlivosti a bezpečnosti jednotlivých komponent i celých strojů lze posuzovat z hlediska doby vývoje (splnění/nesplnění termínů?), funkčnosti (funguje/nefunguje?), spolehlivosti v parametrech (dosahuje deklarovaných parametrů?), bezpečnosti (jsou zbytková rizika přijatelná?), snadnosti montáže apod.

- Preventivní zajišťování spolehlivosti je založeno na včasném nasazení pokročilých technik a technologií již v předvýrobních etapách vzniku strojního zařízení. Analyzuje se celý životní cyklus strojního zařízení a predikují se možné problémy. Použít zde lze např. metodu FMEA (Failure Mode and Effects Analysis), nebo technologii imersní či rozšířené virtuální reality. [Schmidt, Wiebke Hartmann, Peter Nyhuis: Simulation Based Comparison of Safety-stock Calculation Methods; CIRP STC O, 61/1/2012, P.403; M. Morioka, S. Sakakibara: A new cell production assembly system with human-robot cooperation; CIRP STC A, 59/1/2010, P.9].
- Preventivní zajišťování bezpečnosti a kvality může být podpořeno nasazení technologie imersní nebo rozšířené virtuální reality (Powerwall, Virtual Cave) již ve vývojové fázi vzniku nového výrobku. [R. Ghemraoui, L. Mathieu (1), N. Tricot: A Design Method for Systematic Safety Integration; CIRP STC Dn, 58/1/2009, P.161; Atsuko Enomoto, Noriaki Yamamoto, Tatsuya Suzuki: Automatic Estimation of the Ergonomics Parameters of Assembly Operations; CIRP STC A, 62/1/2013, P.13; Sotiris Makris, Loukas Rentzos, George Pintzos, Dimitris Mavrikios, George Chryssolouris: Semantic-based Taxonomy for Immersive Product Design using VR Techniques; CIRP, STC Dn, 61/1/2012, P.147].
- Vývoj strojů dle požadovaných technických parametrů, ale i se zohledněním jejich bezpečnosti a spolehlivosti, je předmětem nového legislativního rámce EU, který je zaměřen mimo jiné na fungující dozor nad trhem. Motivací je vývoj produktů s vyšší konkurenceschopností na trhu (především vůči asijským dodavatelům) a menšími dopady na životní prostředí. Tímto tématem se zabývá mj. také organizace CIRP [např. Henri Paris, Matthieu Museau: Contribution to the environmental performance of the dry-vibratory drilling technology; CIRP STC A, 61/1/2012, P.47; Yasushi Umeda, Shozo Takata, Fumihiko Kimura, Tetsuo Tomiyama, John W. Sutherland, Sami Kara, Christoph Herrmann, Joost R. Duflou: Toward Integrated Product and Process Life Cycle Planning - an Environmental Perspective; CIRP STC A, 61/2/2012, P.681].

Současný způsob řešení problematiky v ČR

- Téma analýzy rizik je dlouhodobě řešeno ÚVSSR VUT v Brně; v současné době např. v rámci WP10 projektu CK SVT řešeného VUT v Brně a oborovými firmami.

Cíle a praktické výstupy pro obor/průmysl

- Metodika využití technologií imersní a rozšířené virtuální reality při procesu zabezpečování bezpečnosti, spolehlivosti a kvality v předvýrobních etapách vývoje strojních zařízení.
- Zobecněné FMEA analýzy konstrukce vybraných typů obráběcích strojů a jejich uzlů.
- Databáze osvědčených řešení funkční bezpečnosti. Rozšiřování databáze komponent a vzorových zapojení splňující požadavky na úroveň vlastností řídících nebo ovládacích obvodů zajišťujících bezpečnostní funkci stroje.

Vlastní odborné zhodnocení přínosu tématu pro obor a průmysl v ČR

- Hodnocení bezpečnosti, spolehlivosti a kvality strojů a jejich uzlů ve vazbě na vývoj nových produktů a ve vazbě na predikci a snižování nákladů na vývoj a provoz stroje jsou významným konkurenčním faktorem. V době, kdy asijští výrobci konkurují především se stroji s nízkou cenou, je potřeba se soustředit na snižování nákladů spojených s vývojem strojů domácích producentů při zachování vysoké úrovně jejich kvality. Tím může být např. podpora vysoké provozuschopnosti tuzemských strojních zařízení.

Způsob dosažení cílů

- Navržení metodiky využití technologie imersní a rozšířené virtuální reality při zajišťování bezpečnosti, spolehlivosti a kvality strojů a jejich uzlů.

- Aplikace metodiky FMEA na proces posuzování funkční bezpečnosti a spolehlivosti navržených konstrukčních řešení strojů a jejich řídících/ovládacích obvodů/programů.
- Rozšiřování databáze osvědčených komponent vhodných pro zajišťování funkční bezpečnosti stroje.
- Praktické ověření navržených metodik a databáze při komplexním posuzování bezpečnosti, spolehlivosti a kvality stroje z průmyslu.

Doporučený řešitel

- VCSVTT (VUT v Brně); výrobci obráběcích strojů; výrobci komponent a univerzálních konstrukčních celků

2.5.3. (T37) Analýza rizik při provozu strojů

Navrhovatel

- Doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D. a kol. (VUT v Brně)

Vazba tématu na SVA

- (U: 62, 63, 83, 86)
- Systémy pro řízení spolehlivosti, včetně nástrojů pro zpětnou vazbu ze servisních zásahů do konstrukční kanceláře vedoucí k neustálému zvyšování spolehlivosti stávajících konstrukčních řešení. (B-Nástroje pro dosažení vysoké spolehlivosti-2)
- Zahrnutí spolehlivostních aspektů již ve vývojové fázi nového stroje. (B-Nástroje pro dosažení vysoké spolehlivosti-2)
- Snadno obsluhovatelné stroje s nízkými nároky na kvalitu obsluhy a její znalosti a zkušenosti, samo-vysvětlující ovládání stroje, technologie schopné včasné detekce chyb. (C-Jednoduchost a bezpečnost pro obsluhu -1) a využitelné při snižování zátěže životního prostředí (úspora zdrojů na základě včasné predikce nežádoucích událostí).
- Zvyšování bezpečnosti stroje pro lidskou obsluhu, eliminaci poškození stroje, nástroje, upínače a obrobku. Systémy vyhodnocující nárůst rizik při specifickém využívání stroje, nebo při specifické technologii, manipulaci s obrobky a nástroji, atp. "Online" vyhodnocování rizik, kontakt s obsluhou a údržbou a její varování. (C-Jednoduchost a bezpečnost pro obsluhu -1)

Komentář k aktualizaci

- Téma bylo doplněno a modifikováno podle současné úrovně znalostí především o moderní technické prostředky pro podporu analýzy rizik při provozu strojů a vazbu na ergonomii ovládání.

Stručný popis stavu problematiky ve světě

- Požadavky na strojní zařízení vztahující se k bezpečnosti, kvalitě a použitelnosti neustále stoupají. Prostřednictvím včasných konstrukčních opatření a preventivní údržby lze významným způsobem předcházet poruchám a výpadkům zařízení. Aplikační oblast je zde ale limitována ekonomickým přínosem. Preventivní zabezpečování spolehlivosti a bezpečnosti jednotlivých komponent i celých strojů lze realizovat preventivně nebo dodatečně.
- Preventivní zajišťování bezpečnosti, spolehlivosti a kvality je založeno na včasném nasazení pokročilých technik a technologií již v předvýrobních etapách vzniku strojního zařízení. Analyzuje se celý životní cyklus strojního zařízení a predikují se možné problémy. Použít zde lze např. metody FMEA (Failure Mode and Effects Analysis), FTA (Fault Tree Analys) apod. [Omron: Machine Safety Guide 2012 – Creating a safe industrial world!; Siemens: Guide to machine safety standards and safety terminology – White Paper 2013; European Commision Enterprise and industry: Guide to application of Directive 2006/42/EC - 2nd Edition - June 2010].
- Dodatečné zajišťování bezpečnosti, spolehlivosti a kvality je založeno na sběru dat o provozu a závadách zařízení, jejich analýze a integraci závěrů do preventivního hodnocení nových zařízení. Sběr dat je založen na zprostředkovaných informacích ze servisního oddělení nebo na

přímých informacích získaných vzdáleně z PLC stroje, signálů z integrovaných senzorů nebo z dat z tzv. bezsenzorové diagnostiky. Tato data jsou vstupem pro stochastický model spolehlivosti zařízení, s jehož využitím lze predikovat náklady na provoz zařízení (LCC – Life Cycle Costs – náklady na životní cyklus výrobku) a dále ve vazbě na analýzu FMEA provádět komplexní hodnocení spolehlivosti a nákladů na provoz zařízení RAMS+C (Reliability, Availability, Maintainability, Safety + Costs – spolehlivost, dostupnost, udržovatelnost, bezpečnost + náklady [www.tuv.com/us/en/rams_reliability_availability_maintainability_safety_.html]). Analýza RAMS+C umožňuje spojit dohromady hodnocení technických parametrů zařízení a nákladů na jeho výrobu a provoz. Z výsledků tohoto hodnocení mohou vyplynout doporučení pro změny v konstrukci, způsobu výroby a montáže a volbě komponent.

- Vývoj strojů dle požadovaných technických parametrů, ale i se zohledněním spolehlivosti a nákladů spojených s jeho životním cyklem, je předmětem zkoumání, vývoje a implementace v celém hospodářsky vyspělém světě.. [19th CIRP Conference on Life Cycle Engineering 2012; Topics: Life Cycle Design; Machine Tool Technology for Sustainability; Methods and Tools for Sustainability in Processes; KEYNOTE PRESENTATIONS Julian Allwood: Global Priorities in the Search for a Low Carbon Industrial Future; Rich Helling: Driving Sustainable Innovation; Michael Overcash: Unit Process Life Cycle Inventory (UPLCI) – A Structured Framework to Complete Product Life Cycle Studies].

Současný způsob řešení problematiky v ČR

- Téma analýzy rizik je dlouhodobě řešeno ÚVSSR VUT v Brně; v současné době např. v rámci WP10 projektu CK SVT řešeného VUT v Brně a oborovými firmami.

Cíle a praktické výstupy pro obor/průmysl

- Metodika využití technologií imersní a rozšířené virtuální reality při procesu zabezpečování ergonomické bezpečnosti při obsluze a ovládání strojních zařízení.
- Zobecněné FMEA analýzy jednotlivých typických funkcí strojů.
- Databáze závad a servisních zásahů. Vytvoření jednotné firemní nebo mezifiremní databáze poruch strojů a servisních zásahů u zákazníka. Kategorizace poruch by měla postihnout významnost závady pro stroj, její příčina a následek, způsob opravy a délku odstávky stroje. Databáze by měla umožnit využití dat ze vzdáleného monitoringu strojů.
- Tvorba modelu spolehlivosti stroje. Vývoj modelu spolehlivosti stroje s využitím FTA analýzy. Vstupem pro tento model by byly data z databáze závad a servisních zásahů. Výstupem by byla pravděpodobnost poruchy stroje v definovaném časovém úseku.

Vlastní odborné zhodnocení přínosu tématu pro obor a průmysl v ČR

- Hodnocení bezpečnosti, spolehlivosti a kvality strojů a jejich uzlů ve vazbě na vývoj nových produktů a ve vazbě na predikci a snižování nákladů na vývoj a provoz stroje jsou významným konkurenčním faktorem. V době, kdy asijští výrobci konkurují především se stroji s nízkou cenou, je potřeba se soustředit na snižování nákladů spojených s vývojem strojů domácích producentů při zachování vysoké úrovně jejich kvality. Tím může být např. podpora vysoké provozuschopnosti tuzemských strojních zařízení.

Způsob dosažení cílů

- Vytvoření metodiky hodnocení ergonomických parametrů obsluhy a ovládání strojů v prostředí imersní virtuální reality

- Systémová analýza stroje, příprava blokových diagramů vybraných strojů pro analýzy bezpečnosti a spolehlivosti vyvíjených strojů.
- Vývoj databáze pro sběr informací o závadách a servisních zásazích.
- Vývoj modelu spolehlivosti vybraných strojů.
- Vývoj nástrojů pro hodnocení zařízení z hlediska RAMS+C
- Vývoj nástrojů pro hodnocení zařízení z hlediska ergonomie.
- Vývoj nástrojů pro hodnocení zařízení z hlediska zátěže životního prostředí.
- Lidé z výzkumu + lidé ve firmách pro konzultaci a poskytnutí dat.

Doporučený řešitel

- VCSVTT (VUT v Brně); výrobci obráběcích strojů; výrobci komponent a univerzálních konstrukčních celků

2.6. Automatizace a bezobslužnost

2.6.1. (T38) Rozvoj automatizace a bezobslužnosti výroby

Navrhovatel

- Ing. Petr Kolář, Ph.D. a kol. (ČVUT v Praze)

Vazba tématu na SVA

- (U: 64)
- VaV technologií pro maximální stupeň automatizace a bezobslužnosti výroby. Výkonné a přesné manipulátory pro výměnu obrobků, nástrojů a speciální obrábění, systémy pro automatické měření rozměru a poškození nástrojů, systémy pro vynášení třísek a úklid pracovního prostoru, zajištění dlouhodobé bezobslužnosti a automatizace stroje. (B-Bezobslužnost a automatizace-2)

Komentář k aktualizaci

- Téma je stále aktuální. Doplněny prostředky pro SW podporu návrhu automatizačních řešení.

Stručný popis stavu problematiky ve světě

- Automatizace výrobních procesů je základním kamenem zvyšování produktivity výroby a snižování výrobních nákladů [IMTS 2008, EMO2009]. Automatizace je zároveň jedinou možností, jak zvyšovat bezobslužnost výroby, tj. snižovat podíl mzdových nákladů na ceně výrobku. Flexibilní automatizace výrobních procesů znamená zajistit: a) manipulaci a upínání obrobků a nástrojů (způsob přenosu informace o orientaci obrobku, typu nástroje, nákladová náročnost manipulace, přesnost, robustnost a flexibilita upnutí a manipulace); b) logistika pracoviště (zajištění toku materiálu, vstupní a výstupní zásobníky systému a jejich ergonomie, zásobníky nástrojů a jejich rozšiřitelnost); c) rozsah systému (limity pro flexibilní volbu velikosti pracoviště, zastavěná plocha, optimalizace toku materiálu apod.); d) bezpečnost provozu (bezpečnost obsluhy i stroje – bezpečný přístup obsluhy do systému, kontrola kolizí, detekce poškozených nástrojů aj.); e) řízení a vnější komunikace (komunikace mezi všemi automatizačními prvky a výrobním strojem, způsob řízení výrobního systému, komunikace s MES systémy, plánování výroby, komunikace s dalšími nadřízenými systémy).
- Pro naplnění výše uvedených požadavků jsou dnes komerčně dostupné prvky a komponenty. Většinou jsou to však osamocené prvky, které je nutno doplňovat další senzorikou, řešit jejich komunikaci s řídicím systémem výrobní buňky apod. Proto je návrh automatizované výrobní buňky/linky vždy náročným komplexním úkolem.
- Stále existuje potenciál pro rozvíjení, zpřesňování a zlevňování jednotlivých diagnostických metod a postupů pro zvýšení spolehlivosti, robustnosti a přesnosti kontroly a detekce stavu jednotlivých prvků automatizovaného výrobního systému (např. vývoj a zlepšování systémů detekce poškozených a opotřebovaných nástrojů).

- Dále existuje potenciál v nasazování průmyslové robotiky jako náhradu klasických strojů ve speciálních výrobních aplikacích, jako víceosé obrábění lehkých kovů případně neželezných materiálů, broušení, vrtání a také např. lepení a leštění. [www.sme.org - November 09 Issue Volume 143 No. 5]
- Nemalý potenciál ve spojení s průmyslovými roboty skrývá také rozvoj strojového vidění pro různé průmyslové aplikace.
- Téma zůstává stále aktuální. Z hlediska řešení pro český průmysl jsou nyní aktuální nástroje pro snadné zavádění automatizace a vyšší bezobslužnosti stroje do praxe. Jedná se o nástroje z hlediska návrhu a simulace řešení a dále nástroje z hlediska kontroly bezpečnosti provozu zařízení (bezpečnost stroje i obsluhy).

Současný způsob řešení problematiky v ČR

- Téma není v ČR rozvíjeno formou výzkumných projektů, ale ad-hoc řešení konkrétních zakázek. Mezi velmi dobrá řešení lze uvést např. spolupráci ÚVSSR VUT v Brně s firmami Blumenbecker v oblasti strojového vidění nebo Sonetech v oblasti robotické manipulace. Dále lze uvést případové studie výrobních linek od firmy Kovosvit MAS a realizace robotické manipulace ke strojům MAZAK realizovaných firmou MISAN.

Cíle a praktické výstupy pro obor/průmysl

- Vývoj integrovaných prvků pro automatizaci výrobních procesů. Integrace mechanické konstrukce, senzoriky, řídicí a komunikační elektroniky, standardizace mechanických, elektrických a elektronických rozhraní.
- Rozvoj metod pro zvýšení spolehlivosti, robustnosti a přesnosti funkce automatizačních prvků a systémů. Intenzifikace výzkumu a vývoje některých specifických automatizačních prvků a systémů.
- Vývoj aplikovatelnosti robotických systémů a manipulačních zařízení v oblasti výrobních technologií.
- Vývoj nástrojů pro podporu zavedení vyššího stupně automatizace a bezobslužného provozu strojů.

Vlastní odborné zhodnocení přínosu tématu pro obor a průmysl v ČR

- Automatizace výrobních procesů je klíčem k dalšímu zvyšování produktivity výroby a snižování provozních nákladů. Dodávka stroje s automatizací dnes znamená další samostatnou projekční práci, která trvá relativně dlouho. Nové integrované automatizační prvky se zlepšenou funkcí by měly zkrátit čas a snížit cenu návrhu celého systému.

Způsob dosažení cílů

- Rešerše existujících automatizačních a robotických prvků, rozdělení do specifických kategorií, návrh možností pro standardizaci a unifikaci.
- Vývoj integrovaných řešení automatizačních a robotických prvků – mechanická a elektrická konstrukce a komunikace s okolními a nadřízenými systémy (v závislosti na možné úrovni standardizace a unifikace – viz předchozí bod).
- Rozvoj metod pro zvýšení spolehlivosti, robustnosti a přesnosti funkce specifických automatických diagnostických a měřicích prvků a systémů.
- Vývoj nástrojů pro simulaci strojů s vysokým stupněm automatizace a bezobslužnosti. Jedná se o dvě související simulace: simulace chodu vlastního stroje a související automatizace (např. AVO, vč. analýzy kolizí) a dále simulace celé výrobní buňky nebo linky z hlediska optimalizace kapacitního vytížení strojů

Doporučený řešitel

- VCSVTT (ČVUT v Praze, VUT v Brně); výrobci strojů (obecně); výrobci strojů s ambicí nabízet ucelená automatizační řešení; dodavatelé a integrátoři v oblasti automatizace a robotiky (např. Blumenbecker Prag s.r.o.; Sonetech s.r.o. a další)

2.6.2. (T39) Autonomní výroba

Navrhovatel

- Ing. Petr Chvojka, Ph.D. a kol. (ČVUT v Praze)

Vazba tématu na SVA

- (U: 101)
- Viz Inteligence strojů, řádek 101., citace: VaV koncepcí a technik pro autonomní výrobu, kde je zadání výroby automaticky následováno samostatnou přípravou strojů zapojených do výrobního procesu, automatickou aktivací dodavatelského řetězce, výrobou a samo-kontrolou obrobků (integrovaná kontrola kvality výroby).

Komentář k aktualizaci

- Téma aktualizováno a orientováno více do oblasti bezobslužného provozu strojů. Zdůrazněna vazba na T50 a T51.

Stručný popis stavu problematiky ve světě

- Pružný výrobní systém byl v socialistickém Československu zaveden v TOSu Olomouc pod názvem PVS 400 pro obrábění nerotačních součástí. Tvůrci systému bylo pracovníci Výzkumného ústavu obráběcích strojů a obrábění v Praze, pod vedením Dr. Jaromíra Zeleného. Tento unikátní systém byl bohužel v roce 2011 rozebrán a sešrotován.
- Jamzaki MAZAK – autonomní výroba – Firma Mazak se již několik let pyšní svojí vlastní továrnou v Japonské Nagoye, kde běží výroba dílů pro obráběcí stroje v téměř plně automatizovaném režimu. Po dobu až 720 hodin (3 směny po dobu jednoho měsíce) zde probíhá výroba na plně robotizovaném pracovišti, které zajišťuje tok materiálu systémem, transfér polotovarů a finálních dílů mezi jednotlivými plně automatizovanými obráběcími centry.
- Tyto systémy jsou založeny na použití poloautomatizovaných výrobních strojů a robotických pracovišť, jde ve své podstatě o výrobní linku seřízenou pro výrobu specifických typů součástí. Samotné seřízení takovéhoto pracoviště je velmi náročné a systém není dostatečně pružný pro případnou změnu výroby. Pokud bychom chtěli hovořit o plně automatizovaném stroji, který bude dostatečně adaptovatelný na častou změnu charakteru výroby, dostáváme se do další etapy automatizace stěžejních strojních funkcí.
- Ve světě se o autonómních strojích a výrobě uvažuje právě ve spojitosti s vývojem inteligentních strojů. V r. 2003 publikovali Nakamoto, Shirase, Wakamatsu a další autoři z japonských univerzit v Osace a Kobe článek [Development of an innovative autonomous machine tool for dynamic product planning]. Na stejné téma referovali profesoři Shirase a Moriwaki z Kobe na koferenci “Flexible Automation & Intelligent Manufacturing“ v Torontu v roce 2004.
- Podle Shiraseho je nutný Autonomous Machining Process Planning (AMPP) and Autonomous Milling Process Control (AMPC). Stroj vybavený adaptivním řízením procesu je monitorován. Data jsou vyhodnocována znalostní databází (Knowledge-Based-System). Process Planning

(příprava výroby, CAD, CAM) je integrován do NC řízení stroje. Stroj rozhoduje v režimu real-time autonómně, čili samostatně.

- Z rešerší a EU Manufuture konferencí je zřejmé, že existují návrhy projektů, jejichž cílem jsou stroje s autonómními funkcemi a vysokou úrovní inteligence. Nejsou to však stroje obráběcí. Ani na poslední výstavě EMO 2013 nebyl žádný takový komplexní systém představen. Šlo pouze o dílčí automatizační systémy, popsané dále. Také Shiraseho vize, uvažující již o obráběcích strojích, jsou zatím jen ve stádiu laboratorních úvah a modelů.
- Konkrétními příklady dílčích automatizačních technik jsou např. stále šířeji nabízené systémy potlačení samobuzeného kmitání - Systém Machining NAVI od japonské OKUMY, systém ICM chatter detection od konsorcia DMG – Mori, dále funkcionality navrhované přímo výrobci řidících systémů (Heidenhain - Dynamic efficiency packet a Dynamic precision packet.

Současný způsob řešení problematiky v ČR

- Autonomní výroba je spojena především s velkosériovou bezobslužnou výrobou. Dodávky zařízení tohoto typu nejsou v ČR realizovány, a proto zde není ani výzkumná základna v tomto tématu. Dílčí projekty bezobslužných pracovišť jsou řešeny ad-hoc s využitím dostupné automatizace třetích firem. Za pokročilejší lze považovat související dílčí témata, především automatizaci, inteligentní stroje, senzoriku a diagnostiku strojů.

Cíle a praktické výstupy pro obor/průmysl

- Koncepční řešení s ohledem na řešení dílčí, inteligentní funkce obráběcích strojů. Na těchto dílčích automatizovaných funkcích (nadstavbách) bude postupně růst stupeň autonómnosti stroje.
- Obecně jde o velmi komplexní problém, který je nutné řešit v interdisciplinární spolupráci s ostatními tématy (monitoring, teplotní kompenzace, potlačení vibrací atp.). Dílčí cíle těchto témat se takto stávají cíli tohoto nadřazeného téma.
- V současné době se jeví jako perspektivní rozvoj systémů pro potlačení samobuzených vibrací při obrábění, dále systémy spolehlivého adaptivního řízení řezných parametrů a systémy pro plně automatizovanou a dostatečně versatilní detekci opotřebení nástroje a v neposlední řadě syatémy automatizované kompenzace geometrických chb stroje vzniklých např. teplotními deformaceni stroje. Vlastní odborné zhodnocení přínosu tématu pro obor a průmysl v ČR
- Vývoj autonómních strojů propojitelných do autonómních výrobních systémů je velmi ambiciózní téma. Ve světě je řešení zatím na počátku. Ve VCSVTT se zatím o tématu ani neuvažovalo, vyjma návrhů EU projektu INMAT, který měl za cíl započít s úvahami o inteligentním obráběcím stroji, který by nutně musel mýt autonómní chování. Bude nutností spolupracovat s externími pracovišti, zatím neznámými. Předpokládáme však, že to budou pracoviště vyjmenovaná v návrhu projektu „Inteligentní obráběcí stroje“. Je nutné najít i další akademická pracoviště v ČR nebo v cizině, která se tímto zabývají a pokusit se o navázání spolupráce.
- Myšlenky autonómních strojů by se dalo využít k vývoji informačního systému (databáze s možností spolupráce s obsluhou). Nemusel by to být ihned systém rozhodující bez zásahu obsluhy o procesu, ale poskytující technické informace obsluze a dílenskému managmentu. Jde o integraci známých informačních systémů sledujících vytížení jednotlivých strojů v provozu o informace o stavu společných periferií, přísunu a manipuloaci s polotovary a výrobky a s dalšími diagnostickými subsystémy umístěnými přímo na jednotlivých strojích. Funkce těchto subsystémů by se blížily tomu, co je popsáno v návrhu projektu „Monitorování vlastností strojů“. Data by byla sbírána na pokyn probíhajícího NC programu (NC kódu) v určitých intervalech. Základními veličinami by mohly být vibrace, teploty, příkony pohonů, čistý čas obrábění apod. Dalšími implementovatelnými funkcemi je např. automatizovaná kompenzace teplotních

deformací struktury stroje, systémy pro potlačování vibrací, detekci a potlačení samobuzeného kmitání atp.

Způsob dosažení cílů

- Prvním krokem ve vývoji stroje s autonómním chováním musí být komplexní monitorování stavu stroje, jeho periferií i samotného řezného procesu. Ve vazbě na to postupné testování jednotlivých automatizačních subsystémů. Tyto subsystémy je pak nadále třeba propojit v jeden plně automatizovaný funkční celek. Variabilita obráběcích strojů však tuto integraci do značné míry znesnadňuje.
- Jak cíle, tak i způsob jejich dosažení, a konečně i samotný technický problém autonomního obráběcího stroje zařaditelného do systému autonómní výroby, jsou blízké s tématem T57 Inteligentní stroje. Téma dále navazuje na T50, T51 a T38.
- Spolupracovat s dílčími subtématy – kompenzace teplotních deformací, potlačení vibrací, diagnostika a sledování periferií, diagnostika řezného procesu atp.
- Soustředit se nejprve na spolehlivé fungování jednotlivých subsystémů a teprve poté se pokusit o jejich integraci.
- Vytvořit koncepci informačního systému.
- Real-time aplikace virtuálního modelu stroje v reálném řídicím systému stroje pro on-line adaptivní změnu nastavení interpolátoru CNC řídicího systému, nastavení pohonů, kontrolu stability řezného procesu a aktivní kontrolu kolizních stavů.

Doporučený řešitel

- VCSVTT; výrobci strojů (obecně); výrobci CNC řídicích systémů; ve spolupráci s pracovišti, která se již touto problematikou zabývají i v jiných oborech.

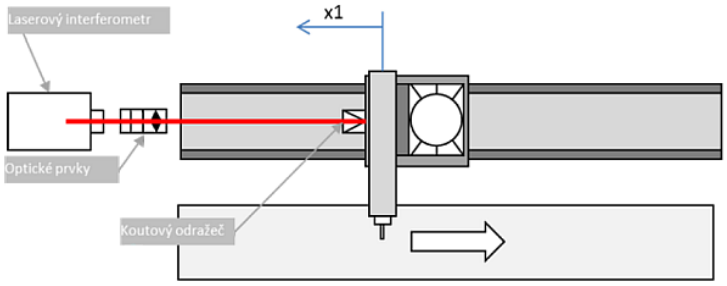
3. Řízení a inteligence

3.1. Řízení a mechatronika

3.1.1. (T40) Přídavné odměřovací systémy u obráběcích strojů

Navrhovatel

- Ing. Jiří Švéda, Ph.D. a kol. (ČVUT v Praze)



Vazba tématu na SVA

- (U 37, 41, 43:)
- VaV metod integrace a využití přídavných odměřovacích systémů pro stálé měření deformací stroje. (B-Zvyšování přesnosti strojů-1) a pro rychlou kalibraci stroje.
- Nové techniky pro měření polohy středu nástroje a jejich integrace do řídicích algoritmů stroje. Uplatnění přídavných odměřovacích systémů založených především na optickém a laserovém principu, který umožňuje měřit geometrii skeletu stroje za chodu a přiblížit se ideálu měření přímé polohy konce nástroje. (B-Mechatronické zdokonalování vlastností strojů-1)
- Měření a samokompenzace automaticky zjišťovaných tepelných a statických deformací stroje. (B-Mechatronické zdokonalování vlastností strojů-1)

Komentář k aktualizaci

- Téma je stále aktuální. Provedena byla aktualizace textů v oblasti aplikací přídavných odměřovacích systémů pro rychlé měření kompenzačních tabulek. Dále byly doplněny možnosti aplikací laser trackerů.

Stručný popis stavu problematiky ve světě

- Problematika přesného a rychlého měření aktuálního stavu mechanického systému je klíčovou záležitostí pro návrh kvalitního řízení a výslednou přesnost obrábění. V současné době jsou obráběcí stoje v drtivé většině vybavovány pouze odměřováními posunutí či natočení jednotlivých pohybových os, přičemž další deformace stroje jsou zanedbávány nebo kompenzovány pouze pasivními kompenzačními tabulkami získanými z kalibračního měření provedeného při oživování stroje. Z hlediska vysokých požadavků na přesnost obrábění jsou však kompenzace geometrických chyb stroje (v závislosti na kinematice stroje) a kompenzace teplotních deformací významné (především pro velké stroje).
- Optické odměřovací systémy založené na využití laserového paprsku tvoří jednu z hlavních skupin přídavných odměřování pro možnou implementaci přímo do stroje. V nich je využíváno přímosti laserového paprsku v kombinaci s detektorem [Gao W., Arai Y., et al.: Measurement of multi-degree-of-freedom error motions of a precision linear air-bearing stage, Precision Engineering, vol. 30, 2006, 96-103s] nebo laserové interferometrie. Výzkum a aplikace těchto technik v oboru obráběcích strojů byla započata ve VCSVTT v rámci řešení projektu „Mechatronický koncept vodorovných strojů“ spolu s TOS Varnsdorf (MPO projekt FI-IM5/121).
- Dalším možným optickým odměřovacím systémem jsou laser trackery.

- Mechanické přídavné odměřovací systémy jsou druhou skupinou odměřování vhodnou pro měření deformací stroje. Jsou založeny zejména na principu opto-mechanických lineárních odměřování se stupnicí s ryskami a čtecí hlavičkou nebo na principu měření vzdálenosti mechanických prvků indukčními snímači. Výzkum a aplikace těchto technik v oboru obráběcích strojů byla započata ve VCSVTT v rámci řešení projektu „Mechatronický koncept vodorovných strojů“ spolu s TOS Varnsdorf (MPO projekt FI-IM5/121).

Současný způsob řešení problematiky v ČR

- Systematický výzkum přídavných odměřovacích systémů pro obráběcí stroje byl a je prováděn ve spolupráci VCSVTT ČVUT v Praze a firmy TOS Varnsdorf v rámci navazujících projektů MPO. Téma je dále rozvíjeno ve WP9 projektu CK SVT řešeného ČVUT v Praze a oborovými firmami.

Cíle a praktické výstupy pro obor/průmysl

- Přídavná měřící zařízení. Hlavním cílem je vývoj a experimentální testování přídavných měřících zařízení aplikovatelných na stávající i nové obráběcí stroje. Jedná se zejména o silově nezatížené odměřovací rámy a zařízení včetně daného odměřování, optických prvků a snímačů implementované do konstrukce obráběcího stroje. Takovéto prvky jsou společně schopny měřit deformace stroje. Jednotlivé díly přídavných odměřování musí být navíc teplotně stabilní, aby nedocházelo ke zkreslování měření. Proto je také cílem využití nekonvenční materiálů s nízkou teplotní roztažností a maximální tuhostí při současném zachování velmi nízké hmotnosti.
- Kompenzační algoritmy. Dalším dílčím cílem je vývoj kompenzačních algoritmů využívajících informace z přídavných odměřování a vlastní implementace kompenzací do řídicího systému stroje. Dále kompenzace dynamického chování obráběcích strojů ve spojení s nekonvenčními typy regulace
- Zvýšení přesnosti stroje. Hlavním přínosem pro obor/průmysl je návrh přídavných autonomních zařízení komunikujících s řídicím systémem stroje umožňujících kompenzace deformace stroje a tím výrazné zvýšení jeho přesnosti. Možnost využití při inprocesním měření obrobků, kdy je stroj v podstatě nositelem měřicí sondy.

Vlastní odborné zhodnocení přínosu tématu pro obor a průmysl v ČR

- Hlavním přínosem vyvíjených technik pro průmysl v ČR je možnost zvýšení přesnosti obráběcích strojů autonomními měřícími zařízeními bez nutnosti radikálního zásahu do vlastní konstrukce stroje. Zvýšení přesnosti obrábění je doprovázeno radikálním nárůstem produktivity, kdy je snížen požadavek na přídavek pro finální obrábění a minimalizována nutnost opakovaného obrábění po rozměrové a geometrické kontrole obrobku.
- Z hlediska oboru výrobních strojů přináší nasazení přídavných odměřování také zvýšení odolnosti proti poruchové síle a tím i kompenzaci statické tuhosti mechanické struktury.

Způsob dosažení cílů

- Detailní studium a výběr vhodných metod přídavných odměřovacích systémů pro měření deformace stroje (teoretická práce bez speciálních požadavků na zdroje).
- Příprava a provedení experimentálního ověření vybraných metod přídavných odměřování včetně konstrukčního zpracování (nákup potřebných komponent – lineární a rotační odměřování, lasery, optické prvky, snímače, vyhodnocovací elektronika, konstrukční materiál)
- Návrh kompenzačních algoritmů pro kompenzaci deformace stroje na základě měřených veličin přídavnými odměřováními, pro testovací stand nebo reálný stroj (teoretická práce bez speciálních požadavků na zdroje).

- Implementace navržených kompenzací na reálný stroj (stand) a řídicí systém (nutno zajistit přístup ke stroji (standu)).
- Celkem cca 4 lidé, 2 z oblasti výzkumu a vývoje odměřovacích metod a kompenzačních algoritmů, 1 z oblasti výrobce řídicích systémů (implementace kompenzace) a 1 z oblasti výroby (konstrukce a výroba přídavných odměřovacích zařízení).

Doporučený řešitel

- VCSVTT; ústavy zabývající se mechanikou, mechatronikou a řízením (např. ČVUT FS - Ú 12105, UTIA AVČR); výrobci strojů (TOS Varnsdorf, TOS Kuřim); výrobci CNC řídicích systémů (MEFI, Siemens, Heidenhain); výrobci nekonvenčních materiálů a výrobci kompozitních dílů (např. CompoTech Plus, LA Composite); uživatelé strojů zabývající se výrobou velmi přesných dílů; výrobci a dodavatelé optických prvků a ostatních komponent odměřování

3.1.2. (T101) Inprocesní měření

Navrhovatel

- Ing. Jiří Švéda

Vazba tématu na SRA

- (U: 37, 41, 43)
- VaV metod integrace a využití přídavných odměřovacích systémů pro stálé měření deformací stroje. *(B-Zvyšování přesnosti strojů-1)*
- Nové techniky pro měření polohy středu nástroje a jejich integrace do řídicích algoritmů stroje. Uplatnění přídavných odměřovacích systémů založených především na optickém a laserovém principu, který umožňuje měřit geometrii skeletu stroje za chodu a přiblížit se ideálu měření přímé polohy konce nástroje. *(B-Mechatronické zdokonalování vlastností strojů-1)*
- Měření a samokompenzace automaticky zjišťovaných tepelných a statických deformací stroje. *(B-Mechatronické zdokonalování vlastností strojů-1)*

Komentář k aktualizaci

- Téma je nově doplněné. Jedná se o specifické rozvedění tématu T40 k odsažení funkcionality obráběcího stroje jako souřadnicového měřicího stroje.

Stručný popis stavu problematiky ve světě

- Problematika měření obrobků přímo v obráběcím stroji je známá a zabývá se jí řada světových výrobců. Prakticky všechny známé systémy využívají dotykových nebo i skenovacích sond integrovaných do vřetene stroje, např. Renishaw, Heidenhain.
- Jedním z hlavních problémů současných řešení je dosažitelná přesnost. Nositelem dotykové sondy je mechanická struktura obráběcího stroje, jejíž nepřesnost je přenesena také do měření. Přesnost je zvýšena pouze díky nepřítomnosti řezných sil při měření anebo nově také nájezdem na referenční objekt.
- Integrace systému inprocesního měření do řídicího systému představuje také značné omezení. Současní výrobci nabízejí integraci pouze ve formě maker nebo nadstaveb, které zdaleka nedosahují komfortu obsluhy známého z klasických souřadnicových měřicích strojů.

Stručný popis stavu problematiky ve světě

- Téma je systematicky rozvíjeno v rámci projekt MPO a v rámci WP9 projektu CK SVT, které řeší ČVUT v Praze a TOS Varnsdorf.

Cíle a praktické výstupy pro obor/průmysl

- Systém rychlé kontroly stavu obrobku přímo na stroji s možností korekčního obrábění: Hlavním cílem je vývoj a experimentální testování systému, který umožní inrocesní/meziprocesní měření a přesné dokončení obrobku přímo na stroji bez nutnosti manipulace s obrobkem a jeho přesouváním na klasické souřadnicové měřicí stroje. Systém rychlé kontroly obrobku představuje implementaci běžného sw pro souřadnicové měřicí stroje přímo do řídicího systému stroje včetně možnosti sdílení naměřených dat s řídicím systémem stroje a jeho korekcemi.

Součástí systému rychlé kontroly obrobku je také přídavný odměřovací systém, který zpřesní stroj v režimu měření a kompenzuje tak jeho geometrické chyby nebo chyby způsobené teplotními změnami. Výsledkem je snížení času potřebného na mezioperační manipulaci s obrobkem mezi obráběcím strojem a souřadnicovým měřicím strojem, který v případě velkých obrobků představuje značný podíl na celkovém čase výroby.

- Výzkum možností využití technik inprocesního měření také pro samokalibrační cykly strojů.

Vlastní odborné zhodnocení přínosu tématu pro obor a průmysl v ČR

- Hlavním přínosem metody inprocensního měření je zvýšení produktivity výroby přesných dílů velkých velikostí (odpadá nutnost manipulace s dílcem mezi strojem a CMM).
- Z hlediska oboru výrobních strojů přináší nasazení systému inprocesního měření další zpětnou vazbu do obráběcího stroje, která zohledňuje skutečný tvar a stav obrobku a přizpůsobuje se mu.

Způsob dosažení cílů

- Detailní studium a návrh topologie systému inprocesního měření.
- Návrh propojení řídicího systému obráběcího stroje a software pro souřadnicové měřicí stroje (metrologický software) včetně sdílení naměřených dat pro korekční obrábění.
- Návrh přídavných odměřování pro zvýšení přesnosti v režimu měření.
- Příprava a provedení experimentálního ověření metody inprocesního měření (nákup potřebných komponent – řídicí systém obráběcího stroje, metrologický software, dotykové a skenovací sondy, přídavné odměřování, konstrukční materiál)
- Implementace navrženého systému na reálný stroj (stand) a řídicí systém.
- Celkem cca 5 lidé, 1 z oblasti metrologie, 1 z oblasti výzkumu a vývoje odměřovacích metod a kompenzačních algoritmů, 1 z oblasti výrobce řídicích systémů (implementace kompenzací a metrologického software), 1 programátor a 1 z oblasti výroby (konstrukce a výroba komponent).

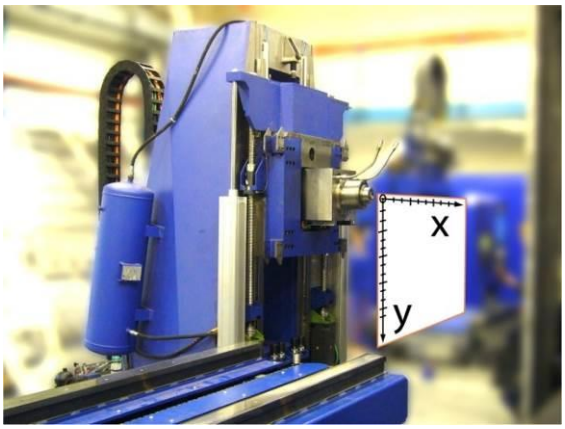
Doporučený řešitel

VCSVTT (Ú12135) FS ČVUT; výrobci a dodavatelé metrologických software (Next Metrology Software, Renishaw, ZEISS); výrobci řídicích systémů (MEFI, Siemens, Heidenhain, Beckhoff); výrobci a dodavatelé optických prvků a ostatních přídavných odměřování (Leica, API, Thorlabs, Newport); výrobci obráběcích strojů; uživatelé s vysokými nároky na přesnost a produktivitu obráběných dílů

3.1.3. (T41) Odměřování polohy středu nástroje a jeho integrace do řízení

Navrhovatel

- Ing. Jiří Švéda, Ph.D. a kol. (ČVUT v Praze)



Vazba tématu na SVA

- (U: 41, 91)
- Nové techniky pro měření polohy středu nástroje a jejich integrace do řídicích algoritmů stroje. Uplatnění přídavných odměřovacích systémů založených především na optickém a laserovém principu, který umožňuje měřit geometrii skeletu stroje za chodu a přiblížit se ideálu měření přímé polohy konce nástroje. (B-Mechatronické zdokonalování vlastností strojů-1)
- Identifikace a kompenzace odchylek polohy TCP v důsledku poddajnosti nosné struktury a její interakce s pohony. Řízení pohonů s cílem minimalizovat chyby dynamiky stroje. (C-Pokročilé metody zpětnovazebního řízení pohonů-2)

Komentář k aktualizaci

- Téma zůstalo prakticky beze změny. V průmyslu se stále používá klasická kaskádní regulace s polohovou smyčkou uzavřenou z čidla natočení motoru nebo pravítka. Přímé měření TCP s dostatečnou přesností a robustností zatím nebylo vyvinuto nebo není veřejně známo. Doplněna byla pouze možnost kalibrace odměřování polohy za provozu a využití modelu nepřesnosti stroje.

Stručný popis stavu problematiky ve světě

- Přímočarý způsob, jak řešit identifikaci odchylek polohy TCP (Tool Centre Point), je přímé měření polohy TCP. Jedná se o složitý úkol. V literatuře existuje několik metod, jak dané měření realizovat. Obecně je lze rozdělit na metody mechanické a optické. Rozbor obou metod s větším podílem optických principů je popsán v [Schroeder K., Patzelt S., Goch G.: Fast Direct Optical Position Measurement Applied to Parallel Kinematics Machines, Proceedings of SPIE, vol. 5602, 2004, 184-195s]. Popis čistě mechanického způsobu měření TCP prostřednictvím kterého je možné měřit všech 6 stupňů volnosti tělesa v prostoru je popsán v [Beneš P., Valášek M., Švéda J.: Measurement and Calibration of Machine Tools in 6DOFs in Large Workspace, Journal of Machine Engineering, vol. 9, no. 3, 2010, 77-87s]. Hlavní nevýhodou současných řešení je velice omezené použití přímo při obráběcím procesu, a to jak z hlediska nepříznivého prostředí, tak z hlediska mechanické konstrukce.
- V případě, že je k dispozici dostatečně přesná poloha TCP, je možné tuto informaci využít pro řízení pohonů stroje a efektivně kompenzovat polohové odchylky od žádané hodnoty. Polohové odchylky mohou vznikat od různých zdrojů, např. vlivem teplotní deformace, působením silové poruchy nebo nedostatečnými strukturálními vlastnostmi stroje (nízká tuhost stroje). Při využití měření polohy TCP v kombinaci s pokročilými metodami řízení založenými na znalosti matematického modelu stroje je navíc možné významně zvýšit jeho dynamické vlastnosti, viz. [Strakoš P.: Řízení servopohonů s nadbytečným měřením, Disertační práce, 2010].

- V oblasti pětiosých obráběcích strojů je v současné době velkým trendem automatická kalibrace kinematických parametrů, prosotorové přesnosti ale i součinnosti lineárních a rotačních os. Kalibrace je prováděna s určitým intervalem v rámci automatizovaného výrobního procesu. Měření je realizováno pomocí dotykové či skenovací sondy upnuté ve vřeteni, která je umístěna v zásobníku nástrojů a automaticky se aktivuje při upnutí do vřetena. Na stole stroje je upevněna přesná měřicí sonda, která je polohována do vybraných pozic v rámci pracovního prostoru stroje. Sondou je pak určována skutečná poloha středu přesné koule. Pokročilejší je postup se skenovací sondou, kdy je měření realizováno dynaicky, během pohybu stroje. Na základě získaných dat jsou automaticky auktualizovány vybrané parametry kinematické modelu stroje v jeho řídicím systému. Princip popsaného měření je efektivní především v tom, že představuje přímé měření relativní polohy nástroje vůči obrobku.

Současný způsob řešení problematiky v ČR

- Téma je rozvíjeno na ČVUT v Praze (U12105) především v teoretické rovině. Praktické aplikace zatím nebyly realizovány. Modelování geometrických odchylek strojů a metodika rychlé kalibrace těchto modelů jsou rozvíjeny ve WP9 projektu CK SVT řešeného ČVUT v Praze a oborovými firmami.

Cíle a praktické výstupy pro obor/průmysl

- Vývoj zařízení pro konvenční obráběcí stroje s možností měření polohy konce nástroje. Zařízení založené na mechanickém nebo optickém způsobu odměřování polohy nástroje nebo na kombinaci obou uvedených způsobů. Jelikož je přímé měření polohy konce nástroje velmi náročné, jako vhodné řešení se jeví kombinace integrovaných přídavných odměřování v kombinaci kinematickým modelem stroje. Tímto způsobem je pak možné polohu konce nástroje dopočítat. Zařízení schopná pracovat kontinuálně i při obráběcím procesu a s možností zapojení do zpětné vazby regulace pohybových os.
- Vývoj technik řízení efektivně využívající informaci o poloze konce nástroje. Vývoj a ověření technik řízení využívajících měření TCP pro zlepšení statických i dynamických parametrů stroje a možnosti samokalibrace stroje.

Vlastní odborné zhodnocení přínosu tématu pro obor a průmysl v ČR

- Využitím informace o poloze TCP lze minimalizovat vznik polohové odchylky TCP od všech zdrojů. Výsledkem je pak vyšší kvalita obrobeného povrchu i jeho přesnost. Použitím pokročilých metod řízení efektivně využívajících informaci o poloze konce nástroje je možné zvýšit dynamické parametry strojů během jejich chodu, které vedou na vyšší produktivitu za jednotku času při současném dodržení požadavků na výslednou kvalitu a přesnost.

Způsob dosažení cílů

- Vývoj metod přímého měření polohy konce nástroje (teoretická práce bez speciálních požadavků na zdroje).
- Studium, výběr a vývoj metod řízení využívajících informaci o poloze konce nástroje (teoretická práce bez speciálních požadavků na zdroje).
- Realizace způsobů přímého měření polohy nástroje (vznik konstrukčního návrhu, nákup materiálu a komponent pro testování a implementaci).
- Experimentální ověření navržených metod řízení v kombinaci s přímým měřením polohy nástroje (experimentální ověření na zkušebním standu VCSVTT, poté ověření na skutečném obráběcím stroji některého z českých výrobců).

- Celkem 4 lidé, 3 z oblasti výzkumu a vývoje (vývoj přímého odměřování (1 člověk), konstrukční návrh přímého odměřování (1 člověk), vývoj a realizace vhodné metody řízení (1 člověk)), 1 z oblasti výroby (výrobní dělník, výroba zařízení pro odměřování konce nástroje).

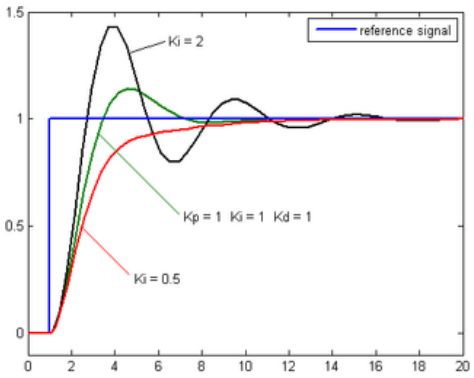
Doporučený řešitel

- VCSVTT; ústavy zabývající se mechanikou, mechatronikou a řízením (např. ČVUT FS - Ú 12105, UTIA AVČR); matematické ústavy (např. ČVUT FS - Ú 12101, UK MFF, MU AVČR); výrobci obráběcích strojů; výrobci CNC řídicích systémů; uživatelé strojů zabývající se výrobou velmi přesných dílů; výrobci a dodavatelé optických prvků a ostatních komponent odměřování

3.1.4. (T42) Nové strategie pro zvýšení přesnosti dráhového řízení

Navrhovatel

- Ing. Jiří Švéda, Ph.D., Ing. Lukáš Novotný, Ph.D. (ČVUT v Praze)



Vazba tématu na SVA

- (U: 41, 44, 87, 88, 91, 92, 93, 97)
  Inteligence strojů: Pokročilé metody zpětnovazebního řízení pohonů, priorita 2
- Stavba strojů: Mechatronické zdokonalování vlastností strojů
- Adaptivní řízení pohonů zohledňující změny dynamického chování stroje při změně polohy pohybových os. (C-Samočinné přizpůsobování parametrů stroje-2)
- Automatické nebo asistované ladění parametrů pohonů a CNC systému pomocí aktivního měření na stroji a online identifikace dynamických vlastností stroje. Zdokonalování diagnostiky strojů se zaměřením na pohony. (C-Samočinné přizpůsobování parametrů stroje-2)

Komentář k aktualizaci

- Vzhledem k odezvě v průmyslu bylo téma aktualizováno s důrazem na větší využití klasické kaskádní regulace a její doplnění o přídavné zpětné i dopředné vazby a další funkce CNC systému. Zcela bylo vypuštěno téma plovoucího principu, který zůstal na úrovni HW řešení zachován v T19. Do tématu bylo zaintegrováno téma T43 Adaptivní řízení pohonů s kompenzací dynamiky stroje a odchylek polohy nástroje, protože v praxi je toto realizováno hlavě pomocí kaskární regulace a dostupných funkčí řídicích systémů.

Stručný popis stavu problematiky ve světě

- Stávající a průmyslově osvědčená struktura regulace pohonů posuvů pro dráhové řízení NC strojů je výlučně kaskádní, v hierarchii: vnitřní proudová zpětná vazba (PI regulátor), jí nadřízená vazba rychlostní (PI regulátor), určující vazba polohová (P regulátor), dvě dopředné vazby (silový a rychlostní feedforward).
  Jsou využívány snímače: polohový (na motoru pro komutaci proudů a po derivaci jako snímač rychlostní); polohový komutační nebo přídavný (na motoru) - nepřímé odměřování polohy; polohový (na stroji) - přímé odměřování polohy.
- Výjimečně je jako zdroj signálu pro rychlostní regulaci použit Ferrariský akcelerační snímač s integrací (FANUC - alternativně). Proudový feedforward je odvozen druhou derivací sollwertu polohy (např. SIEMENS) nebo první derivací sollwertu rychlosti za polohovým regulátorem (HEIDENHAIN). Doplňující filtry typu dolní propust, pásmová zádrž je možno řadit před rychlostní i proudový regulátor. Kromě těchto základních je možno volit další, zatím méně prozkoumané funkce (vyšší typy filtrů, kompenzační členy - hlavně pro potlačení vlivu tření, reciproké modely atd.).
- Firma Siemens nabízí opci APC, kde je možné do klasicné kaskádní regulace zapojit také akcelerometr.
- Tato osvědčená struktura dovoluje postupné a přehledné ladění regulátorů podle různých kritérií kvality a zatím se vůči ní neprosadil žádný kvalitativně vyšší typ (stavová regulace atd.). Určitý

stupeň adaptivity je umožněn přepínáním sad strojních parametrů pro různé režimy činnosti stroje. V kaskádní struktuře je možno snadno kombinovat různé režimy paralelního chodu (master - slave, stroje gantry atd.) včetně elektrického předpětí pro vymezení vůlí.

- V současnosti je nejobvyklejší cestou pro přizpůsobování regulačních parametrů pohonů (nejen u robotů, ale i u NC obráběcích strojů) přepínání sad strojních parametrů ŘS, které se děje s respektováním více hledisek, než jenom změny dynamiky mechanické konstrukce. Existují však i další nástroje adaptivního řízení mající vliv na rychlost a kvalitu obrobeného povrchu. Ty ale vesměs berou v potaz pouze vztah mezi materiálem obrobku a obráběcím nástrojem. Nejsou tak plně zohledněny strukturální vlastnosti stroje. Ty mají na možnosti nastavení řídicích smyček velký vliv a zahrnutím těchto vlastností do řídicích algoritmů lze docílit významně lepších dynamických parametrů řízeného stroje [Strakoš P.: Řízení servopohonů s nadbytečným měřením, Disertační práce, 2010].
- Běžně používané řídicí systémy umožňují automatické ladění kaskádní regulace (Siemens – rychlostní regulátor a proudové filtry; Heidenhain – Kv polohové zesílení, rychlostní regulátor). Tyto funkce je ovšem doporučeno používat pouze jako inicializační a následuje po nich ruční doladění vzhledem k technologii

Stručný popis stavu problematiky ve světě

- Téma je rozvíjeno především v rámci WP4 projektu CK SVT, který řeší ČVUT v Praze s oborovými firmami.

Cíle a praktické výstupy pro obor/průmysl

- Návrh a testy alternativních metod řízení, založených na kaskádní regulaci (hlavně souběh více pohonů)
- Návrh a testy algoritmů a principů řízení, které rozšiřují stávající možnosti kaskádní regulace
- Zlepšení kvality dráhového řízení, zvýšení odolnosti regulace vůči vnějším silám a dalším rušivým vlivům
- Návrh algoritmů pro plně automatické ladění parametrů pohonů a nastavení CNC systému. Plně automatické a asistované algoritmy ovládající pohony obráběcích strojů při procesu hledání vhodných parametrů pohonů i CNC systému.
- Vývoj a výzkum v oblasti adaptivního řízení. Cílem výzkumu by mělo být operativnější sladění kvality regulace pohonů s technologickými požadavky výroby, než je to doposud možné pomocí přepínání sad strojních parametrů i úpravami NC programů.
- Vývoj technik řízení na bázi modelu, zlepšující dynamické vlastnosti stroje. Vývoj a ověření technik řízení pro zlepšení dynamických parametrů stroje.
- Metody kompenzace polohy nástroje

Vlastní odborné zhodnocení přínosu tématu pro obor a průmysl v ČR

- Hlavním přínosem těchto technik pro průmysl v ČR je potenciální možnost zlepšení kvality výroby při současném zvýšení produktivity.

Způsob dosažení cílů

- Alternativní metody řízení, využívající jako základ kaskádní regulaci: zdvojování pohonů (mj. oboustranný náhon kuličkového šroubu); využití předřazených filtrů a dalších kompenzačních členů, např. reciprokých přenosových funkcí; využití akcelerometrů ve zpětné vazbě pro řízení polohy; širší využití akcelerometrů v podřízené rychlostní zpětné vazbě; zdokonalení diagnostiky a její přímé návaznosti na ladění parametrů regulace.

- Matematické simulace použitých metod. Aplikace virtuálního modelu stroje pro testování alternativních metod řízení
- Příprava a realizace zjednodušených experimentů na zkušebních standech
- Implementace navržených metod do reálného řídicího systému a pohonů (nákup otevřeného řídicího systému a pohonů, využití stávajících zařízení)
- 1-2 pracovníci na trvalý úvazek

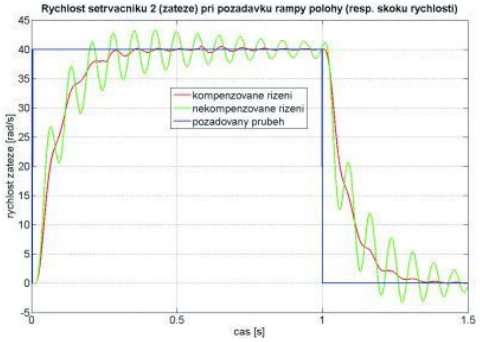
Doporučený řešitel

- VCSVTT; ústavy zabývající se mechanikou, mechatronikou a řízením (např. ČVUT FS - Ú 12 105, UTIA AVČR); výrobci strojů (obecně); výrobci CNC řídicích systémů; uživatelé strojů zabývající se výrobou velmi přesných dílů

3.1.5. (T44) Potlačování vibrací s využitím nestandardních softwareových i hardwareových prostředků a řízeným rozbíháním pohonů

Navrhovatel

- Ing. Lukáš Novotný, Ph.D. a kol. (ČVUT v Praze)



Vazba tématu na SVA

- (U: 92, 93, 41, 44)
  Inteligence strojů: Pokročilé metody zpětnovazebního řízení pohonů

Komentář k aktualizaci

- Téma je aktuální, doplněny byly jen odkazy na metodu Input Shapingu, jinak beze změn.

Stručný popis stavu problematiky ve světě

- Problematika potlačování nežádoucích vibrací je v oblasti obráběcích strojů celosvětově řešeným tématem.
- Řízené potlačování vibrací se prozatím objevuje jen zřídka, přičemž větší část těchto aplikací tvoří úprava algoritmů v rámci řídicího systému stroje. Autonomní systémy pro tyto účely prozatím ve větším měřítku nasazeny nejsou.
- Možnosti řízeného rozbíhání pohonů jsou pro uživatele a programátora ŘS většinou formulovány všeobecně a vágně (např. u ŘS SIEMENS pojmy "soft" a "brisk"). Omezené možnosti jsou k dispozici ve strojních parametrech při volbě omezení zrychlení a ryvů.
- Velké rezervy existují v uplatnění spektrální analýzy rozběhových časových funkcí při minimalizaci reziduálního kmitání, kde je teoretický výzkum v počátcích (VCSVTT). Do této oblasti patří i rozvoj metod Input Shapingu řešený na U12105 ČVUT v Praze.
- Při výzkumu samobuzeného kmitání nebyly doposud zkoumány vlivy samotné regulace pohonů posuvů a její dynamické poddajnosti, která má odlišný charakter od poddajnosti mechanické konstrukce.

Současný způsob řešení problematiky v ČR

- Téma je rozvíjeno ve WP8 projektu CK SVT řešeného ČVUT v Praze a oborovými firmami.

Cíle a praktické výstupy pro obor/průmysl

- Zkvalitnění regulace pohonů posuvů při současném zklidnění chodu stroje, které v důsledku zlepší přesnost i kvalitu obráběného povrchu, snížení akustických emisí.

Vlastní odborné zhodnocení přínosu tématu pro obor a průmysl v ČR

- Jedná se o nosné téma výzkumu v obráběcích strojích, vyžadující zapojení konstruktérů, odborníků na pohony a jejich řízení, měření a diagnostiku, programování i technologii obrábění.

Způsob dosažení cílů

- Nasazení metod identifikace pro získání modelu kmitajícího řízeného systému

- On- line monitorování vibrací a činnosti pohonů posuvů i vřeten pomocí doplňkových diagnostických snímačů ve vybraných místech stroje, širší možnost zásahu do řídicího a diagnostického software
- Vývoj a nasazení softwarových prostředků pro potlačování vibrací v rámci řídicích systémů
- Vývoj autonomních zařízení, která budou průmyslově nasaditelná a která bude možné montovat jako příslušenství na již hotové stroje, vyzkoušení na konkrétním stroji
- Minimalizace reziduálního kmitání při rozbíhání a brzdění pohonů pomocí rozboru frekvenčních spekter, získaných z předepsaných kinematických veličin
- Zpřesnění otáčkových diagramů stability obrábění zahrnutím dynamické poddajnosti regulace pohonů posuvů
- 1 - 2 pracovníci na plný úvazek

Doporučený řešitel

- VCSVTT; výrobci strojů (obecně); výrobci CNC řídicích systémů; výrobci komponent a univerzálních konstrukčních celků

3.1.6. (T45) Spolehlivější a snazší nasazení senzorů/ aktuátorů

Navrhovatel

- Ing. David Burian, Ing. Lukáš Novotný a kol. (ČVUT v Praze)

Vazba tématu na SVA

- (U: 74, 77)
- Spolehlivější a snazší nasazení senzorů/aktuátorů založené na kombinaci nebo dalším zpracování v současné době již dostupných a řízených dat/signálů (povede ke snížení počtu zdrojů poruch). (Téma 82)
- Úzké provázání s velkým počtem témat VaV (zejména na téma 74 a 77). Nelze řešit samostatně, některé závěry budou proto opakovány i v dalších tématech.

Komentář k aktualizaci

- Téma platí beze změn. Doplněna byla senzorika pro vyhodnocování samobuzených kmitů.

Stručný popis stavu problematiky ve světě

- V současné době výrobci obráběcích strojů nabízejí produkty s vysokým stupněm diagnostiky (senzoriky). V podstatě každá z firem má svoji řadu TOP strojů, kde je příjemná (jednodušší) obsluha a spolehlivost (přesnost) stroje zajištěna nadstandardním užitím senzoriky a mechatroniky. Je diskutabilní, zda tyto stroje tvoří hlavní příjem z prodeje, ale každopádně ukazují cestu, kudy se v následujících letech zřejmě bude ubírat vývoj. Současně se snižující se cenou senzoriky a elektronických komponent pronikají dnes diagnostické prvky snáze do konečných aplikací. Lze snadno předpovědět, že tento trend bude pokračovat, Zda stoupne procento prodeje těchto strojů závisí na jejich konečné ceně. Podobná situace se jeví u mechatronických prvků (aktuátorů).
- Z hlediska využití jednotlivých senzorů je třeba dodat, že často jsou jejich výstupy zpracovávány odděleně, bez ohledu na další diagnostické signály. Např. je sledován proud motoru, z něhož se vyvozuje zatížení, ev. zvýšení opotřebení nástroje, zvýšení tření (chyba mazání) atp., ale nejsou současně brány v potaz další informace (např. z akcelerometrů, které jsou obecně také citlivé na některé z výše uvedených poruch). Nedochází ke komplexnímu porovnání signálů a vícekriteriální diagnostice.

Současný způsob řešení problematiky v ČR

- Téma rozvoje integrace senzorů není v ČR samostatně systematicky rozvíjeno v žádném projektu. Téma má však vazbu na inteligentní stroj a diagnstikovatenost stroj a procesu a je tedy obsaženo jako základní funkcionalita v mnoha řešených projektech, např. WP4, WP6, WP9 projektu CK SVT.

Cíle a praktické výstupy pro obor/průmysl

- Využívat nejmodernější senzoriky a mechatronických prvků. Snaha připravit využití i u starších strojů.
- Optimální využití informací ze všech dostupných senzorů, vzájemná interakce diagnostických parametrů vyúsťující v přesnější diagnózu.
- Ucelená diagnostika s funkční zpětnou vazbu – (řízení, aktuátory). Tj. po správně vyhodnocené analýze stavu vybrat optimální možnosti řešení v rámci daného stupně inteligence. Např. při vyhodnocení nadměrných samobuzených vibrací buď zastavit stroj nebo snížit parametry obrábění.
- Vytvoření modelových případů. Např. „U svislých soustruhů dochází k těmto a dalším poruchám. Ty lze diagnostikovat takto, těmito senzory a je třeba dbát těchto konstrukčních doporučení…“ podobně pro další typy strojů. Jde z velké části o rozsáhlou experimentální činnost, na kterou musí přistoupit výrobce OS (zatím se příliš neděje).
- Fungujícími příklady přesvědčit výrobce o potřebnosti diagnostiky. Na příkladech ukázat návratnost investic.
- Integrovat do řídicího systému veškeré signály a pomocí inteligentního sytému, který může být založen například na vhodně zvolené klasifikační metodě určovat stav stroje. Touto metodou pak lze nasazovat jen takové snezory které jsou nutné, a ty senzory, které byly nepostradatelné v minulosti nahradit softwarovým řešením. Lze však postupovat i naopak, že pomocí centralizovaného vyhodnocování pokročilými metodami, lze získávat ze stejného, nebo mírně zvýšeného počtu snímačů informace, které byly dříve zcela nedostuponé – jako například schopnost rozeznat samobuzené kmitání od poškození komponent stroje

Vlastní odborné zhodnocení přínosu tématu pro obor a průmysl v ČR

- Nasazení většího počtu senzorů a komplexního zpracování dat zvyšuje užitnou hodnotu stroje, zároveň však i jeho cenu. Nabídka takto osazeného stroje s fungujícími mechatronickými prvky je prestižní záležitostí každého výrobce a do jisté míry odráží jeho schopnosti zvládat moderní technologie. Tyto stroje se zřejmě nebudou prodávat ve velkém, ale zvládnuté principy lze rychle zúročit individuálním jednání se zákazníkem o realizaci stojů na míru (osazení diagnostických a mechatronických prvků dle přání zákazníka).
- Realizace zmíněných modelových případů (studií) vystaví ucelenou znalostní bázi využitelnou ve fázi konstrukce stroje („těmto chybám je nutné se vyhnout a to např. tímto způsobem“).

Způsob dosažení cílů

- Neustále sledovat vývoj nové senzoriky a mechatronických prvků. Jejich užití ve stávajících koncepcích strojů i u nových konstrukcí za účelem zvýšení užitné hodnoty stroje a jeho spolehlivosti. Nahrazování zastaralých prvků novými. Konkrétní příklady dle aplikace.
- Snaha o integrace všech signálů do jednoho systému DAQ, včetně signálů z primárních senzorů (proud, otáčky vřetene, teploty). Zde data zpracovávat a sledovat citlivost jednotlivých signálů ze senzoriky na určitou poruchu.
- Roztřídit druhy poruch, dále parametry (veličiny, senzory) nejlépe vystihující změnu stavu (rozvoj poruchy) do skupin a doporučit pro každou poruchu nejvhodnější diagnostické signály a jejich mezní hodnoty.
- Implementace těchto závislosti do jednoduchých diagnostických PLC, snaha o zpětnou vazbu v součinnosti s příslušnými aktuátory.
- Zobrazení veličin a jejich poměr k mezním hodnotám na speciální diagnostické obrazovce v rámci ŘS. Systém „rádce“ při problémech (co dělat v případě překročení některého z parametrů).

- Je nutná výrazná spolupráce s podniky na řešení jejich konkrétních problémů. Sumarizace experimentů, návrh systémových řešení. Jde o časově a finančně nákladnou záležitost.

Doporučený řešitel

- VCSVTT; výrobci strojů (obecně); výrobci CNC řídicích systémů; výrobci komponent a univerzálních konstrukčních celků; výrobci senzoriky a mechatronických prvků.

3.1.7. (T46) Kompenzace nepřesností víceosých frézovacích center

Navrhovatel

- Ing. Martin Morávek a kol. (ČVUT v Praze)

Vazba tématu na SVA

- (U: 45)
- VaV metod pro využití všech pohybových os u víceosých (frézovacích) strojů pro kompenzace nepřesností stroje. Řešení problému prostorových kompenzací závislých na kinematické konfiguraci pohybových os, na zatížení stroje a na teplotně-mechanickém stavu stroje.

Komentář k aktualizaci

- Text byl aktualizován a doplněn o aktuální stav moderních měřicích prostředků. Dále byly doplněny aplikace modelu geometrických odchylek stroje.

Stručný popis stavu problematiky ve světě

- Nepřesnostmi obráběcích strojů se obecně rozumí 1.) měřitelné geometrické odchylky NC pohybových os, 2.) odchylky pohybu přisoučinnostivíce NC os současně způsobených jednak nepřesnou transformací souřadnic, ale i dynamikou pohonů strojních os, 3.) odchylky dané konečnou přesností NC kódu, 3.) odchylky vyvolané staticko-dynamickým zatížením včetně tíhových sil, 4.) odchylky v důsledku nerovnoměrného teplotního pole stroje.
- Uvedené typy nepřesností 1.) až 4.) tvoří dílčí témata, která se dnes ve světě řeší obvykle odděleně, neboť komplexní řešení, i když by bylo žádoucí, je příliš komplikované. I v našem IAP jsou obdobná či dokonce stejná témata v oddíle Zvyšování přesnosti strojů. Aby nedocházelo k redundanci řešení a k nerealistickému vytěžování kapacit Centra, nebude do tohoto projektu zahrnut bod 3.), který řeší J. Rybín, P. Vavruška a j.. Také bod 4.) nebude zahrnut a bude v projektu dle řádku č. 48.
- Základem kompenzace nepřesností víceosých frézovacích center je kompenzace geometrických odchylek. Základy teorie položil v r. 1977 R. Schultschik v příspěvku pro 25/1 CIRP s názvem „The components of the volumetric accuracy“. Moderní teoretické řešení výpočtu, kompenzací a měření pro 4 základní kinematické konfigurace tříosých frézovacích strojů podal [Ch. Wang, Current Issue in Error Modeling - 3D Volumetric Positioning Errors, 2008]. Podrobný seznam dalších publikací o geometrických odchylkách, jejich výpočtu, měření a kompenzaci obsahují zprávy: [J. Vyroubal, V-08-010], [J. Hornych, O. Svoboda, J. Vyroubal, V-09-040], [G. Trmal, P. Bach, V-10-002]. [M. Morávek, V-11-033]. Posledně jmenované zprávy jsou soustředěny na problematiku pětiosých frézovacích strojů.
- Výpočtové modely pro stanovení volumetrické chyby polohy nástroje vůči obrobku jsou na půdě VCSVTT již částečně řešeny. Sestavení modelu tříosého horizontálního centra včetně základní verifikace funkčnosti modelu je prezentováno v [J. Švéda a kol., V-13-066]. Teoretický postup sestavení modelu pro výpočet volumetrické chyby pětiosého stroje je znám. Model pětiosého stroje je třeba verifikovat měřením na reálném stroji. Rozšířit metodiky sestavení výpočtového modelu i na další typy obráběcích strojů, především soustruhy a multifunkční obráběcí stroje.

- Pokud jde o zahrnutí vlivu zatížení strojů, tak odchylky geometrie od zátěže řešil teoreticky např. Ch. Wang (viz výše). Ve speciálních případech bylo zatížení vlastní vahou řešeno ve zprávách a disertaci Ing. P. Sedláčka, Ph.D., a také v jeho publikacích s prof. Ing. J. Zeleným, CSc. Tito autoři uvádí i další zdroje, např. Sartori S., Zhang G. X., 1995, Geometric Error Measurement and Compensation of Machines, Annal of the CIRP, 44/2: 599-609]. Kompenzaci odchylek od zátěže za provozu umožňují měřicí rámy, jejichž konstrukce je vhodně integrovaná do stroje ale přitom zátěží nedotčená. Viz práce Ing. J. Švédy a kol. Toto dílčí téma však bude řešeno v projektu: Švéda, „Metody integrace a využití přídavných odměřovacích systémů pro stálé měření deformací strojů“. Pokud bychom základní téma projektu dle ř. 59 rozšířili i na staticko-dynamické zatížení strojů od řezných sil, můžeme jen obtížně mluvit o kompenzacích těchto účinků ve smyslu jejich eliminace. Proto by bylo vhodné řešit toto dílčí téma také odděleně.

Současný způsob řešení problematiky v ČR

- Téma je rozvíjeno ve WP9 projektu CK SVT řešeného ČVUT v Praze a oborovými firmami.

Cíle a praktické výstupy pro obor/průmysl

- Je-li cílem kompenzace geometrických odchylek, pak základem je jejich experimentální zjištění vhodnou metodou. Dále je nutno zdokonalit analýzu takto získaných výsledků. Konfrontovat výsledky s měřením odchylek jinou metodou, především s moderními metodami měření přesnosti obráběcích strojů, kdy je na základě komplexního měření vyhodnoceno větší množství parametrů geometrické přesnosti. Vhodná metoda musí být nejen dostatečně přesná, ale také dostatečně rychlá. Lze využít systémů jako Laser tracker, laserové interferometry, MT-Check, dotykové skenovací sondy atd.
- Druhým cílem je rozšíření výpočtových modelů geometrických odchylek ze 3- na 5-osá frézovací centra. Modely budou v praxi sloužit k odhadu volumetrické přesnosti strojů v době jejich koncepčního návrhu, či k simulaci přesnoti konkrétních obrobků. Modely je rovněž možné využít k posouzení vlivu jednotlivých geometrických odchylek na výslednou, volumetrickou přesnost strojů s konkrétním uspořádáním pohybových os. Další využití modelů se nabízí v oblasti moderních měřicích metod, kdy je z jednoho měření matematicky získáno více parametrů geometrické přesnosti.
- Třetím cílem je aplikace již získaných výsledků kompenzace tíhových deformací v průmyslu!
- Vývoj metody pro rychlou kalibraci víceosých strojů. Metoda by měla být využitelná například v rámci automatického cyklu během pracovního procesu stroje. Jako perspektivní se jevý metody využívající referenčních kulových ploch a dotykových či skenovacích sond.

Vlastní odborné zhodnocení přínosu tématu pro obor a průmysl v ČR

- Čeští výrobci obráběcích strojů se problémům přesnosti trvale věnují. Požadavky na přesnost strojů však stále stoupají a navíc se přidružily problémy s 5-osými stroji, jmenovitě s transformací souřadnic, určením přesné polohy středů rotačních os v pracovním prostoru stroje a dynamickými chybami spojenými se součinností lineárních a rotačních os. I částečné řešení tématu by proto bylo přínosem.

Způsob dosažení cílů

- Aplikovat na 3-osých strojích Vektorovou metodu měření geometrických odchylek na dostatečném počtu strojů, aby se získaly důvěryhodné výsledky.
- Aplikovat na 5-osých strojích kuželový artefakt, MT Check a ball-bar.
- Prověřit možnosti dalších, dosud nepoužitých metod SW kompenzací.

- Prověřit možnosti využití moderních metod měření volumetrické odchylky na principu lasertrackerů a lesertrecerů, ale i na principu hmotných referencí, jako například přesné kulové plochy.
- Vývoj modelu geometrických odchylek se zahrnutím vlivu poddajnosti nosné struktury stroje.
- Úkol si vyžádá kapacitu 6 pracovníků.

Doporučený řešitel

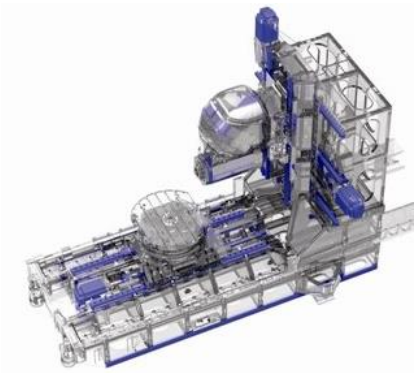
- VCSVTT; matematické ústavy (např. ČVUT FS - Ú 12101, UK MFF, MU AVČR); výrobci strojů (obecně); výrobci CNC řídicích systémů; uživatelé výrobních strojů (obecně); uživatelé strojů zabývající se výrobou tvarově složitých dílů, výrobci měřicí techniky

3.2. Teplotně-mechanické chování

3.2.1. (T47) Eliminace tepelných deformací obráběcích strojů pomocí inteligentního řízení chlazeni

Navrhovatel

- Ing. Jan Hornych, Ph.D. (ČVUT v Praze)



Vazba tématu na SVA

- (U: 35, 74, 90)
- Eliminace tepelných deformací nosných soustav obráběcích strojů, protékané a skrápěné rámy, chlazené pohony, symetrické konstrukce, softwarová kompenzace, inteligentní řízení chlazení s cílem zvýšení přesnosti. (B- Stavba strojů- Zvyšování přesnosti strojů- 1)
- Sběr a schraňování dat o prováděných procesech (především současný záznam odbavovaného NC kódu a záznam měření z diagnostických čidel např. na vřetenu a také záznam měření proudů na pohonech) (C- Inteligence strojů- Monitorování a vyhodnocení funkcí a vlastností stroje- 1)
- Adaptivní přizpůsobování režimu periferií (chlazení, vynašeče třísek, vysokotlaké agregáty). (C- Inteligence strojů- Samočinné přizpůsobování parametrů stroje- 2)

Komentář k aktualizaci

- Text byl výrazně doplněn o aktuální poznatky v oblasti chladicích agregátů obráběcích strojů.

Stručný popis stavu problematiky ve světě

- Tepelné chování obráběcích strojů je jednou z dílčích vlastností ovlivňující výslednou pracovní přesnost. Dalšími obecně známými faktory jsou statické a dynamické vlastnosti konstrukce, geometrická přesnost, kvalita řidícího systému, odměřování a pohonů etc. Ovšem právě tepelné chování představuje oblast, která má významné rezervy co do možností vylepšovat užitné vlastnosti strojů. Odchylka způsobená tepelnými deformacemi tvoří podle [Mutellip A., Zheng L., Yuan Y., Experimental Analysis and Modeling of Thermal Error for the Spindle of Machining Center, Key Engineering Materials, Trans Tech Publications, 1999] 40% až 70% a podle [Weck M., McKeown P., Bonse R., Herbst U., Reduction and Compensation of Thermal Errors in Machine Tools, Annals of the CIRP, Vol. 44/2, 1995] více než 50% z celkové výrobní odchylky způsobené všemi zdroji nepřesností.
- Současná opatření pro omezení vlivu tepelných deformací na výslednou pracovní přesnost lze rozdělit do následujících skupin: optimalizace tvaru nosné struktury; izolace zdrojů tepla a jejich lokální chlazení; celková teplotní stabilizace rámů; kompenzace tepelných deformací, tj. korekce polohy nástroje. Získání hodnoty potřebného korekčního posunutí nástroje bylo v případě teplotních deformací spojováno hlavně se softwarovými kompenzačními algoritmy – tedy časově reálnou simulací tepelného chování. Zejména v případě 5ti osých strojů lze pozorovat častější aplikace automatického inprocesního přímého odměřování teplotních driftů pomocí obrobkových sond, které najíždějí na kalibrované elementy rozmístěné v pracovních prostorech strojů. Pokud

je v rámci jednoho stroje těchto kalibrovaných elementů více, lze navíc získat informace o volumetrickém charakteru teplotních chyb.

- Výše zmíněná opatření nedosahují potřebných kvalit, žádaných uživateli obráběcích strojů. Potíže působí také vzájemná nepropojenost zmíněných aplikací, pokud se vyskytují na jednom stroji. Situace se však postupně mění [EMO2013].
- Optimalizované nosné struktury jsou u strojů s vysokými nároky na dlouhodobě udržitelnou výrobní přesnost relativně běžnou záležitostí. Postupně se také mění pohled na návrh chlezní takové optimalizované konstrukce. Výrobci obráběcích strojů se o lokální chlazení a celkovou teplotní stabilizaci více zajímají. A třebaže je stále velmi akcentováno primární ekonomické hledisko, tj. zlepšit užitné vlastnosti stroje pokud možno bez nárůstu jeho ceny nebo snížení marže, v případě dražších (hlavně 5ti osých) strojů je možnost aplikace lokálního chlazení (nikoli pouze vřetenových jednotek a případně oleje v převodovkách, ale také dalších pohonů) reálně zvažována. V jednom autorovi známém případě bylo další lokální chlazení již aplikováno a je tedy šance, že další případy budou následovat. Je třeba zdůraznit, že jednou věcí je aplikace chladicích okruhů v nosné struktuře stroje, ovšem druhou věcí je řízení distribuce chladicího výkonu. Protože se jedná o strategické know how, získat informace o jakémkoliv pokročilém způsobu řízení chlazení od zahraničních výrobců je velmi obtížné
- Na straně výrobců průmyslových chladnic je také možno pozorovat zvýšenou aktivitu. Tito výrobci se ve snaze zvýšit prodeje svých produktů o problematiku tepelného chování obráběcích strojů začínají zajímat; samozřejmě z té strany, kterou mohou svými výrobky ovlivnit. Je tedy možné, že budou ochotni standardně (a tedy bez drakonického zvedání ceny) aplikovat opatření zlepšující například rovnoměrnost chladicího výkonu a jeho řízenou distribuci.

Současný způsob řešení problematiky v ČR

- Téma inteligentního řízneí chladicích agregátů bylo rozvíjeno především v rámci projektů MPO řešených firmou Kovosvit MAS a ČVUT v Praze.

Cíle a praktické výstupy pro obor/průmysl

- Výzkum a vývoj adaptivně řízených chladicích systémů - tento koncept chlazení (ACC, Adaptive Cooling Control) respektuje momentální pracovní režim stroje, resp. zátěž od vnitřních zdrojů tepla a odvádí pouze odpovídající množství tepla. Eliminuje tak potenciální tepelné deformace. Pro řízení distribuce chladicího výkonu slouží časově reálný model založený na teplotně mechanických přenosových funkcích.
- Ze současných výsledků vyplývá, že v případě chlazení vřeteníků (smykadel) a vřetenových jednotek je prioritou především snaha o eliminaci úhlových projevů teplotních deformací a řízení příslušného chladicího okruhu tomuto cíli musí býti podřízeno. Lineární projevy teplotních deformací lze kompenzovat protipohybem strojních os; je zde tedy potřeba silné vazby mezi funkcí SW algoritmů a vlivem chladicích okruhů na průběhy těchto teplotních deformací.
- V případě chlazení strojních os je prioritou eliminace polohově závislých složek příslušných teplotních chyb. Stejně jako v předešlém případě, pro správnou funkci SW kompenzace musíme být schopni dostatečně přesně simulovat vliv chladicího okruhu na polohově nezávislou složku a identifikovat reziduální polohově závislé složky

Vlastní odborné zhodnocení přínosu tématu pro obor a průmysl v ČR

- Hlavním přínosem je zvýšení dlouhodobé pracovní přesnosti strojů bez nutnosti zásadních konstrukčních změn. Tím bude dosaženo vyšší konkurenceschopnosti běžně produkovaných typů strojů. Nemalou hodnotu představuje také rozšíření stávajících a získání nových znalostí v oboru obráběcích strojů.

Způsob dosažení cílů

- Studium tepelně-deformačního chování nosných struktur strojů, zejména se zaměřením na volumetrický charakter teplotních chyb. Jedná se především o zjištění polohové závislosti/nezávislosti měřených teplotních chyb a tím také o správnou funkci řízených chladicích okruhů a navázaných SW kompenzačních algoritmů (vazba na T48).,
- Pokračování ve vývoji průmyslové aplikace adaptivního řízení chladicího systému ACC a její praktické ověření ve výrobním provozu
- Identifikace tepelně-mechanického chování struktury vřetenové jednotky. Řízení chladicího režimu vřetenové jednotky musí respektovat omezení daná její konstrukcí (nebezpečí poškození ložisek). Znalost tepelně-mechanického chování, resp. identifikace působení a vzájemného ovlivňování jednotlivých zdrojů tepla působících v rámci vřetenové jednotky je důležitá pro součinnost chladicího systému a modelu SW kompenzací
- Identifikace vlivu technologického procesu na průběhy teplotních deformací. V rámci tohoto dílčího úkolu bude třeba poznat změny konvektivní okrajové podmínky v pracovním prostoru, dále tepelné toky do nástroje (dilatace nástroje), obrobku (dilatace obrobku), třísek a řezné kapaliny. V případě řezné kapaliny bude třeba identifikovat vliv změn její teploty na celkové průběhy teplotních deformací. Momentová zátěž elektrovřetena vede k nárůstu proudu a tím také k nárůstu tepelné ztráty na vinutí a kotvě. Vliv zesílení tohoto zdroje tepla je rovněž nutno podrobit zýzkumu. Bude také nutno zkoumat působení prohřátého nástroje na tepelně-mechanický systém vřetenové jednotky a o to, do jaké míry (a za jakých podmínek) se lze spoléhat na princip superpozice. V podstatě se jedná o problematiku „přelaďování“ dynamických systémů; v tomto případě tepelný tok do nástroje směřuje přímo proti tepelnému toku z rotoru vřetenové jednotky a právě na tuto interakci bude nutno se zaměřit.
- Celkem cca 4 plné úvazky v oblasti výzkumu a spolupráce podniků

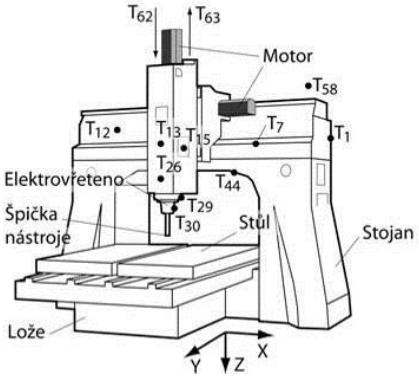
Doporučený řešitel

- VCSVTT; ústavy zabývající se mechanikou, mechatronikou a řízením (např. ČVUT FS - Ú 12 105, UTIA AVČR); výrobci strojů nabízející zákazníkům odladěné technologie (Kovosvit MAS a.s.); výrobci CNC řídicích systémů; uživatelé strojů zabývající se výrobou velmi přesných dílů

3.2.2. (T48) Predikce teplotních deformací stroje a jejich kompenzace

Navrhovatel

- Ing. Otakar Horejš, Ph.D., Ing. Jan Hornych, Ph.D. a kol. (ČVUT v Praze)



Vazba tématu na SVA

- (U: 35, 45, 42)
- Eliminace tepelných deformací nosných soustav obráběcích strojů, protékané a skrápěné rámy, chlazené pohony, symetrické konstrukce, softwarová kompenzace, inteligentní řízení chlazení s cílem zvýšení přesnosti. (B- Zvyšování přesnosti strojů-1)
- VaV metod pro využití všech pohybových os u víceosých strojů pro kompenzace přesnosti stroje. Řešení problému prostorových kompenzací závislých na kinematické konfiguraci pohybových os, na zatížení stroje a na teplotně- mechanickém stavu stroje. (B- Mechatronické zdokonalování vlastností strojů-1)
- Měření a kompenzace deformací vřetene a predikce deformací nástroje a obrobku. (B- Mechatronické zdokonalování vlastností strojů-1)

Komentář k aktualizaci

- Text je aktuální. Byly doplněny poznámky k praktické aplikovatelnosti metody přenosových funkcí.

Stručný popis stavu problematiky ve světě

- Kvalita řídicích systémů, pohonů a geometrická přesnost konstrukcí obráběcích strojů (OS) v současné době umožňuje dosahovat přesnosti (u běžných OS) v řádech mikrometrů, což je však za hranicí zanedbání teplotních dilatací stroje [Ramesh: Error Compensation in Machine Tools-a Review. Part II: Thermal Errors. International Journal of Machine Tools and Manufacture vol. 40, 2000]. Proto je třeba tyto teplotní chyby predikovat a následně i kompenzovat. Vhodným nástrojem pro predikci teplotních chyb je metoda konečných prvků (MKP). Tato metoda může sloužit, jak k predikci teplotních chyb [Jedrzejewski: Intelligent Supervision of Thermal Deformations in High Precision Machine Tools. Proc. 32nd Int. Matador Conf. 1997, Mian: Efficient Offline Thermal Modelling for Accurate Assessment of Machine Tool Thermal Behaviour. Laser Metrology and Machine Performance, 2009], tak např. optimalizaci konstrukce stroje z hlediska jejího teplotního chování ve fázi vývoje stroje [Piner: The optimization of design method for a thermally-robust machine tool spindle system. 58th CIRP General Assembly, 2008]. Nicméně klíčový problém těchto modelů spočívá ve stanovení okamžitých místních součinitelů přestupu tepla (SPT) na povrchu stroje a okamžité velikosti tepelných zdrojů na stroji. Na tato témata je třeba se v budoucnu zaměřit a tak zpřesnit okrajové podmínky a tím i výsledky samotných modelů.
- Modely založené na MKP však nelze z důvodu výpočetních časů použít pro kompenzaci teplotních chyb v reálném čase. Kompenzace teplotních deformací při řízení OS je obecně možné provádět buď přímo, nebo nepřímo. V případě přímé metody je zpravidla využíváno délkové měření pomocí sond (fa. Renishaw atd.). Výhodou odměřovacích metod je absence

složitého matematického modelu a jeho kalibrování. Velkou nevýhodou je však přerušování řezného procesu a tím snižování produktivity stroje a dále vysoká cena odměřovacího zařízení. Nepřímé metody jsou zpravidla založeny na měření teplot v několika místech OS (případně dalších dat jako je např. výkony motorů, otáčky vřetene apod.) a následném zpracování těchto dat pomocí určitého matematického modelu. Jedná se např. o modely založené na regresní analýze, tj. pevné funkční závislosti mezi teplotou v referenčním bodě (nebo v lepším případě rozdílem teplot) a relativní deformací v místě nástroj – obrobek. [Breiman: Estimation optimal transformations for multiple regression and correction. J. Amer. Statist. Assoc. vol. 80, 1985], neuronových sítích [Yang, Ni: Dynamic neural network modeling for nonlinear, nonstationary machine tool thermally induced error. International Journal of Machine Tools and Manufacture vol. 45, 2004] či přenosových funkcí (PF) [Brecher: Compensation of Thermo-elastic Machine Tool Deformation Based on Control internal Data. Annals of the CIRP vol. 53/1, 2004]. V současné době je úroveň nepřímých softwarových (SW) kompenzací velmi proměnlivá a je dána možnostmi konkrétního řídicího systému. V běžné technické praxi se příliš spoléhá na nejčastěji používaný empirický model, který je založen na regresní analýze. Hlavní výhodou tohoto typu SW kompenzací je, že jsou snadno implementovatelné do volně prodávaných řídicích systémů (např. Sinumerik). Nicméně i tyto řídicí systémy však zpravidla umožňují zadání pouze omezeného počtu polynomických koeficientů. Tak je tato kompenzace zpravidla účinná vždy jen pro konkrétní pracovní podmínky, pro které byly změřeny teplotní odezvy systému při kalibračním měření. Další nevýhodou těchto modelů je absence přesného způsobu stanovení počtu a pozic jednotlivých teplotních čidel. Nejvíce propracované úrovně dosahují japonští výrobci, díky vlastním řídicím systémům [firemní materiály Mazak, Mori Seiki, Okuma; EMO 2007 a 2009] a jejichž modely jsou pravděpodobně založené na složitějších matematických modelech. Podrobnější informace o umístění teplotních čidel na konstrukci stroje a metodě stanovení teplotních deformací na základě informací z čidel jsou vždy předmětem firemního tajemství.

- Teplotní deformace mají prostorový charakter, proto je třeba k jejich problematice i takto přistupovat. Doposud není známá dostatečně rychlá a efektivní metoda měření vlivu teplotních deformací na změnu volumetrické přesnosti obráběcího stroje. Jako vhodný přístup se jeví například práce [Gomez-Acedo, Olarra, lopez de la Calle: A method for thermal characterization of large gantry-type machine tools]. Informace o změně volumetrické odchylky v celém objemu pracovního prostoru stroje, spojená s informací o aktuální teplotě stěžejních komponent stroje pak může být využita pro softwareovou kompenzaci teplotních odchylek stroje, například pomocí přenosových funkcí.

Současný způsob řešení problematiky v ČR

- Téma je systematicky rozvíjeno v projektech MPO a TAČR firmy Kovosvit MAS a ČVUT v Praze; dále ve WP6 projektu CK SVT řešeného ČVUT v Praze a oborovými firmami.

Cíle a praktické výstupy pro obor/průmysl

- Výzkum a vývoj zpřesněných matematických modelů strojů (MKP) - zpřesňování informací o vlivu okrajových podmínek (především konvekce) na výsledky simulací. Zpřesněné MKP modely pak mohou sloužit výrobcům OS jako vodítko pro optimalizaci konstrukce stroje již ve fázi vývoje stroje.
- Výzkum a vývoj nových kompenzačních metod – vytvoření spolehlivých a dostatečně robustních kompenzačních metod (metoda založená na PF), které tak významně zpřesnění výrobu a zvýší jakost obrobků.
- Výzkum a vývoj nových postupů zavádění a zpracování softwarových kompenzací v řídicím systému stroje využívajících například výstupů přenosových funkcí, či jiných matematických modelů. Současně využívané, klasické kompenzační tabulky jsou pro tyto potřeby nedostatečné.

Je třeba vyvinout metodu pro online korekci polohy nástroje vůči obrobku pro konkrétní bod pracovního prostoru na základě predikovaných teplotních deformací.

- Výzkum a vývoj dostatečně rychlé a efektivní metody pro monitorování změny volumetrické chyby v celém objemu pracovního prostoru stroje způsobené teplotními deformacemi stroje. Metoda by měla být použitelná pro tříosé i pětiosé stroje malých i větších rozměrů.

Vlastní odborné zhodnocení přínosu tématu pro obor a průmysl v ČR

- Hlavním přínosem predikce teplotních deformací stroje je možnost ovlivnění přesnosti stroje již v konstrukční fázi (optimalizace konstrukce).
- V případě teplotních kompenzací dojde k výraznému zvýšení dlouhodobé pracovní přesnosti strojů bez nutnosti zásadních konstrukčních změn. Tím bude dosaženo vyšší konkurenceschopnosti běžně produkovaných typů strojů.

Způsob dosažení cílů

- Vývoj snímače pro měření součinitele přestupu tepla na povrchu, vývoj a výzkum identifikace zdrojů tepla v konstrukcích OS v reálném čase. (Měření, prováděná s již vyvinutými snímači pro měření hodnoty součinitele přestupu tepla, ukazují, že bude nutné provést zpřesňující kalibrace zaměřené na oblast nízkých rychlostí proudícího vzduchu (tzv. indukovaná rychlostní pole).)
- Výzkum a vývoj nových kompenzačních metod (především na principu přenosových funkcí). Testy na strojích, implementace těchto kompenzačních algoritmů do řídicích systémů strojů. Metoda založená na využití termomechanických přenosových funkcí (PF modely) se v porovnání s regresními modely ukazuje jako výhodnější. Nicméně měření partikulárních deformací jednotlivých částí nosné struktury má smysl jednak pro verifikaci MKP modelů, ale také pro zpřesnění PF modelů. Jde zejména o případy relativně dlouhých smykadel, kde teplotní tvarová změna má za následek silnou polohovou závislost teplotní chyby v místě nástroje.
- Vývoj rekonfigurovatelného měřícího rámu pro měření absolutních i relativních deformací ve vybraných místech většiny produkčních strojů. Identifikace vlivu technologického procesu na průběhy teplotních deformací. Jako vhodné se ukazují být kompozitní materiály na bázi uhlíkových vláken. Z těchto materiálů byly prozatím, v rámci přístupu „postupných kroků“ postaveny jednodušší měřicí rámy, které byly s úspěchem aplikovány. Výhodou těchto kompozitních materiálů je samozřejmě nízká hmotnost, ale zejména nízký koeficient tepelné roztažnosti.
- V rámci tohoto úkolu bude třeba poznat změny konvektivní okrajové podmínky v pracovním prostoru, dále tepelné toky do nástroje (dilatace nástroje), obrobku (dilatace obrobku), třísek a řezné kapaliny. V případě řezné kapaliny bude třeba identifikovat vliv změn její teploty na celkové průběhy teplotních deformací. Momentová zátěž elektrovřetena vede k nárůstu proudu a tím také k nárůstu tepelné ztráty na vinutí a kotvě. Vliv zesílení tohoto zdroje tepla je rovněž nutno podrobit výzkumu.
- Bude také nutno zkoumat působení prohřátého nástroje na tepelně-mechanický systém vřetenové jednotky a o to, do jaké míry (a za jakých podmínek) se lze spoléhat na princip superpozice. V podstatě se jedná o problematiku „přeladění“ dynamických systémů; v tomto případě tepelný tok do nástroje směřuje přímo proti tepelnému toku z rotoru vřetenové jednotky a právě na tuto interakci bude nutno se zaměřit.
- Identifikace vlivu technologického procesu na průběhy teplotních deformací (vazba na T47)
- Vývoj metody a zařízení pro měření změny volumetrické přesnosti stroje způsobené teplotními deformacemi stroje.
- Návrh metodiky pro online volumetrickou kompenzaci teplotních deformací na zakladě informací z predikčního modelu.

- Celkem cca 4 lidé v oblasti výzkumu (pro simulace a měření) + lidé ze spolupracujících podniků pro konkrétní ověřovací testy.

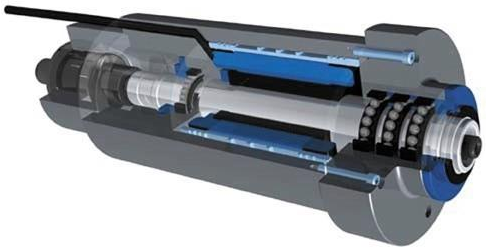
Doporučený řešitel

- VCSVTT; ústavy zabývající se mechanikou, mechatronikou a řízením (např. ČVUT FS - Ú 12 105, UTIA AVČR); výrobci strojů nabízející zákazníkům odladěné technologie (TAJMAC-ZPS, a.s., TOS VARNSDORF a. s. či KOVOSVIT MAS); výrobci CNC řídicích systémů; uživatelé strojů zabývající se výrobou velmi přesných dílů; výrobci měřicí techniky

3.2.3. (T49) Měření a kompenzace deformací vřetene a nástroje

Navrhovatel

- Ing. Jan Hornych, Ph.D. a kol. (ČVUT v Praze)



Vazba tématu na SVA

- (U: 42, 35, 37)
- Měření a kompenzace deformací vřetene a predikce deformací nástroje a obrobku. (B- Mechatronické zdokonalování vlastností strojů-1)
- Eliminace tepelných deformací nosných soustav obráběcích strojů, protékané a skrápěné rámy, chlazené pohony, symetrické konstrukce, softwarová kompenzace, inteligentní řízení chlazení s cílem zvýšení přesnosti. (B- Zvyšování přesnosti strojů-1)
- VaV metod integrace a využití přídavných odměřovacích systémů pro stálé měření deformací stroje. (B- Zvyšování přesnosti strojů-1)

Komentář k aktualizaci

- Text je aktuální. Byly doplněny poznámky k aktuálním měřicím metodám.

Stručný popis stavu problematiky ve světě

- Vřeteno obráběcího stroje je obvykle hlavním zdrojem tepla v konstrukci a jeho deformace, způsobené ohřevem patří mezi dominantní zdroje výrobních nepřesností [Weck: Handbook of Machine Tools: Metrological Analysis and Performance Tests. 1984]. Z tohoto důvodu řada výrobců vřeten (a zejména elektrovřeten) využívá různé typy chlazení tubusů vřeten či jeho hřídele [EMO 2009]. Nicméně chlazením lze odstranit přibližně pouze 80 % generovaného tepla [Walter: The Impacts of the New Aircraft Generation on HSM Spindle Developments. 7th International Conference on HIGH SPEED MACHINING, 2008] a tudíž nedojde k absolutní eliminaci teplotních posunutí na špičce nástroje. Nesprávně navržené chlazení tubusu může mít negativní vliv na pracovní stav valivých ložisek.
- Kromě teplotních deformací navíc vznikají axiální posunutí z důsledku čistě mechanického chování vřetena, které jsou zapříčiněny např. gyroskopickým momentem či odstředivými silami [Jedrzejewski: Modelling of angular contact ball bearings and axial displacements for high-speed spindles. CIRP Annals 2010]. Ke kompenzaci vzniklých axiálních posunutí vřeten (ať už z důsledku teplotního či čistě mechanického) se používají vestavěné bezkontaktní snímače polohy (např. fa. Micro-Epsilon). Tyto snímače však (z důvodu samotného umístění senzoru) nezahrnují prodloužení nástroje, způsobeného teplotním ohřevem. Navíc těmito snímači není možné posoudit vlivy jednotlivých fyzikálních jevů (mechanických a teplotních) na výsledné axiální posunutí. Proto vznikají podrobné komplexní matematické modely vřeten [Altintas, Cao: Virtual Design and Optimization of Machine Tool Spindles. CIRP Annals 2005], [Holkup: Complex Modelling of Spindle Rolling Bearings. Journal of Machine Engineering 6. 2008], které je však třeba neustále testovat a zpřesňovat. Ve výsledku matematické modely a/nebo výsledky systematických měření na stroji slouží k nastavení kompenzačních funkcí v řídicím systému stroje (popsáno ve specializovaných tématech). Matematické modely navíc umožňují optimalizaci konstrukce vřeten již ve fázi návrhu.

- Kromě výpočtových modelů by měl být výzkum zaměřen na nové přídavné odměřovací systémy, které měří deformaci přímo na špičce nástroje, protože spolehlivé principy měření polohy nástroje v oboru výrobní techniky dosud neexistují. Používají se nepřímé metody měření. V případě prostorového měření [Schroeder: Fast direct optical position measurement applied to parallel kinematics machines. Proceedings of SPIE, vol. 5602, 2004] potom mohutné souřadnicové stroje, kompaktnější souřadnicová ramena nebo laser-trackery, jejichž pracovní prostor je omezen použitým odražečem. Pro měření posunutí kolmých na osu pohybu je využíváno přímosti laserového paprsku [Gao: Measurement of multi-degree-of-freedom error motions of a precision linear air-bearing stage. Precision Engineering, vol. 30, 2006], avšak s jistými omezeními. Přesnost chodu vřetene v pěti stupních volnosti lze měřit bezkontaktně, pomocí laserového paprsku, viz [Murakami, Katsuki, Sajima, Simple and simultaneous measurement of five-degrees-of-freedom error motion of high-speed microspindle: Error analysis].

Současný způsob řešení problematiky v ČR

- Téma je systematicky rozvíjeno ve WP6 a WP9 projektu CK SVT řešeného ČVUT v Praze a oborovými firmami.

Cíle a praktické výstupy pro obor/průmysl

- Zpřesněné matematické modely vřeten - respektující různé detaily jako rotor vřetena, nástrojové rozhraní, návaznost s modelem teplotních dějů, měření tření na reálných ložiscích (výzkum zobecnitelných vztahů pro produkci tepla). Výzkum relevantních matematických modelů nástrojových držáků.
- Metody pro systematické měření odchylek stroje, jejich dekompozice pro určení příspěvků jednotlivých částí stroje a využití pro nastavení maximálně obecných kompenzačních funkcí v řídicím systému.
- Metody integrace a využití přídavných odměřovacích systémů pro stálé měření deformací stroje na špičce nástroje.

Vlastní odborné zhodnocení přínosu tématu pro obor a průmysl v ČR

- Hlavním přínosem tématu je dlouhodobé zvýšení dosažitelné provozní přesnosti výrobních strojů, lepší využití potenciálu jejich mechanické stavby, zvýšení jakosti a spolehlivosti výroby. Tím bude dosaženo vyšší konkurenceschopnosti běžně produkovaných typů strojů v ČR.

Způsob dosažení cílů

- Detailní studium a vývoj matematických modelů vřeten, jejich aplikace.
- Testy tření na reálných ložiscích (praktická měření, výzkum obecných vztahů pro produkci tepla). Výzkum relevantních matematických modelů nástrojových držáků.
- Ověřování nově vyvinutých modelů a metod praktickými zkouškami na tuzemských i zahraničních vřetenových jednotkách a strojích.
- Výzkum v oblasti technik pro měření odchylek strojů, metod pro zpracování dat a jejich využití pro nastavení obecných kompenzačních funkcí v řídicích systémech.
- Výzkum v oblasti měření polohy v prostoru: výzkum nových principů odměřování; zvětšení pracovního prostoru laser-trackeru ve smyslu zvýšení pracovního rozsahu odražeče. Měření volumetrického charakteru tepelného chování.
- Výzkum v oblasti měření a korekce přesnosti mechanického posuvu: výzkum metod založených na přímosti laserového paprsku.

- Celkem cca 4 lidé v oblasti výzkumu (pro simulace a měření) + 2 člověk ze spolupracujícího podniku pro konkrétní ověřovací testy.

Doporučený řešitel

- VCSVTT ve spolupráci s výrobci strojů nabízející zákazníkům odladěné technologie; výrobci komponent (zejména vřeten) a univerzálních konstrukčních celků; uživatelé strojů zabývající se výrobou velmi přesných dílů

3.3. Monitorování a diagnostika

3.3.1. (T50) Monitorování funkcí a vlastností stroje

Navrhovatel

- Ing. Petr Chvojka, Ph.D. a kol. (ČVUT v Praze)

Vazba tématu na SVA

- (U: 74, 75)
- Inteligence strojů Sběr a schraňování dat o prováděných procesech (především současný záznam odbavovaného NC kódu a záznam měření z diagnostických čidel např. na vřetenu a také záznam měření proudů na pohonech). VaV znalostních systémů. Rozpoznávání trendů a zákonitostí (metody, které dokážou z měřených dat, především z měření vibrací, teplot a proudů vyhodnocovat stav měřeného systému a predikovat poruchy, chyby a nutnost údržby). Algoritmy pro vyhodnocení aktuálních i budoucích stavů stroje, nástroje a upínače.

Komentář k aktualizaci

- Obsah tématu zůstal bez změn. Doplněn byl vliv pracovního prostředí na funkčnost systémů a celého stroje.

Stručný popis stavu problematiky ve světě

- Monitorováním funkcí a vlastností zde rozumíme takový záznam diagnostických veličin, podle kterého je možné dlouhodobě sledovat stav stroje nebo jeho důležitého uzlu, např. stav uložení vřetena a vývoj případné poruchy. Nebudeme tedy do monitorování zahrnovat běžné funkce sledované v PLC, např. uzavřené dveře pracovního prostoru.
- Samo monitorování funkcí a vlastností obráběcích strojů je již celkem běžnou záležitostí. Ovšem rozsah monitoringu se velmi různí. Výrobci nemohou zatím osadit stroj libovolným počtem senzorů kvůli jejich ceně, ceně jejich montáže i předpokládané údržby v provozu. Proto se monitoring omezuje na nejnutnější míru danou především mírou potřebnosti spolehlivého a bezporuchového provozu stroje.
- Obvyklé je monitorování stavu vřeten prostřednictvím snímání vibrací a teplot v blízkosti uložení nebo měření proudů a teplot v pohonech. Monitorují se běžně i teploty ložisek, případně teploty chladících médií, axiální vysunutí čela nástroje. Vřetena se chrání blokováním jejich spuštění v případě, že teplota uložení není dostatečná a vyžadují se otáčky cca nad 12 000 rpm.
- Sběr a schraňování dat ve formě odbavovaného NC kódu (hlášení o poruchách, ale i synchronizace všech událostí s NC kódem) a záznam průběhu zvolených veličin, např. proudu a teploty vinutí motoru, otáček lze se běžně na strojích realizovat (Simucom u ŘS Siemens a TNC Scope u ŘS Heidenhain, podobně také Mazatrol. Tyto sw však nejsou ve standardním balíku ŘS, je nutné je dokoupit). Data ze senzorů sledovaných ŘS lze ukládat do tomu určených

paměťových míst v ŘS. Tato data se však nijak nevyužívají k diagnóze stavu stroje a predikci dalšího vývoje.

- Domníváme se tedy, že zatím není obvyklý systémový a automatický sběr monitorovaných dat s cílem využít je při údržbě. Takové systémy jsou běžně na trhu pro jiné aplikace, ale uživatelé obráběcích strojů je nevyužívají často. Dávají přednost pochůzkovému sběru dat o strojích.
- Pokud je stroj vybaven dodatečnou diagnostikou (např. měření vibrací), data se zpravidla neukládají, pouze aktuálně zpracovávají. Vizualizace probíhá externě nebo v spec. screenu ŘS. Diagnostika je tak buď autonomní, nezávislá na ŘS nebo s ním komunikuje. Toto je standardně nabízeno (Prometec, Artis, IFM, …), ovšem zřídka využíváno. Problematice se věnují specializované firmy s dlouholetým vývojem. Data z ostatních diagnostických čidel se dlouhodobě neukládají také z kapacitních důvodů. Existuje sice komprese dat pro tyto účely (ADASH), ale v našem oboru se nepoužívá.
- Znalostní systémy pro vibrodiagnostiku existují, zpravidla však v rámci provádění off-line diagnostiky. Jsou z hlediska využitelnosti pro automatizované rozhodování stroje na velmi primitivní úrovni. V praxi se v autonomním módu nevyskytují (ovšem jednoduchý náznak viz adaptivní řízení – (Bnankamp, Prometec, Omative).
- Existují ochranné obvody na sledování stavu procesu obrábění (jedné operace, či sledu operací) při hromadné výrobě (Prometec, Artis, ..), kdy průběh proudů motoru či vibrací se při prvním běhu operace uloží, nastaví se toleranční pásma a pro další opakování této operace je aktuální hodnota veličiny porovnávána s tolerančními pásmy. Jde však pouze o ochranu, situace se komplexně nevyhodnocuje - neprobíhá žádná akce (nemění se např. řezné podmínky).
- Zmíněné firmy nabízejí sledování opotřebení nástroje založené na různých principech a na různé úrovni spolehlivosti (např. Prometec podle změny proudu pohonu vřetena). Lze také sledovat lom nástroje a kolizi. Řeší se zpravidla dodatečnou senzorikou (Prometec, Artis aj.). Opět jde o ochranu, nikoli o zpětnou vazbu na řízení.
- Existuje celá řada externích monitorovacích jednotek, je však důležité, aby komunikovaly s PLC stroje a měly tak vazbu na aktuální stav stroje (lze pak realizovat i diagnostiku řezného procesu).
- Stále častěji se lze setkat s vývozem strojů do strojírensky netradičních oblastí jako jsou některé asijské či jihoamerické státy. V těchto zemích nejsou pracovníci zvyklí na to, že přesně pracující stroj potřebuje ke své práci odpovídající podmínky, zejména tepelnou stabilitu prostředí. Významným faktorem, který situaci ještě zhoršuje, je fakt, že v těchto zemích dosahují teplotní výkyvy mnoha desítek stupňů. Jediným řešením je proto rozšířená senzorika sledující nejen stav stroje, ale také jeho aktuální geometrii a geometrii výrobků pracující v součinnosti s korekčními mechanismy. Stroje vybavené takovouto senzorikou musí být schopny spolehlivě a přesně pracovat v teplotách od 10°C až do teplot přes 40°C.
- Obecně se jedná o dynamicky se rozvíjející odvětví, ve kterém panuje velká konkurence, řeší jej specializované firmy. Vývoj probíhá na zakázku jiných odvětví, nikoli pro obráběcí stroje. Veškeré HW se díky hromadné výrobě tomu neustále zdokonaluje a zlevňuje.

Současný způsob řešení problematiky v ČR

- Téma monitorování funkcí a vlastností stroje bylo rozvíjeno v letech 2000 – 2011 v rámci projektu VCSVTT na příkladech sledování funkcí experimentálního stroje LM-2 a testovacího stavu vřeten SDV. V tématu existuje v ČR několik komerčních firem (např. AURA Milevsko, Adash aj.). Výzkumné aktivity tedy nejdou směrem vývoje nových systémů, ale hledáním filosofie správné implementace těchto systémů do reálných strojů. Téma není systematicky rozvíjeno v žádném projektu; rozvjí se však latentně v rámci ad-hoc projektů s komerčními firmami.

Cíle a praktické výstupy pro obor/průmysl

- Cílem i výstupem by byl nízkonákladový monitorovací systém s vlastnostmi a funkcemi, které by byly výjimečné. Např. by to byla nízká cena, jednodušší obsluha, vyšší odolnost proti atakům prostředí, dokonalejší detekce poruch apod.
- Dalším cílem, podléhajícím ovšem důkladnému marketingovému průzkumu, je tvorba znalostních systémů schopných jednoduchého vyhodnocení stávajících dat. Zatím bez predikce budoucího vývoje (to je myslím hudba vzdálené budoucnosti). Rozsahem jde o velmi komplexní problém, který lze pojmout od bazální úrovně automatizovaného vyhodnocení trendu až přes multikriteriální rozhodování o stavu stroje podle řady metod zpracování signálu z mnoha senzorů. Vše pro různé režimy (např. otáčky) provozu. Následným krokem by měla být implementace do ŘS (nebo alespoň zajištěna vzájemná komunikace a paralelní běh).

Vlastní odborné zhodnocení přínosu tématu pro obor a průmysl v ČR

- Čeští výrobci obráběcích strojů částečně nakupují vřetena (rychloběžná s integrovaným motorem), částečně si je vyrábí (klasická, pomaluběžná). Nakupovaná, vysokootáčková vřetena mají již adekvátní ochranu proti studenému rozběhu. Vyskytují se požadavky ochrany vřeten proti násilnému zacházení. Příslušná zařízení jsou poměrně nákladná a zvyšují neúměrně cenu stroje. Proto také bylo v Centru vyvinuto zařízení typu „Black-box“, které je nízkonákladové a plní ochrannou funkci.
- Bylo by tedy přínosem vyvinout nějaký komplexní systém monitorování stavu strojů. Podmínkou však je jeho nízká cena. Znamená to využít stávajících senzorů na strojích, zejména teploměrů, ale i např. odměřování poloh apod. Orientovat se v aktuální nabídce nové cenově dostupné senzoriky (např. kapacitní akcelerometry, jednoduché DSP). Cena by musela být konkurenční vzhledem k cenám zařízení domácích diagnostických firem např. ADASH, disponujících na trhu dokonalým monitorovacím systémem.
- Implementace znalostních systémů do řízení a provozu obráběcího stroje je jistě kvalitativní skok v užitné hodnotě stroje, ovšem vykoupený rozsáhlým vývojem a experimenty. Dodnes jsme nepřesvědčili českého zákazníka o potřebě diagnostiky v obr. stroji a přesvědčit jej o výhodách stroje se znalostními systémy a automatizovaným vyhodnocováním stavu stroje a predikcí poruch je mnohem složitější úkol. Jde tedy zřejmě o práci bez přímého propojení na poptávku a finanční možnosti zákazníka a tak je třeba k tématu přistupovat.
- Využití všech dat ze senzorů ukládaných v ŘS (proudy, otáčky, teploty) a ev. využití automatizovaného vyhodnocování trendů, nebo dokonce běh znalostních systémů si žádá sdílení PC s ŘS. Do tohoto sdíleného prostoru by také dodávala data nízkonákladová jednotka. Zjistit bezproblémovou komunikaci a robustnost aplikace je nelehký úkol.

Způsob dosažení cílů

- Jelikož je trh prakticky obsazen, musel by takový systém mít určité mimořádné vlastnosti nebo funkce ve srovnání se stávajícími systémy. Cestou je úzká provázanost se strojem přes PLC, komunikace s ŘS (sdílení dat z integrované senzoriky do ŘS ev. do budoucna uzavření zpětné vazby. To je ovšem obtížně realizovatelné vzhledem k uzavřenosti ŘS). Dále je třeba konkurovat uceleností nabídky, tj. vývoj na míru, instalace zařízení a nastavení přístroje dle potřeb zákazníka, sdílení metodiky, odborný servis.
- Vývoj specializovaného expertního systému.
- Připravit implementaci expertního systému do ŘS, zajistit vzájemnou komunikaci s nízkonákladovou monitorovací jednotkou (žádá si současně vývoj složitější jednotky).
- Úkol si vyžádá kapacitu 4 pracovníků Centra v průměru na 60% úvazek po dobu 4 let. To znamená cca 3 mil. Kč za 4 roky na mzdách plus režijní náklady včetně údržby přístrojů a PC,

plus materiál a případně přístroje v hodnotě cca 500 tis Kč. Plus náklady vývojářské firmy cca 900 tis. Kč za 3 roky vývoje.

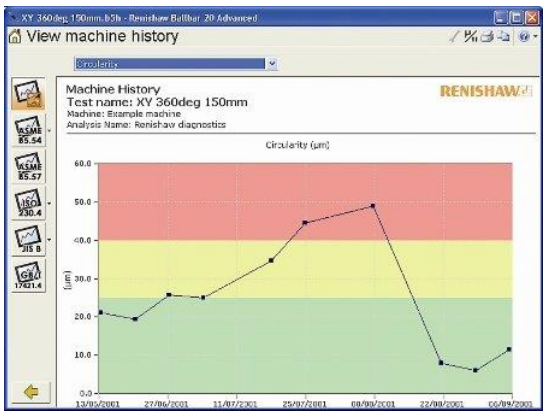
Doporučený řešitel

- VCSVTT; výrobci strojů (obecně); výrobci CNC řídicích systémů; firmy zabývající se vývojem software; uživatelé výrobních strojů (obecně)

3.3.2. (T51) Senzorika, zpracování signálu a diagnostika strojů

Navrhovatel

- Ing. David Burian, Ing. Jiří Švéda Ph.D. a kol. (ČVUT v Praze)



Vazba tématu na SVA

- (U: 78, 82, 94, 95)
- Identifikace a extrahování užitečných dat a informací z instalované senzoriky a technologie na stroji. Tzv. "bezsenzorová diagnostika", sběr dat a jejich vyhodnocení z existujících signálů a informací ve stroji bez další přidané senzoriky (low - cost diagnostika). (C - Měření a diagnostika strojů - zdokonalené, rozšířené a nové metodiky měření – 1, Téma 78)
- Zdokonalení metod vzdálené diagnostiky a měření na strojích, zajištění bezpečnosti při provádění testů a měření na dálku. (C - Měření a diagnostika strojů - zdokonalené, rozšířené a nové metodiky měření – 1, Téma 82)
- On-line monitorování řezného procesu. Sběr a schraňování dat o prováděných procesech, rozpoznávání trendů a zákonitostí a vývoj metod pro volbu optimálních řezných podmínek přímo během obrábění (beze změny NC kódu). (C - Adaptivní řízení řezného procesu – 3, Téma 94)
- Přizpůsobovací on-line algoritmy ke zvýšení přesnosti a výkonnosti (měření a zasahování do řezných podmínek a řiditelných vlastností). (C - Adaptivní řízení řezného procesu – 3, Téma 95)
- Bezdrátová senzorika a robustní přenos signálů z pohyblivých, rotujících nebo vzdálených částí. (C - Měření a diagnostika strojů - zdokonalené, rozšířené a nové metodiky měření – 1, Téma 79)
- Spolehlivější a snazší nasazení senzorů/aktuátorů založené na kombinaci nebo dalším zpracování v současné době již dostupných a řízených dat/signálů (povede ke snížení počtu zdrojů poruch). (C - Měření a diagnostika strojů - zdokonalené, rozšířené a nové metodiky měření – 1, Téma 77)
- Pokročilá vyhodnocovací elektronika, signálové procesory, zpracování dat v blízkosti senzoriky. Okamžité použití vyhodnocených dat na místě (např. pro řízení) nebo následný digitální přenos dat (pro monitoring). (Úkol 81).

Komentář k aktualizaci

- Oblast diagnostiky a senzoriky je v obráběcích strojích poměrně rozsáhlá; velmi špatně ji však lze dělit na podčásti, protože pro správnou funkci stroje je třeba kombinovat typy senzorů, zpracování jejich signálů i navazující diagnostické funkce. V této revizi byla tedy do této kapitoly shrnuta všechna témata související se senzorikou a zpracováním signálu z původních témat T51 Bezsenzorová diagnostika, (T52) Bezdrátová senzorika a (T53) Pokročilé vyhodnocování signálů. Byl aktualizován název. Téma navazuje na (T50) Monitorování funkcí a vlastností stroje a pomáhá řešit (T54) Zdokonalení vzdálené diagnostiky a zajištění bezpečnosti.

Stručný popis stavu problematiky ve světě

- Většina samostatných celků obráběcích strojů obsahuje základní čidla např.: otáček, teplot + informace o proudu motorů dostupných z řídící jednotky měničů. Vzhledem, k tomu, že tyto

informace jsou k dispozici standardně, lze při jejich druhotném využití hovořit o bezsenzorové diagnostice.

- Přední světové firmy využívají pokročilých SW metod pro zvyšování přesnosti a výkonnosti strojů bez potřeby zástavby přídavných čidel. Lze tak např. predikovat teplotní deformace a ty pomocí pohybových os kompenzovat. Tomu předchází proces „učení se“ závislosti deformací na zmíněných veličinách v různých režimech. Viz: [http://english.mazak.jp/technology/intelligent/its.html].
- V některých případech jsou ve vřetenech integrovány čidla vibrací. Pomocí SW integrovaného do CNC lze tak snižovat vibrace přeladěním systému – změnou otáček. Viz: [www.okuma.com].
- V posledním desetiletí se rozšířilo využití znalosti proudu vřetene k určení otupení nástroje. V takovém případě je specializovaný SW integrován do CNC, včetně samostatné obrazovky vyčleněné pro monitorovací účely. Viz: [www.prometec.com]. Omezené schopnosti SW řešení však nedovolují spolehlivě detekovat lom nástroje, nebo kolize v pracovním prostoru. V takovém případě je nutné instalovat dodatečnou senzoriku.
- Senzorika je nutnou součástí diagnostikovatelnosti systému. Je však také zdrojem přidaných nákladů; na druhou tranu lze ze stroje získat množství využitelných signálů bez přídavných senzorů. Tzv. lze bezdrátovou senzoriku rozdělit na dvě skupiny: 1) Základním důvodem pro použití bezdrátového přenosu dat jsou technické obtíže, například přenos informace krouticího momentu hřídele na stator; 2) Důvodem použití bezdrátového přenosu je vysoká cena vedení kabeláže či jejich problematická instalace.
- Moderní senzorika využívá bezdrátový přenos změřeného signálu [www.kistler.com], [www.dittel.com], [www.prometec.com]. Bezdrátového přenosu u produkčních obráběcích strojů se běžně užívá pouze pro automatické vyvažování brusek. V tomto případě se ale nejedná o čistý přenos snímaného signálu, ale o přenos pokynů k natočení vyvažovacích závaží a potřebné energie.
- Pro měření různých veličin se používají snímače s analogovým výstupem, který zejména v průmyslovém prostředí nemusí z důvodu el. rušení splňovat požadované nároky. Je snahou umisťovat měřicí zařízení (např. ústřednu) co nejblíže ke snímači, což může být v průmyslových podmínkách a u větších distribuovaných systémů obtížně proveditelné. Je jistým vývojovým trendem všechny analogové měřené signály digitalizovat buď přímo v místě snímače, nebo v jeho bezprostřední blízkosti. Data ze snímače do ústředny mohou být přenášena již digitálně po rychlé komunikační lince.
- Pokročilou vyhodnocovací elektronikou lze chápat také unikátně naprogramovaný signálový procesor (DSP) vyhodnocující např. vibrace na brousícím vřetenu, následný výpočet vývažku a přesunu závaží na potřebné místo – automatické vyvažování brusek [Dittel, Marposs a další] a dále obdobu adaptivního řízení řezného procesu od firmy [Okuma] M Navi M-g a M Navi M-i bránící vzniku samobuzeného kmitání při frézování. Dále by bylo možné jmenovat další firmy zabývající se toto problematikou [Bnankamp, Omative, Prometec, Artis]. To už jsou však praktické aplikace dobře zvládnutého vyhodnocení signálu.
- Součástí moderních řídicích systémů (Heidenhain) jsou již také řešení pro dlouhodobý monitoring práce pohonů stroje, který je možno využívat dále k vyhodnocení činnosti stroje.

Současný způsob řešení problematiky v ČR

- Téma není systematicky rozvíjeno v žádném projektu. V této oblasti existuje dost komerčních řešení, je tedy snahou je využít v rámci ad-hoc projektů s komerčními firmami.

Cíle a praktické výstupy pro obor/průmysl

- Umožnit kvalitní měření signálů s cílem eliminovat elektrické rušení.

- Vývoj SW schopného rychlého zpracování dat, která jsou na současných strojích běžně dostupná. Na základě předešlých znalostí, získaných několika cestami, by takový SW měl být schopen efektivně a správně ovlivňovat rychlosti, zrychlení a další parametry instalovaných akčních prvků. Tímto ovlivňováním by mělo dojít ke zvýšení výkonnosti, přesnosti, životnosti, souběžně se snížením vibrací, hlučnosti a energetických ztrát. SW musí být schopen práce na běžně používaných systémech jako Sinumerik, Heidenhain, Fanuc, Mefi.
- Ověřování výsledků řešení na vybraných případech v praxi
- Stále více lze sledovat snahu uživatelů obráběcích strojů vyrábět na strojích pro frézování a soutružení vysoce přesné obrobky, jejichž výroba byla dříve výsadou brusek a jiných vysoce přesných dokončovacích strojů. Lze se například setkat s požadavky zákazníků na soustružení s přesnostmi v řádech jednotek mikrometrů. Ke spolehlivému naplnění tkovýchto požadavků je však potřeba stroj osadit odpovídající technikou. Součástí této techniky bude jistě i bezdrátový přenos signálu. Je pravděpodobné, že například informace o prodloužení frézovacího nástroje vlivem teplotních dilatací, bude hrát klíčovou roli pro uspokojování stále rostoucích požadavků na přesnost.
- Jako významná část trhu s obráběcími stroji se objevuje jejich rekonstrukce, případně doplňování obráběcích strojů o nová měřicí zařízení, či aktuátory. V obou případech je však nutné vyřešit problematiku vedení kabelů na kompletním stroji. V takovýchto případech je nasazení bezdrátové senzoriky a bezdrátového přenosu signálu velice vhodným řešením, které nabízí možnost nejen časových a finančních úspor, ale zároveň minimalizuje riziko poškození stávající kabeláže na stroji a tím jeho případného vyřazení z provozu
- Vyhodnocovat na místě vibrační data přímo v DSP a po digitální lince posílat jen oznámení o událostech a o trendu veličiny – poloautomonní monitorovací jednotka. Výhoda tkví ve výrazném zmenšení objemu přenášených dat. Zvýšení spolehlivosti zpracování (na místě vs. na dálku).
- Vyvíjet nové metody zpracování signálu, které je možné aplikovat na levných DSP instalovaných na stroji v průmyslu. Vyvýjené algoritmy by měly být schopny nejen data vhdodně zpracovat, ale také je vyhodnocovat a trendovat změřená frekvenční spektra a nejen celkové hodnoty. Výhodou je možnost sledování frekvenčních spekter s přihlédnutím k aktuálním otáčkám vřetene. V takových případech se dostává trendování a porovnání s limitními hodnotami do kvalitativně vyšší dimenze.

Vlastní odborné zhodnocení přínosu tématu pro obor a průmysl v ČR

- Použití bezsenzorové diagnostiky, je zaměřeno především na maximální zvýšení užitné hodnoty strojů nižší cenové kategorie a pro stroje, které jsou již nasazeny v provozu.
- Pro již pracující stroje může být instalace přídavných senzorů komplikovaná, proto je pro ně SW řešení vhodnou volbou.
- Výsledným efektem je maximalizace využití stroje, úspora nákladů a přírodních zdrojů současně se zvýšením zisku uživatele i výrobce stroje.
- Pro stroje vyšší cenové kategorie s možností instalace přídavných senzorů je využití metod a řešení bezsenzorové diagnostiky vhodné pro zvýšení spolehlivosti vlivem redundance vyhodnocovaných signálů
- Neustálé požadavky zákazníků ke zvyšování výkonnosti OS vede k přetěžování jednotlivých celků. V současné době, kdy není prostor na odpovídající zkoušky, je zástavba a správné využití senzoriky jediným řešením, jak zjistit stav stroje. Na základě znalosti potřebných údajů lze modifikovat programy, rychlosti, správně volit nástroje a řezné podmínky a hlavně dostat zpětnou vazbu pro konstrukci dalších strojů. Tím lze posoudit, zda má daná konstrukce výkonové rezervy, nebo je již překračuje. Je věcí konkrétní aplikace, zda použít bezdrátovou, nebo drátovou variantu senzoriky.

Způsob dosažení cílů

- Použití ověřeného systému s prvky umělé inteligence. Na základě vypočítaných, změřených a různorodých empirických dat by takový systém měl být schopen sestavit soubor základních předpokladů pro optimální provoz stroje. Tyto předpoklady by pak systém, pomocí kognitivních metod, postupně doplňoval. Proces učení může probíhat jak v laboratoři výrobce, tak u zákazníka.
- Stroje u zákazníka by měly být vybaveny schopností komunikace s výrobcem, aby nemusely všechny stroje procházet stejnými výukovými úskalími a proces učení se tak zrychlil.
- Proces učení lze aplikovat na systému vyšší programové úrovně, než té, která bude finálně využita u produkčních strojů. Programovým prostředím vyšší úrovně lze považovat prostředky jako je LabView či Matlab. Programové prostředky, které budou aplikovány na produkčních strojích, budou odvislé od použitého hardware, respektive takového softwareového vybavení které k němu jeho výrobce dodává. Využitím dvojího programového prostředí (vyšší a nižší úrovně) lze algoritmus odladit rychleji, s vyšším komfortem a nižším rizikem výskytu chyb. Teprve odladěný algoritmus lze pak použít v zařízení určeném pro průmyslvé použití u stroje.
- Pro první kategorii bezdrátové senzoriky je nutné vyvinout AD převodník s vysílačkou zcela minimálních rozměrů, aby je bylo možné použít na široké škále strojů včetně míst s vysokým dynamickým zatížením. Takový převodník by měl být univerzální, aby se dosáhlo potenciálu rychlého nasazení u zákazníka s různorodými požadavky na měření. Odstranila by se tím dlouhá časová prodleva při vývoji specializované jednotky – dle konkrétního zadání. Převodník by zároveň měl obsahovat napájení snímačů (akcelerometrů, tenzometrů apod.). Linearizace by byla prováděna na straně přijímače.

Doporučený řešitel

- VCSVTT; výrobci strojů (obecně); výrobci CNC řídicích systémů; výrobci komponent a univerzálních konstrukčních celků; participace VCSVTT zejména při plnění primární báze dat (výpočty, měření, znalosti různorodých vazeb navzájem se ovlivňujících, filozofie celého systému); specializovaná pracoviště zaměřená na analýzu velkých dat.

3.3.3. (T54) Zdokonalení vzdálené diagnostiky a zajištění bezpečnosti při provádění testů na dálku

Navrhovatel

- Ing. Petr Chvojka, Ph.D. a kol. (ČVUT v Praze)

Vazba tématu na SVA

- (U: 82)
- Zdokonalení metod vzdálené diagnostiky a měření na strojích, zajištění bezpečnosti při provádění testů a měření na dálku. (Úkol 82).
- Úzké provázání s velkým počtem témat VaV (zejména na téma 78 a 79). Nelze řešit samostatně, některé závěry budou proto opakovány i v dalších tématech.

Komentář k aktualizaci

- Obsah tématu byl aktualizován podle současného stavu techniky.

Stručný popis stavu problematiky ve světě

- Dálková diagnostika obráběcích strojů není novou věcí. Na určitém stupni vývoje ji nabízí většina výrobců obr. strojů. Jde však zpravidla o vyčítání paměti událostí v servisním módu stroje ev. o výčet průběhu některých zaznamenávaných veličin (proudy pohonů, teplota vinutí motoru atp. - pokud to systém umožňuje). Dalším příkladem je možnost zjištění, ev. změny nastavení stroje (konstanty pohonů). Dále lze také na dálku zjistit pracovní vytížení stroje. Systém funguje tak, že přes internet je možné sdílet dialogové menu ŘS, servisní technik má přístup k funkcím tak, jako by byl přímo u stroje, klávesnicí může na dálku ovládat menu CNC. Samotný komunikační software v sobě nezahrnuje žádné nástroje diagnostiky. Diagnostik pouze na dálku využívá interních diagnostických možností řídicího systému. S obsluhou stroje může komunikovat pomocí funkce CHAT.
- Dálková diagnostika se dnes využívá se jako ekonomické řešení triviálních problémů u zákazníka. V okamžiku, kdy je problém zásadnějšího charakteru je šance jej vyřešit v součinnosti s obsluhou přítomnou u stroje (zmíněná funkce CHAT). Zásadní problémy, především HW rázu, musí však většinou řešit specialista přímo na místě. Tato funkce nabývá na významu u velmi vzdálench zákazníků nebo v případěch, kdy je věc nutno řešit promptně, bez prostojů (cesta technika na místo).
- Existují systémy, které umožňují pověřené osobě zjistit na dálku aktuální stav stroje (z předdefinovaných možností, např. stroj je vypnut, stroj obrábí, stroj je zapnut a nepracuje, stroj je v chybě atp.) přes GSM. Vždy je však třeba součinnosti s majitelem stroje (zákazníkem), který musí umožnit sdílení dat.
- Dále existují autonomní systémy, které tvoří jakousi nadstavbu diagnostických funkcí stroje a mohou mít sdruženou nebo samostatnou komunikační linku. Nebo mohou být naprosto autonomní. Jde o systémy sledování přetížení vřetene, neautorizovaných zásahů obsluhy atp. (systémy typu černá skříňka).
- Diagnostické systémy strojů vybavených vzdáleným přístupem jsou založeny na využití signálů z množství snímačů pro sledování klíčových částí stroje. V případě vysokorychlostních strojů se

pozornost soustřeďuje zejména na vřeteno stroje. Pro diagnostiku ložisek vřeten jsou klíčovými čidly piezokeramické akcelerometry. V diagnostickém systému mají své místo i teploměry, nicméně lze očekávat a všechny dosavadní zkušenosti k tomu nasvědčují, že teploměry nejsou nejvhodnějším zdrojem informace pro včasné vyhodnocení nežádoucích dějů a poruch vyskytujících se na vřetenech.

Současný způsob řešení problematiky v ČR

- Téma není systematicky rozvíjeno v žádném projektu. V této oblasti existuje dost komerčních řešení, která jsou využívána oborovými firmami.

Cíle a praktické výstupy pro obor/průmysl

- Cílem je rozšířit stávající možnosti diagnostiky stroje, bez ohledu na realizaci komunikce pro vzdálenou diagnostiku. Komunikace je je z technického hlediska zajistitelná (jedná se o zvládnutou problematiku - na trhu existuje řada firem nabízejících kompletní řešení). Takže zmíněné rozšíření diagnostických možností v podstatě znamená integraci dalších diagnostických komponent (např. signálů z externích senzorů) do ŘS. V okamžiku, kdy se objeví v dialogovém menu ŘS (např. jako spec. diagnostický screen), lze data z těchto senzorů sledovat a analyzovat na dálku. V tuto chvíli již probíhá skutečná dálková diagnostika.
- Dalším cílem je bezpečně ošetřit možnost spustit na dálku např. určitou diagnostickou sekvenci (specifickou operaci, rozběh vřetene atp.) a vyčítat aktuální naměřená data (např. vibrace).
- Výstupem by byly i praktické testy na reálných strojích s různým stupněm složitosti diagnostiky. Součástí by byla instalace specializované senzoriky, naladění komunikace, testování robustnosti systému atp.

Vlastní odborné zhodnocení přínosu tématu pro obor a průmysl v ČR

- Jde o kompetitivní záležitost. Nabídka komplexní dálkové diagnostiky stroje zvyšuje jeho užitnou hodnotu. Podmínkou úspěšné realizace je navázání spojení (což není samozřejmostí) – je nutné správně nastavit přístupová práva pro diagnostika na straně zákazníka. Z hlediska systémového tedy není rozdíl mezi zavedením diagnostiky do stroje sloužící pro analýzu v místě stroje a pro vzdálený přístup. Jinými slovy, rozšíří-li se diagnostika samotného stroje, rozšíří se i možnosti vzdálené diagnostiky (za výše uvedených podmínek komunikace, sdílení dat s ŘS atd.).
- Vývojem HW pro vzdálenou komunikaci a správu se v ČR zabývá řada firem, jde o standardní dostupné prvky. Cílem je optimálně využít stávající možnosti HW. Dále návaznost na senzorickou část, viz T51.
- Bezpečnost na dálku obsluhovaného stroje je samostatnou kapitolou, je nutné řešit individuálně

Způsob dosažení cílů

- Vývoj nízkonákladových diagnostických komponent (jednotek), komunikujících s PLC a ŘS. Jejich implementace a bezporuchová součinnost s ŘS. Využití stávajících zařízení na trhu, instalace nízkonákladových senzorů technologie MEMS atp.
- Výběr optimálních prostředků komunikace pro dálkovou diagnostiku (s ohledem na množství a charakter přenášených dat).
- Spuštění diagnostické sekvence ze vzdáleného dispečingu naráží na bezpečnost práce obsluhy a eliminaci případných materiálních škod při neplánovaných kolizích. Tyto diagnostické testy by zřejmě byly nutné realizovat za přítomnosti poučené obsluhy stroje nebo by byl podmínkou spolehlivě fungující sw zabraňující případným kolizím.
- Variantou je i spolupráce s obsluhou stroje, kdy obsluha spouští zmíněnou diagnostickou sekvenci, kontroluje zpracování dat (může např. provés i některá nestandardní měření dle

instrukcí operátora dispečingu) a naměřená data pošle k analýze k výrobci (do diagnostického dispečingu výrobce nebo specializované diagnostické firmy).

- Je předpoklad, že na místě by proběhl pouze sběr dat a zpracování by se realizovalo na vzdáleném diagnostickém pracovišti. Vzhledem k objemu přenášených dat (např. plný časový záznam vibrací z několika kanálů) je ovšem možné, že by v některých případech bylo vhodné provést prvotní zpracování v místě stroje. V tuto chvíli musí na pozadí ŘS běžet specializovaný sw (např. pro výpočet FFT) a ten musí dodávat data do dialogového menu ŘS. Toto řešení může být také vhodné vzhledem ke kontinuitě přenosu dat. V tuto chvíli již nejde o on-line diagnostiku v pravém slova smyslu, ale to je vzhledem k nutnosti řešení aktuálního problému stroje vedlejší.

Doporučený řešitel

- VCSVTT; výrobci strojů (obecně); výrobci CNC řídicích systémů; firmy zabývající se vývojem software; uživatelé výrobních strojů (obecně); firmy zabývající se vývojem zařízením pro komunikaci a vzdálenou správu; vývojářské firmy diagnostických systémů; VCSVTT pouze jako uživatel finálních produktů a zadavatel vývoje, know how diagnostické analýzy.

3.4. Samostatnost a jednoduchost

3.4.1. (T55) Jednoduchá a bezpečná obsluha obráběcích strojů

Navrhovatel

- Ing. Jiří Švéda, Ph.D. a kol. (ČVUT v Praze)

Vazba tématu na SVA

- (U: 26, 83, 84, 85, 86)
- Viz Inteligence strojů: 1.) Snadno obsluhovatelné stroje s nízkými nároky na kvalitu obsluhy a její znalosti a zkušenosti, samo-vysvětlující ovládání stroje, technologie schopné včasné detekce chyb. 2.) Podpora a asistence technických pracovníků při plánování i provádění údržby, při kontrolních měřeních vlastností strojů a seřizování strojů. 3.) Usnadnění obsluhy a programování multifunkčních strojů. Vedení obsluhy při ovládání stroje. 4.) Zvyšování bezpečnosti stroje pro lidskou obsluhu, eliminaci poškození stroje, nástroje, upínače a obrobku. Systémy vyhodnocující nárůst rizik při specifickém využívání stroje, nebo při specifické technologii, manipulaci s obrobky a nástroji, atp. "Online" vyhodnocování rizik, kontakt s obsluhou a údržbou a její varování.
- Viz Technologie: 5.) Kvalitní pravidelná školení, tréninky ovládání a využívání strojů. Simulace a trénink řešení havarijních situací (troubleshooting).

Komentář k aktualizaci

- Obsah tématu byl aktualizován podle současného stavu techniky.

Stručný popis stavu problematiky ve světě

- Ad 1.) Snadno obsluhovatelné stroje je určitě pojem relativní, ale zde to budeme chápat jako stroj, u něhož je příprava výroby (seřízení), jakož i vlastní automatická výroba a údržba provozu obecně snazší a tudíž levnější v porovnání s konkurencí. Snadnost obsluhy se dotýká kromě řídicího systému i celkové koncepce a konstrukce stroje. Důležitou roli hraje ergonomie stroje. Příkladem může být rozdíl v koncepci multifunkčních soustružnicko frézovacích strojů Mazak – tradiční řada Integrex, označovaná IV, má šikmé lože, zásobník nástrojů za strojem, prvky pro pravidelnou údržbu rozmístěné různě po stroji. Nová modelová řada i-Integrex využívá pravoúhlou kinematiku pohybových os. Zásobník nástrojů je před strojem (výborně přístupný), v blízkosti panelu řídicího systému jsou i soustředěny veškeré prvky pro pravidelnou údržbu.

  Jednoduchost obsluhy významně souvisí s koncepcí řídicího systému stroje, který by měl být v ideálním případě založen na předem připravených makrech, reprezentovaných navenek grafickými symboly, specifickými podle druhu a typu stroje a příslušné technologie, pro kterou je stroj určen. V praxi to vypadá tak, že operátor/obsluha stroje programuje výrobu přímo na stroji prostřednictvím několika tzv. obrazovek s grafickými symboly, z nichž každý reprezentuje určitou funkci nebo operaci. Pokud je nám známo, v ČR používá tento způsob programování firma TOS a.s. na svých ozubárenských strojích. Např. pro odvalovací frézky se takto programuje obrábění

všech typů čelních ozubených kol i kol šnekových. Obdobný způsob používá japonská firma OKAMOTO na svých bruskách. Zde použitý dialogový systém, využívající pro zadávání dotykového displeje, vede obsluhu formou grafických obrazovek postupně od zadání rozmístění polotovarů na stole brusky, přes volbu brousicího kotouče a automatického cyklu pro orovnání kotouče do potřebného tvaru po zadání finálního tvaru obrobku včetně automatického navržení technologických podmínek broušení s výpočtem času cyklu.

- Detekce chyb při programování je z hlediska chybného zadání geometrie finálního obrobku řešena u pokrokových řídicích systémů načtením tvaru ve formě 3D modelu dodaného konstrukčním oddělením a následnou volbou pozice jednotlivých geometrických prvků přímo z modelu. Hledisko bezpečnostní (kolize jakékoliv části stroje s polotovarem, upínkami, apod.) řeší virtuální simulace obrábění a obecně pohybů stroje s podrobným 3D modelem pracovního prostoru. Eliminace chyb technologických je prováděna formou dialogového programování s využitím technologické databáze implementované do řídicího systému (obsahuje automatickou volbu operací pro jednotlivé geometrické prvky, přiřazení odpovídajících nástrojů a návrh řezných podmínek). Hlídání kolizí stroje pomocí 3D modelu je silným trendem poslední doby. Kolize týkající se běhu stroje v automatickém režimu lze odladit i mimo vlastní obráběcí stroj ve virtuálním prostředí, 3D modely jsou však aplikovány přímo do řídicího systému a umožňují tak hlídání kolizí i v ručním režimu, kdy se strojem pracuje operátor manuálně
- Ad 2.) Plánování údržby je založeno na systematickém sledování technického stavu strojů v dílně. Existuje mnoho externích systémů, které podporují organizaci a zpracování sledovaných diagnostických údajů a predikuji potřebu údržby podle trendů těchto veličin, resp. podle vývoje stavu daného stroje. Pokročilé ŘS vlastními funkcemi monitorují délku provozu na vybraných kritických komponentech, resp. skupinách stroje. Například u teleskopických krytů je sledován počet ujetých kilometrů a v případě překročení limitu stanoveného výrobcem stroje je zobrazováno doporučení k preventivní výměně tohoto dílu. Upozornění jsou vydávána i na základě monitorování sofistikovanějších parametrů, jakými jsou například vibrace vřetene nebo teploty na stroji. ŘS zde kontroluje trendy a porovnává je s přípustnými limity. Tento úkol je zahrnut do návrhu projektu Monitorování vlastností stroje.
- Ad 3.) Usnadnění obsluhy multifunkčních strojů lze rozdělit na oblast softwarovou a hardwarovou. U HW jsou to hlediska ergonomická, například rozmístění ovládacích prvků, přístupnost upínacích elementů, přístupnost pro nakládání polotovarů a vyjímaní hotových kusů (i jeřábem) a další. Kombinaci HW a SW představuje např. přesné ustavování dílců pomocí dotykových sond – stroj musí být vybaven a připraven pro umístění sondy a komunikací s ní nejen po HW stránce, ale i po SW stránce ve formě jednoduchých jednoznačných měřících maker. Druhým příkladem je odměřování rozměrů a kontrola stavu nástrojů – opět nejlépe přímo na stroji. Nástroj musí „najet“ na vhodný měřící element (ať už dotykový či bezdotykový), ale i SW – měřící makra nástrojová s vizualizací dat a jednoznačným zápisem do stroje. Usnadnění obsluhy prostřednictvím SW představují různé speciální funkce dostupné v rámci ŘS, např. jednotlačítkový zápis řezných podmínek do programu změněných pomocí plynule řiditelných přepínačů na ovládacím panelu.
- Ad 4.) Redukci rizik při programování a obsluze strojů umožňují antikolizní systémy, které preventivně sledují možné mechanické kolize v celém pracovním prostoru. Analýza a upozornění na rizika související s nevhodně zvolenou technologií obrábění nejsou zatím známa (např. riziko přetížení servopohonů ve strojních osách, překročení max. kroutícího momentu vřetene, apod.). Výrobci nástrojů však již poskytují jednoduché kalkulátory umožňující výpočet orientačních řezných sil či kroutícího momentu pro konkrétní materiál polotovaru, nástrojovou sestavu a řezné podmínky. Tyto výsledky by bylo možné porovnat s parametry stroje a již ve fázi přípravy výroby (programování) vydávat cílená upozornění.

  Ad 5.) Propracovaný systém školení a tréninku je jedním ze základních předpokladů pro úspěšné nasazení multifunkčních strojů v reálné výrobě. Každý seriózní výrobce/dodavatel

strojů se musí tímto tématem zabývat. Velcí světový výrobci provozují tzv. „multitasking academy“, kde pořádají specializované kurzy jak pro koncové uživatele, tak pro vlastní zaměstnance a dealery. Předmětem výuky je komplexní problematika multifunkčních strojů od programování, přes obsluhu až po údržbu. Některé multifunkční stroje jsou dovybavovány (u Mazaku standardní výbava u větších strojů, tzv. e-Tower) dalším nezávislým počítačem (běžné PC), které je napojeno na vybrané signály stroje a obsahuje multimediální návody, jak řešit určité potíže s online vazbou na signály ze stroje (např. potíže při výměně nástrojů).

- Nadřazené systémy zabývající se správou celého řetězce výroby i stroje jako celku se začínají objevovat zejména u velkých výrobců (DMG systém CELOS).

Současný způsob řešení problematiky v ČR

- Téma není jako celek řešeno v zádném projektu v ČR. Bezpečnostní aspekty jsou řešeny ve WP10 projektu CK SVT řešeného VUT v Brně a oborovými podniky. Komplexní mechatronická řešení včetně komunikace s uživatelem jsou částečně řešeny ve VCSVTT ČVUT v Praze a rámci některých výzkumných i komerčních projektů.

Cíle a praktické výstupy pro obor/průmysl

- Témata označená v textu úvodního odstavce 1.) až 5.) tvoří cíle a úkoly tohoto projektu. Jsou to tyto cíle: 1. samo-vysvětlující ovládání stroje, 2. technologie schopné včasné detekce chyb, podpora a asistence technických pracovníků při plánování i provádění údržby, při kontrolních měřeních vlastností strojů a seřizování strojů. 3 usnadnění obsluhy a programování multifunkčních strojů. Vedení obsluhy při ovládání stroje. 4. Zvyšování bezpečnosti stroje pro lidskou obsluhu, eliminaci poškození stroje, nástroje, upínače a obrobku. Systémy vyhodnocující nárůst rizik při specifickém využívání stroje, nebo při specifické technologii, manipulaci s obrobky a nástroji, atp. "Online" vyhodnocování rizik, kontakt s obsluhou a údržbou a její varování.
- Spolupráce na rozšíření portfolia opcí nabízených k vyráběným strojům. Konkrétní řešení a doporučení pro zvýšení komfortu obsluhy strojů.
- Vytvoření metodiky a podkladů pro efektivní výuku programování, obsluhy a údržby strojů.

Vlastní odborné zhodnocení přínosu tématu pro obor a průmysl v ČR

- Toto téma je úzce spjato s konkrétními provedeními strojů. Je tudíž třeba spolupracovat individuálně s výrobci strojů. Obecně úspěšné zvládnutí či jen prohloubení této problematiky přispěje ke zvýšení kvality nabízených služeb tuzemskými výrobci svým zákazníkům. Dále skýtá potenciál pro vytvoření prostředků a podkladů pro systematickou výuku užívání složitých obráběcích strojů, což přispěje k rozvoji průmyslové výroby v ČR s velkou přidanou hodnotou (komplexní obrobky, složité technologie, víceosé obrábění) a to v důsledku zkvalitnění znalostí a schopností pracovníků v podnicích.

Způsob dosažení cílů

- Vývoj systémů zde navržených vyžaduje spolupráci jednak s výrobci strojů, jednak s programátorskou firmou.
- Návrh koncepce systému (co má dělat, co bude vstupem a co výstupem). Definice modulů pro programování. Diskuse se zainteresovanými end-usery. Vlastní programování prostředí. Ladění systému v praxi na nekonfliktních případech.
- Úkol si vyžádá kapacitu 4 až 5 pracovníků.

Doporučený řešitel

- VCSVTT; výrobci strojů (obecně); výrobci CNC řídicích systémů; firmy zabývající se vývojem software

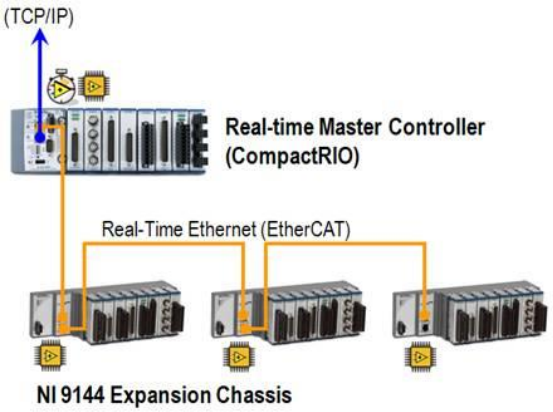
3.4.2. (T56) Koncepce Plug-and-Produce

Navrhovatel

- Ing. Jiří Švéda, Ph.D. (ČVUT v Praze)

Vazba tématu na SVA

(*U: 102, 103*)



- VaV technologií a nástrojů pro realizaci a uplatnění koncepce Plug-and-play, resp. Plug-and-Produce pro jednotlivé komponenty, senzory, uzly strojů, prvky pohonů, ale i celých strojů. Minimalizace seřizovacích časů strojů i celých výrobních celků (podniků). (C- Plug-and-play technologie a Plug-and-produce technologie-3)
- VaV Plug and Produce komponentů a jednotek. (C- Plug-and-play technologie a Plug-and-produce technologie-3)

Komentář k aktualizaci

- Obsah tématu byl aktualizován o vazbu na komunikační rozhraní EtherCAT.

Stručný popis stavu problematiky ve světě

- Nejsilnější potenciál pro uplatnění konceptu Plug-and-Produce je možné nalézt u komponentů pohonů a řízených pohybových os. Stávající pohonové moduly (elektromechanické jednotky) sestávají z řetězce komponent, které se ve výsledku projevují konkrétní přesností, statickou tuhostí, maximálními limity síly a kinematických veličin a především specifickým dynamickým chováním. Systém řízení těchto pohonů a konfigurace mnoha parametrů, které určují využitelnost pohonu, jsou však instalovány v oddělené části řídicího systému a v regulačních modulech frekvenčních měničů. (pozn. záleží na architektuře ŘS a pohonů). Proto, aby bylo možné pohonové moduly optimálním způsobem využít v konkrétním zabudování do stroje, je dnes třeba provádět náročnou „ruční“ práci, která uvádí konfiguraci řízení pohonů na úrovni řídicího systému a regulačních karet frekvenčních měničů do souladu s možnostmi elektromechanické stavby pohonu (motor, jeho uložení, převodovka, její uložení, spojky, pohybové šrouby, mechanické převody, atd.) a s mechanickou strukturou zařízení.
- Mezi zárodek plug-and-produce komponentů lze označit například motory a frekvenční měniče firmy SIEMENS. Motory po připojení k frekvenčnímu měniči zašlou po digitální sběrnici měniči informaci o tom, jaký motor a s jakými fyzikálními konstantami je připojen a frekvenční měnič si dle této informace provede nastavení limitů a parametrů týkajících se především proudové regulace a komutace motoru.
- Nově navrhované řešení plug-and-produce komponentů, resp. přesných pohonových modulů pro výrobní a manipulační stroje představuje koncept, kdy komponent obsahuje informace o svých silových, statických, kinematických a dynamických vlastnostech a dokáže je poskytnout nejen frekvenčním měničům, ale také řídicímu systému. Pro realizaci tohoto konceptu je nezbytné řešit výzkum a vývoj jak na straně plug-and-produce komponentů, tak i na straně řídicího systému a regulačních komponent na straně druhé.

- V poslední době začíná být moderní využívání standardizovaných komunikačních sběrnic mezi řídicím systémem a příslušenstvím, např. EtherCAT. Pomocí takových sítí si může řídicí systém sám zjistit, jaké příslušenství je na sběrnici připojeno a provést úpravu parametrů dle aktuální situace.
- Dále je třeba uvažovat, že některé stroje realizují během své činnosti velmi významné změny konfigurace svých pohybových os. Proto je nezbyté vyvinout a realizovat také složitější druhy plug-and-produce komponentů, resp. pohonových modulů, které budou obsahovat přídavnou senzoriku a vyhodnocovací elektroniku, a které budou schopny za chodu a během realizace pohybů identifikovat svůj vlastní matematický model (virtuální model komponentu) a poskytovat řídicímu systému a regulačním jednotkám frekvenčních měničů online informace, resp. požadavky na změnu parametrů řízení a regulace.
- Téma PaP bylo dosud hlouběji řešeno především v oblasti robotiky, viz. např. [T. Araia, Y. Aiyamab, Y. Maedaa, M. Sugia and J. Otaa: Agile Assembly System by “Plug and Produce”, CIRP Annals - Manufacturing Technology, Volume 49, Issue 1, 2000, Pages 1-4]; [Výsledky evropského projektu v rámci 6FP SMErobot™ - The European Robot Initiative for Strengthening the Competitiveness of SMEs in Manufacturing (http://www.smerobot.org/)].

Současný způsob řešení problematiky v ČR

- Téma není v současné době v ČR systematicky rozvíjeno.

Cíle a praktické výstupy pro obor/průmysl

- Navržení metodiky online měření, která umožní na konkrétním zařízení provedení automatického identifikačního měření. Na jeho základě budou získány informace o statickém a dynamickém chování řízené/poháněné soustavy a bude možné identifikovat virtuální (matematický) model mechanického chování soustavy. Vytvoření virtuálního modelu PaP komponent. Model bude umožňovat provádět citlivostní analýzu a optimalizaci konstrukčních parametrů PaP komponentu (pohonové jednotky) a hledat ve fázi návrhu těchto jednotek optimální konstrukční stavbu a provedení. Návrh a výroba pilotních PaP jenotek. Na zkušebních stolicích bude provedeno jejich testování při různé zátěži a při různých způsobech řízení v čase. Na základě těchto identifikačních měření budou zpřesněny virtuální modely PaP jednotek, které budou užity následně při návrhu celých strojů, které budou tyto jednotky obsahovat.

Vlastní odborné zhodnocení přínosu tématu pro obor a průmysl v ČR

- Téma je významné a zajímavé především pro velké výrobce s větší sériovostí strojů, ale současně s větší šíří produktových řad strojů. Téma systematicky směřuje k jednodušší a spolehlivější montáži a oživování strojů s vysokým stupněm eliminace lidské chyby (v oblasti ladění regulace a parametrů ŘS). To je spojeno se zrychlením montáže a oživování s minimalizací potřeby kvalifikovaných pohonářů a expertů na CNC. Dalším z přínosů je možnost přenést část odpovědnosti a problémů na stranu dodavatele komponentů, který by musel některé vlastnosti komponentu zjistit, změřit, popsat, ručit za ně a zavést je do „paměti a komunikace“ příslušného komponentu.

Způsob dosažení cílů

- Návrh vhodné mechanické stavby pohonových PaP komponent
- Návrh optimální senzoriky, která bude schopná zaznamenávat vnitřní stav komponentu a především jeho tepelné, frekvenční a poruchové chování.
- Návrh robustní měřicí a vyhodnocovací sekvence a algoritmů, které bude možné spouštět při provozu stroje a v situaci, kdy je již komponent zabudován do kontextu celé konstrukce stroje a na základě těchto měření získávat relevantní dynamický popis chování pohonu.

- Návrh simulačních modelů plug-and-produce komponentů, resp. jejich virtuální prototypů, určených především pro jejich vývoj, výzkum a zdokonalování.
- Měřeními na reálných PaP komponentech poskytnou zásadní data, která budou předávána z PaP komponentu do řídicího systému a do servoregulačních jednotek.
- Jako součástí výzkumu a vývoje v této oblasti je vhodné provádět virtuální testy uvedených technologií metodou HIL (Hardware In the Loop) s uplatněním reálného řídicího systému, resp. prototypového řídicího systému se schopností online změn řízení a se schopností komunikovat s PaP komponenty. Musí být navržena robustní technika pro redukci matematických, virtuálních modelů jednotek. Pomocí měřicích, identifikačních sekvencí bude možné tyto redukované modely PaP jednotek online (za chodu) identifikovat. Na základě získaných údajů vznikne podklad pro automatizovaný návrh změn řízení, regulace a konfigurace strojních dat řídicího systému.
- Kapacity: Celkem cca 4 pracovníci v oblasti výzkumu (pro zahájení řešení tématu a jeho teoretické rozpracování) + lidé ze spolupracujících podniků. Po rozpracování tématu pak 5-6 pracovníků v oblasti výzkumu a spolupracující výrobci strojů a komponentů pro přípravu pilotních prototypů pohonových jednotek a prototypu stroje s jejich implementací. Projekt VaV v tomto tématu a v tomto rozsahu lze řešit pouze v případě zájmu velkých partnerů.

Doporučený řešitel

- VCSVTT; ústavy zabývající se mechanikou, mechatronikou a řízením (např. ČVUT FS - Ú 12 105, UTIA AVČR); výrobci strojů (obecně); výrobci CNC řídicích systémů (MEFI, BECKHOFF); výrobci komponent a univerzálních konstrukčních celků (VUES, ESSA); firmy zabývající se vývojem software.

3.4.3. (T57) Inteligentní obráběcí stroje

Navrhovatel

- Ing. Jiří Švéda, Ph.D. a kol (ČVUT v Praze)

Vazba tématu na SVA

- (U: 89)
- Viz Inteligence strojů, řádek 89., citace: Řízení založené na umělé inteligenci a schopnosti autonomní kalibrace, predikce, učení a samo-optimalizace při probíhajícím procesu. Na vyšší úrovni se jedná o rozšíření schopnosti strojů poučit se ze získaných zkušeností: reakční schopnost a výkon strojů tak s časem poroste.

Komentář k aktualizaci

- Aktualizace textu podle současného stavu techniky. Menší důraz na samoučící se stroje a větší důraz na senzoriku a vyhodnocování signálů.

Stručný popis stavu problematiky ve světě

- Umělá inteligence je v přírodních vědách definována spíše pro obory nestrojírenské. Ve strojírenství a zejména v oboru obrábění, kde již bylo dosaženo velkého stupně inteligence strojů, si musíme uvědomit, že inteligence je schopnost přemýšlet a rozumět myšlenkám a informacím. Inteligentní stroj tedy musí mít schopnost rozumět informacím a učit se. A to rychle a dobře. Dnešní stroje „rozumí“ svým řídícím programům. Zpracovávají velmi rychle množství informací. Nemají však plnou schopnost tyto informace analyzovat a na základě této analýzy se rozhodovat o dalším postupu, případně o zlepšení nějaké své činnosti. V technice se v souvislosti s touto vlastností mluví o „umělé inteligenci“, o “knowledge-based-systems“, a souvisejících pojmech jako kognitivita, „learning“, „evolution“, adaptibilita.
- Vývoj metod monitorování vlastností obráběcích strojů za běžného provozu je proto velkou výzvou pro současný výzkum. Nejde však jen o pouhý monitoring, tj. sběr dat. Jde i o rychlé zpracování dat a jejich komunikaci v celém systému tak, aby bylo možné stroje i procesy optimalizovat nebo alespoň ladit během provozu. To se týká nejen individuálních strojů, ale i příslušného plánování a přípravy výroby v uceleném výrobním subsystému navázaném na podnikový, technicko-ekonomický informační systém. V neposlední řadě jde o vytvoření inovativního prostředí sdílením monitorovaných informací mezi operátory, konstruktéry, zkušební techniky i vedení podniku, ať už výrobce nebo uživatele zařízení. Výsledkem může být zvýšená konkurenceschopnost podniků.
- Z rešerší a EU Manufuture konferencí je zřejmé, že existují návrhy projektů, jejichž cílem jsou stroje s vysokou úrovní inteligence, tj. stroje využívající výše uvedené moduly. Na výstavách EMO však žádný takový systém nebyl představen. Firmy (např. MAZAK) implementují jen jednotlivé inteligentní funkce typu „kolizní štít“ nebo moduly pro adaptivní řízení posuvů (FANUK a další). Tyto komplexní systémy budou ještě dlouho zkoumány pouze na speciálních výzkumných prototypech strojů. Jak bylo vidět na výstavách EMO v posledních letech, produkční stroje nabízené do poloautomatizované/automatizované výroby mají pouze jednotlivé automatizační celky - např. potlačení vibrací při chatteru (Okuma, DMG, Heidenhain), tepolotní kompenzace (Okuma, Mazak a další) adaptivní řízení pohybu (Heidehnein, Fanuc). Koncept

inteligentního stroje se tak v průmysly rozvíjí především jako syntéza senzoriky, diagnostiky a virtuálního stroje (vazba na T29, T50 a T51).

Současný způsob řešení problematiky v ČR

- Téma není v současné době v ČR systematicky rozvíjeno (pokud není uvažován rozvoj senzoriky a diagnostiky popsaný v T50 a T51).

Cíle a praktické výstupy pro obor/průmysl

- Konkrétně jde o rozvoj spolehlivého fungování níže uvedených funkcí:
- Detekce a potlačení chatteru (samobuzeného kmitání).
- Automatizované ladění řezných podmínek tak, aby byl optimálně využit příkon pohonu.
- Detekce opotřebení nástroje a jeho lomu.
- Automatizovaná kompenzace teplotních deformací rámu stroje.
- Potlačení nežádoucích vbrací rámu stroje (aktivní/pasivní dynamické hltiče vibrací)
- Automatizované vyvažování rotujících částí (obrobku nebo nástroje).
- Power management – řízení periferií s ohledem na úsporu energie a optimalizaci procesu (např. adaptivní řízené chlazení stroje atp.)
- Oboustranná komunikace s okolním světem, např. se sousedním robotickým pracovištěm a další manipulační technikou, centrálním skladem nástrojů a polotovarů, meziskladem právě vyhotovených obrobků atp.

Vlastní odborné zhodnocení přínosu tématu pro obor a průmysl v ČR

- Vývoj umělé inteligence je v prvé řadě velká teoretická výzva, kterou málokterý technik může přejít bez povšimnutí. Je to test naší vlastní inteligence. Je to ale i praktická výzva. Inteligentní mechanismus stroje může neúnavně a velmi rychle plnit úkoly, na které již lidská obsluha nestačí.
- Obor obráběcích strojů má k inteligenci velmi blízko. NC řízení, i ve své dnešní podobě, je mozkem schopným velmi složitých výsledných úkonů v místě obrábění. Stroje fungují zcela automaticky, do značné míry mohou monitorovat svůj stav. Zavedení umělé inteligence, která by např. umožnila učení stroje, by nepochybně přispělo k povýšení úrovně oboru. Pro průmysl obráběcích strojů ČR by to byl velký kvalitativní skok, který by určitě přinesl i úspěchy na světových trzích.
- Motivací pro snahu o zvýšení inteligence stroje je jeho zvýšená „samostatnost, nezávislost na odbornosti obsluhy“ a v neposlední řadě i zvýšení spolehlivosti (reakce na poruchovou událost jsou standardní a předvídatelné, systémově ošetřené).
- V případě implementace vyššího stupně inteligence lze očekávat „kognitivní vlastnosti systému“, zajištěné např využitím neuronových sítí při rozhodovacích procesech

Způsob dosažení cílů

- Zdokonalovat jednotlivé automatizační celky (vyvažování, potlačení vibrací, teplotní kompenzace, detekce a potlačení chatteru atp.) na strojích konsorcia CK SVT, dle zaměření jednotlivých WP.
- Teprve po spolehlivém „odladění“ jednotlivých automatizačních celků spojit tyto funkcionality do nadřazeného systému umělé inteligence stroje. Tato fáze je v současné době dosti vzdálená, vzhledem k aktuálnímu stavu nedostatečné robustnosti a spolehlivosti zmíněných automatizačních komponent.

Postup:

- Návrh konceptu inteligentního stroje (jaké témata/moduly by měl obsahovat). Návrh HW/SW architektury pro propojení jednotlivých modulů. Praktické testy jednotlivých modelů. Dlouhodobý vývoj a postupná implementace vybraných funkcí na vybrané stroje (nelze realizovat univerzální systém pro všechny typy strojů vyráběných v ČR; vzhledem k nutnosti komunikace s obsluhou je každý typ stroje specifický)

Doporučený řešitel

- VCSVTT; ústavy zabývající se mechanikou, mechatronikou a řízením (např. ČVUT FS - Ú 12105, UTIA AVČR); výrobci strojů (obecně); výrobci CNC řídicích systémů; firmy zabývající se vývojem software; uživatelé výrobních strojů (obecně); specializovaná pracoviště na ČVUT FEL

EVROPSKÁ UNIE
EVROPSKÝ FOND PRO REGIONÁLNÍ ROZVOJ
INVESTICE DO VAŠÍ BUDOUCNOSTI

TECHNOLOGICKÁ PLATFORMA
STROJÍRENSKÁ VÝROBNÍ TECHNIKA

IAP „Tvářecí stroje“ pro období 2015-2020

Obsah

Tvářecí stroje …… str. 181÷231

Technologie tváření.....…….…….. str. 232÷258

Tvářecí stroje

Úvodem

Předložená práce vycházela ze Strategie oboru v letech 2010 - 2020, která byla vypracována, odbornou komunitou schválena a široké technické veřejnosti předložena v roce 2009. V ní byly uvedeny a podle priorit pro ČR seřazeny odborné okruhy, kterými by bylo vhodné se přednostně v rámci vědeckovýzkumných prací zabývat.

Autoři měli za to, že je nutno provést rozpracování IAP především s ohledem na prioritní potřeby výrobních podniků v ČR a s možnostmi realizace v podmínkách ČR. Proto při rozpracovávání uvedených tematických okruhů v rámci IAP oslovili přední odborníky, především z výrobních závodů, aby ze svého pohledu výrobců v souladu s tematickými okruhy uvedenými ve Strategie oboru v letech 2010 - 2020 navrhli, zkonkretizovali a rozpracovali jednotlivá témata tak, aby mohla být zařazena mezi k řešení doporučená témata rámci IAP.

I když ne všichni oslovení byli ochotni se touto problematikou zabývat, většina připravila a z pohledu výrobce doporučila a rozpracovala témata pro IAP.

Vzhledem k tomu, že výrobci tvářecích strojů nedisponují takovými výrobními kapacitami, aby bylo možno implementovat všechny doporučené tematické okruhy uvedené ve Strategie oboru v letech 2010 - 2015, byla pro IAP zpracována témata pouze z šesti doporučených okruhů. Dá se očekávat, že ostatní tematické okruhy budou postupem času dále rozpracovávány.

Podklady pro IAP v oblasti konstrukce tvářecích strojů, po konzultacích se širším technickým zázemím, zpracovali a poskytli:

Ing. Milan Círek, Ph.D., vedoucí konstruktér Buzuluk Komárov

Ing. Josef Volena, vedoucí konstrukce TS Plzeň

Ing. David Zalaba, vedoucí konstrukce ŽĎAS

Doc. Ing. Milan Čechura, CSc., CVTS,KKS,ZČU Plzeň

Ing. Jan Hlaváč, Ph.D., CVTS,KKS,ZČU Plzeň

Autoři všem těmto pracovníkům za jejich spolupráci děkují.

Předloženou práci je třeba chápat jako počátek systematické formulace perspektivy reálného směřování Výzkumu a vývoje v oblasti tváření (s ohledem na poměry v ČR). Dokument je zpracovaný na základě znalostí v uvedeném místě a čase, tedy do budoucna je tematicky otevřený, neboť se dá předpokládat, že technický vývoj během času dá podněty k dalšímu doplňování a úpravám.

Akualizace 2014

V r. 2014 bylo doporučeno, aby se provedla, na základě známých, v uplynulých letech se prosazujících požadavků na tvářecí techniku, aktualizace a inovace stávající Strategie oboru na leta 2010 – 2020.

Lze s uspokojením konstatovat, že vývoj v oblasti tvářecích strojů se ubíral cestou, která byla prognostikována v předložené Strategii. Při provádění porovnávání prognostikovaného stavu se skutečným stavem z uplynulých let, došli autoři k závěru, že provedená“ Strategie“ byla vypracována s velmi hodnověrnou vizí, neboť vývoj během uplynulých let potvrdil ve velmi velkém procentu shodu s vypracovanou Strategií.

Většina rozdílů spočívá v tom, že ne vždy byla přiložena tomu, nebo onomu bodu tak velká váha, jak bylo předpokládáno. Vývoj za uplynulá léta potvrdil, že jedním, z hlavních nosných programů ČR výrobců nových tvářecích strojů je výroba velkých tvářecích strojů, a to jak mechanických, tak hydraulických lisů, kde prototyp je zároveň konečným výrobkem. Toto je a bude i nadále prioritní a doporučenou výrobní náplní, neboť takováto výroba přináší výrobním podnikům i relativně velikou přidanou hodnotu.

Podobně se rozvíjela výroba i u dalších tematických zaměření, kde se jednalo o specializované stroje, a to napříč všech jejich technologických zaměření.

Naopak se prokázalo, že uplatňování kompozitních materiálů v konstrukci tvářecích strojů není tak atraktivní, jak se na počátku předpokládalo.

V dalších letech nelze očekávat nějaké převratné změny ve výrobě tvářecích strojů, a proto se dá předpokládat, že při akceptování výše provedených nepodstatných doplnění by předložená, upravená Strategie do r. 2020 měla být tak jako ta předcházející, dostatečně směrodatná.

Tak jak byla doplněna a upravena Strategie oboru „Tvářecí stroje“ pro léta 20140-2020, je provedena v následujícím i úprava Implementačního akčního plánu (IAP), který vznikl následně po vytvoření „Strategie oboru“.

I když již při původním rozpracování Strategie do IAP nebyly některé tematické okruhy rozpracovány pro předpokládaný malý zájem podniků o jejich realizaci, i tak, z množiny rozpracovaných tematických okruhů, nemají některé z ponechaných příliš velkou naději na jejich zařazení k realizaci ve výrobních podnicích v ČR, i když by to bylo ze strategického hlediska velmi přínosné.

Předložený IAP, tak jako Strategie, prošel aktualizací, při zachování dobrého stávajícího základu. Na většině témat autoři neshledali potřebu něco podstatně měnit, jedná se většinou o některé přesnější formulace.

Seznam témat vzešlých ze strategie

Tvářecí stroje

1. **Stroje a zařízení pro realizaci nových technologií**
2. **Stroje s mimořádně velkými výkony na zpracování velkorozměrných a vysoce hmotných výrobků**
3. **Stroje a zařízení pro kusovou nebo malosériovou výrobu**
4. **Zařízení pro dělení materiálu s využitím moderních technologií**
5. **Unikátní stroje a zařízení nové generace s využitím moderních špičkových komponent**
6. **Stroje na zpracování plastů, keramiky a dalších nekovových materiálů**
7. **Stroje na zhutňování materiálů**
8. **Stroje a zařízení s mezioborovým využitím**
9. **Stroje a zřízení stavěné s využitím nekonvenčních materiálů**
10. **Stroje a zařízení pro nové technologie spojování materiálů a součástí**
11. **Stroje a zařízení pro využití recyklovatelných složek odpadu**
12. **Multitechnologické výrobní stroje a zařízení**

Dalším uvedeným tematickým okruhům v této kapitole většina expertů nepřikládala dostatečnou váhu pro jejich zařazení jako prioritních do „Strategie oboru“.

13. **Licí stroje pro odlévání kompozitních materiálů a pro odlévání novými technologiemi (Thixocasting - nová licí technologie a Sqeeze Casting - tuhnutí pod tlakem)**
14. **Zařízení pro separaci a recyklaci odpadů**
15. **Stroje a zařízení pro zabezpečení kvality životního prostředí**
16. **Stroje a zřízení pro nakládání s odpady rostlinného a živočišného původu**
17. **Stroje a zařízení pro přenos a transformaci mechanické energie (mechanické, hydrostatické a hydrodynamické převody a jejich kombinace) pro mobilní a stacionární prostředky, stroje a zařízení**
18. **Zařízení pro akumulaci energií**

Celkový přehled témat zpracovaných pro IAP

Tvářecí stroje

1 .

Stroje s mimořádně velkými výkony na zpracování velkorozměrných a vysoce hmotných výrobků

Jedná se o velké tvářecí stroje na kování například reaktorových, zalomených hřídelí rotorů turbín, atd. volným kováním a o velké tvářecí stroje pro zápustkové kování od sil 20 MN výš. Tyto stroje se vyrábí kusově, obvykle je každá konstrukce něčím specifická dle přání zákazníka.

1.1 Řešení specifik při projektech a konstrukci velkých kovacích hydraulických lisů pro volné kování o silách 100-200 MN

1.2 Řešení pohonů velkých kovacích lisů o pracovní síle 100-200 MN – uspořádání pohonů, typy pohonů

1.3 Vývoj výsuvného otočného stolu pro otáčení výkovků (pop-up table) pro hmotnosti 200-300 tun

1.4 Ovládací systémy, (hydraulické a elektrické) pro ovládání a řízení procesu kování velkých kovacích lisů o síle 100-200 MN

1.5 Programové kování pro kovací celky o silách 100-200 MN

1.6 Zmenšování energetické náročnosti hydraulických lisů

1.7 Konstrukční řešení nových a zlepšování technických parametrů stávajících stojanů velkých mechanických lisů

1.8 Zmenšování energetické náročnosti mechanických lisů

2

Zařízení pro dělení materiálu s využitím moderních technologií

Jedná se o zařízení pro dělení materiálu stříháním, řezáním, lámáním, laserem, vodním paprskem a s použitím dalších, k tomu účelu využitelných, technologií.

2.1 Řešení problematiky dělení materiálu stříháním

3

Stroje na zhutňování materiálů

Ve společnosti je stále více vysoce objemných materiálů jako odpad ze spotřebního zboží, včetně automobilového průmyslu. Proto je nutné pro lepší manipulaci i přepravu tento materiál náležitě zhutnit a připravit tak k dalšímu zpracování.

K tomu nám mohou posloužit stroje jako např. briketovací a paketovací lisy.

3.1 Řešení problematiky strojů na zhutňování materiálů

4

Stroje na zpracování plastů, keramiky a dalších nekovových materiálů

Průmysl stále více využívá plastů, keramiky a dalších nekovových materiálů při výrobě nových výrobků. Za tím účelem a s ohledem na stále se objevující nové hmoty, je nutno vyvíjet a zhotovovat stroje, na kterých je efektivně možné vyrábět výrobky z těchto hmot. Většinou se bude jednat o tváření, vstřikování a lití do forem.

4.1 Zvyšování užitných vlastností kalandrovacích výrobních linek

4.2 Výkonná a přesná výroba plastových fólií kombinovaným vytlačováním a válcováním (technologie roll-head)

5

Stroje a zařízení stavěné s využitím nekonvenčních materiálů

Možnosti využití nekonvenčních materiálů v konstrukci strojů a zařízení tam, kde lze tímto způsobem zlepšit jejich stávající technické parametry, nebo podstatně usnadnit jejich výrobu a snížit jejich cenu. Jejich využití umožní i lepší a ekologičtější likvidaci a recyklaci stroje.

5.1 Studium možnosti využití nekonvenčních materiálů v konstrukci tvářecích strojů

5.2 Stojany lisů z ocelí o vyšší pevnosti

6

Metody a způsoby vývoje strojů a zařízení

Vývoj nových strojů i retrofiting strojů použitých dnes probíhá převážně ve virtuálním prostředí. Možnosti virtuální simulace se neustále rozšiřují, jak po stránce softwareové, tak i hardwareové. Samotná virtuální simulace je pouze nástrojem, se kterým je nutno zacházet i s detailní znalostí funkce simulovaného stroje.

6.1 Virtuální modely nosných dílů tvářecích strojů se zaměřením na okrajové podmínky výpočtu

6.2 Virtuální modely pohyblivých dílů tvářecích strojů se zaměřením na okrajové podmínky výpočtu

Rozpracování jednotlivých témat

Stroje s mimořádně velkými výkony na zpracování velkorozměrných a vysoce hmotných výrobků

Jedná se např. o velké tvářecí stroje na kování například reaktorových, zalomených hřídelí rotorů turbín, atd. volným kováním a o velké tvářecí stroje pro zápustkové kování od sil 20 MN výš. Tyto stroje se vyrábí kusově, obvykle je každá konstrukce něčím specifická dle přání zákazníka.

1.1 Řešení specifik při projektech a konstrukci velkých kovacích hydraulických lisů pro volné kování o silách 100-200 MN

1.2 Řešení pohonů velkých kovacích lisů o pracovní síle 100-200 MN – uspořádání pohonů, typy pohonů

1.3 Vývoj výsuvného otočného stolu pro otáčení výkovků (pop-up table) pro hmotnosti 200-300 tun

1.4 Ovládací systémy, (hydraulické a elektrické) pro ovládání a řízení procesu kování velkých kovacích lisů o síle 100-200 MN

1.5 Programové kování pro kovací celky o silách 100-200 MN

1.6 Zmenšování energetické náročnosti hydraulických lisů

1.7 Konstrukční řešení nových a zlepšování technických parametrů stávajících stojanů velkých mechanických lisů

1.8 Zmenšování energetické náročnosti mechanických lisů

1.1 Řešení specifik při projektech a konstrukci velkých kovacích hydraulických lisů pro volné kování o silách 100-200 MN

Navrhovatel

Ing. Josef Volena – vedoucí oddělení konstrukce hydraulických lisů TS Plzeň a.s.

Popis konstrukčních problémů

- Stanovení typu lisu (hornotlaký nebo dolůtažný). Hornotlaký lis má umístění lisovní válce v horní traverze. Dolůtažný lis má umístění lisovní válce ve střední (základové) traverze, která je ukotvena k základu
- Stanovení typu lisu (dvousloupový nebo čtyřsloupový) s maximální využitelností pro kování velkých kroužků na trnu
- Stanovení typu rámu lisu: s předepnutými nebo nepředepnutými sloupy
- Problematika tuhosti sloupu při velkých světlostech (rozevření) lisu
- Stanovení polotovaru sloupu lisů (rámu lisu): výkovek, odlitek, svařenec
- Stanovení typu sloupu: s jednou kotvou, s více kotvami
- Výrobní možnosti jednotlivých dílů lisu: max. hmotnost a rozměr odlitku a výkovku, max. hmotnost a rozměr dílu lisu pro opracování a tepelné zpracování. Stanovení typu odlitků pro jednotlivé části lisu (tenkostěnný skříňový odlitek nebo tlustostěnný odlitek H profilu bez vnitřních dutin (komor)
- Určit způsob spojení jednotlivých dílů horní traverzy tak, aby nedocházeno k jejímu rozevírání při plném zatížení lisu s ohledem na vliv (nafukování) lisovních válců
- Navrhnout způsob dělení pohyblivé traverzy, aby přenášela excentrické zatížení do sloupů lisu
- Navrhnout způsob dělení a spojení jednotlivých dílů spodní traverzy tak, aby nedocházeno k jejímu rozevírání při zatížení hlavně při kování kroužků – zatížení traverzy je mimo osu lisu
- Navrhnout způsob předepnutí sloupů (kotev sloupů) lisu tak, aby předepnutí bylo přesné, u všech sloupů (kotev) stejné, montážně jednoduché a jednoduše kontrolovatelné jak při montáži tak při provozu lisu
- Navrhnout způsob předepnutí kotev u dělených traverz tak, aby předepnutí bylo přesné, u všech kotev stejné, montážně jednoduché
- Řešení problematiky posuvu kovacího stolu při zdvizích o velikosti 10m a více

Stručný popis problematiky ve světě

“Jaderná energetika má a bude mít ve světě bezesporu významné postavení. Její výkonnost nemůže nahradit žádný alternativní zdroj a nízké provozní náklady zaručují ekonomický efekt. V současné době je ve světě v provozu téměř 500 bloků jaderných elektráren. Jaderná energetika se podílí na výrobě elektřiny ve světě 17 %, v EU 35 % a např. ve Francii 80 %. V České republice je podíl JE na výrobě elektrické energie cca 40 %.“

Významné světové společnosti, zabývající se dodávkami pro jaderný průmysl se střetávají na trhu s výzvou na vývoj výkonnějších, nákladově efektivnějších a bezpečných zařízení. Vedle vlastní technologie jsou dodavateli komponentů pro jaderné elektrárny přední světové společnosti – kovárny. Tyto se přizpůsobují poptávce a pro jaderné nádoby dodávají výkovky o velkých rozměrech. Aby uspěly na trhu, jsou kovárny nuceny investovat do nových technologií a zařízení – velkých kovacích komplexů vhodných pro výrobu rozměrných kroužků.

Tyto kroužky mají uplatnění rovněž v petrolejářském průmyslu – nádrže.

Vlastní odborné zhodnocení přínosu tématu pro obor a průmysl v ČR

Navrhování takto velkých jednotek již vyžaduje jiné než obvyklé projekční a konstrukční přístupy k řešení, neboť výrobní a manipulační omezení (např. hmotnost, možnosti obrobení a montáže) neumožňují využít klasické technické postupy.

Pochopení a zvládnutí problematiky při dimenzování pevnostní části hydraulického kovacího lisu o síle 100-200 MN pro volné kování s možností kovat kroužky velkých rozměrů (o průměru do 10000mm, délce do 4000mm, nebo průměru do 8 000mm a délce do 6000mm) může výrazně pomoci k možnosti projekčně a konstrukčně zvládnout projekt kovacího komplexu s kapacitou 100-200 MN pro kování kroužků. Získání takové zakázky tuzemskou společností podpoří všechna odvětví těžkého průmyslu v naší republice – výroba oceli, velkých odlitků, velkých ingotů, velkých výkovků včetně tepelného zpracování a opracování.

Cíle a praktické výstupy pro obor/průmysl

- Vytvoření podkladů pro zvládnutí návrhu (nabídky) mechanické části lisu s možností rychle reagovat na případné změny a požadavky zákazníka při vlastním jednání
- Vytvoření podkladů pro realizaci vlastní zakázky – hlavně podklady pro zvládnutí vlastního výpočtu hlavních částí lisu: zjednodušení modelu, zatížení, okrajové podmínky, kontaktní úlohy, zjednodušení modelu při jednotlivých způsobech zatížení

Způsob dosažení cílů

- Vytipování a stanovení nejčastěji požadovaných parametrů lisu na světovém trhu
- Zmapování parametrů již vyrobených lisů na světě s kapacitou 100-200 MN
- Zmapování výrobních možností v ČR a ve světě – max. hmotnost a rozměry odlitku, výkovku. Max. hmotnost a rozměr dílu pro opracování a tepelné zpracování
- Analýza zatížení lisu při jednotlivých způsobech kování: volné kování (s excentricitou), pěchování, kování kroužků na trnu
- Způsob tvorby modelu jednotlivých částí a rámu lisu – možnosti zjednodušení modelu a zatížení, stanovení správných okrajových podmínek, řešení potřebných kontaktních úloh, vhodné zjednodušení modelu při jednotlivých způsobech zatížení od technologického procesu

Doporučený řešitel

TS Plzeň a.s. + ZČU Plzeň (výzkumná skupina pro tvářecí stroje)

1.2 Řešení pohonů velkých kovacích lisů o pracovní síle 100-200 MN – uspořádání pohonů, typy pohonů

Navrhovatel

Ing. Josef Volena – vedoucí oddělení konstrukce hydraulických lisů TS Plzeň a.s.

Popis konstrukčních problémů

- Stanovení typu pracovní kapaliny lisu: olej (viskozita), voda, HFA
- Stanovení typu pohonu lisu: přímý, akumulátorový
- Stanovení optimálního pracovního tlaku s ohledem na ovládání lisu a mechanické části lisu (kování a pěchování)
- Stanovení optimálního napětí elektromotoru tlakových čerpadel s ohledem na účinnost provozu a zastavěnou plochu strojovny a na možnosti cílového zákazníka
- Akumulátorový pohon – stanovení ovládání minimálního ventilu akustanice
- Akumulátorový pohon – stanovení ovládání vypínacího ventilu čerpadel
- Přímý pohon – stanovení typu čerpadel a počty jednotlivých typů čerpadel: neregulační, regulační, zdvihový objem, otáčky
- Přímý pohon – stanovení uspořádání čerpadel a motoru: horizontální, vertikální, 1 nebo 2 čerpadla na motoru
- Přímý pohon – stanovení uspořádání čerpadel ve strojovně: v řadě vedle sebe, naproti sobě, poloha rozvodného bloku čerpadel
- Stanovení optimálního dispozičního uspořádání pohonu s ohledem na minimální plochu strojovny a minimální délky potrubí

Stručný popis problematiky ve světě

Přední světové společnosti (kovárny) dodávající komponenty (výkovky) o velkých hmotnostech, zejména pro jadernou energetiku, lodní a letecký průmysl jsou nuceny investovat do velkých kovacích komplexů (obvykle lis plus 1 až 2 manipulátory), které splňují požadavky na kvalitu a bezpečnost uvedených průmyslových odvětví. Moderní kovací komplexy patří mezi dynamicky se vyvíjející výrobní zařízení. Na světovém trhu je v poslední době zájem o kovací hydraulické lisy s lisovní silou 100-200 MN. Pro představu lze uvést, že největší lisy v ČR instalované v kovárnách ve Vítkovicích a Pilsen Steel mají max. sílu 120MN. Ale tyto lisy jsou bez manipulátoru a jejich parametry (světlost lisu, průchod mezi sloupy) neumožňují kovat kroužky velkých rozměrů. Ani konstrukce lisu to neumožňuje (zatížení mimo osu lisu).

Komplexní problematika vývoje lisů s velkou kapacitou zahrnuje nejen vlastní mechanickou část lisu, ale je nutno také přizpůsobit a navrhnout odpovídající hydraulický pohon zaručující požadovaný výkon lisu. Ze strany investorů (kováren) je kladen rovněž důraz na plynulé a bezpečné řízení (hydraulické a elektrické) celého kovacího procesu, což umožňuje dosáhnout požadované minimální tolerance při kování a vysokou kvalitu výkovků o velkých hmotnostech. Nezbytnou součástí moderních kovacích komplexů je rovněž programové (automatické) kování, které zaručuje proces samotného kování bez zásahů obsluhy lisu (operátora) a rovněž minimalizuje chyby vyplývající z lidského faktoru. Přitom je ale operátorovi umožněno kdykoliv inicializovat změny automatického kování nebo přejít na ruční ovládání, pokud si to provozní situace vyžaduje.

Vlastní odborné zhodnocení přínosu tématu pro obor a průmysl v ČR

Pochopení a zvládnutí problematiky při navrhování pohonu kovacího lisu o síle 100-200 MN pro volné kování může výrazně pomoci k možnosti projekčně a konstrukčně zvládnout projekt kovacího komplexu o silách 100-200 MN pro volné kování.

Navrhování takto velkých jednotek již vyžaduje jiné než obvyklé projekční a konstrukční přístupy k řešení, neboť výrobní a manipulační omezení (např. hmotnost, možnosti obrobení a montáže) neumožňují využít klasické technické postupy.

Při návrhu pohonu pro takto velké lisy je nutno klást důraz na maximální snížení nákladů investora, požadavky na zastavěnou plochu, úsporu energií, životnost a bezpečnost provozu. Získání takové zakázky tuzemskou společností podpoří všechna odvětví těžkého průmyslu v naší republice – výroba výkovků pro rozvody, potrubí, nádrží, armatur, vysokotlakých čerpadel (Sigma) a ostatních částí pohonu

Cíle a praktické výstupy pro obor/průmysl

Vytvoření podkladů pro zvládnutí návrhu (nabídky) pohonu lisu s možností rychle reagovat na případné změny a požadavky zákazníka při vlastním jednání.

Vytvoření podkladů pro realizaci vlastní zakázky – maximální snížení nákladů investora, požadavky na zastavěnou plochu, úsporu energií, životnost a bezpečnost provozu.

Způsob dosažení cílů

- Vytipování a stanovení nejčastěji požadovaných rychlostních parametrů lisů na světovém trhu
- Zmapování parametrů již vyrobených lisů na světě s kapacitou 100-200 MN
- Zmapování výrobních možností v ČR a ve světě – max. hmotnost a rozměry tlakových nádob pro akumulátorový pohon, ohýbání vysokotlakého potrubí o velkých světlostech
- Zmapování výrobců vysokotlakých čerpadel a velkých zdvihových objemů
- Zmapování výrobců vysokotlakých hydraulických prvků pro různé druhy pracovní kapaliny
- Zmapování výrobců velkých motorů o výkonech 200-1380kW o NN a VN

Doporučený řešitel

TS Plzeň a.s. + ZČU Plzeň (výzkumná skupina pro tvářecí stroje)

1.3 Vývoj výsuvného otočného stolu pro otáčení výkovků (pop-up table) pro hmotnosti 200-300 tun

Navrhovatel

Ing. Josef Volena – vedoucí oddělení konstrukce hydraulických lisů TS Plzeň a.s.

Popis konstrukčních problémů

- Určení parametrů a polohy výsuvného otočného stolu
- Stanovení typu (konstrukce) výsuvného otočného stolu
- Stanovení typu uložení otočné hlavy stolu
- Stanovení způsobu ovládání (otáčení) hlavy stolu: elektromotor, rotační hydromotor
- Stanovení způsobu ovládání (vysouvání) výsuvné částí stolu: přímočarý hydromotor, ozubený hřeben a pastorek
- Stanovení pohonu a ovládání výsuvného otočného stolu s možností napojení na pohon lisu
- Výpočet všech hlavních částí stolu

Stručný popis problematiky ve světě

Přední světové společnosti (kovárny) dodávající výkovky o velkých hmotnostech, zejména pro jadernou energetiku, lodní a letecký průmysl jsou nuceny investovat do velkých kovacích komplexů (obvykle lis plus 1 až 2 manipulátory), které splňují požadavky na kvalitu a bezpečnost uvedených průmyslových odvětví. Moderní kovací komplexy patří mezi dynamicky se vyvíjející výrobní zařízení. Na světovém trhu je v poslední době zájem o kovací hydraulické lisy s lisovní silou 100-200 MN. Pro představu lze uvést, že největší lisy v ČR instalované v kovárnách ve Vítkovicích a Pilsen Steel mají max. kapacitu 120MN. velkou

Komplexní problematika vývoje lisů s velkými silami zahrnuje nejen vlastní mechanickou část lisu, ale je nutno také přizpůsobit a navrhnout odpovídající hydraulický pohon zaručující požadovaný výkon lisu. Ze strany investorů (kováren) je kladen rovněž důraz na plynulé a bezpečné řízení (hydraulické a elektrické) celého kovacího procesu, což umožňuje dosáhnout požadované minimální tolerance při kování a vysokou kvalitu výkovků o velkých hmotnostech. Nezbytnou součástí moderních kovacích komplexů je rovněž programové (automatické) kování, které zaručuje proces samotného kování bez zásahů obsluhy lisu (operátora) a rovněž minimalizuje chyby vyplývající z lidského faktoru. Přitom je ale operátorovi umožněno kdykoliv inicializovat změny automatického kování nebo přejít na ruční ovládání, pokud si to provozní situace vyžaduje.

Jako nezbytný doplněk ke kovacímu hydraulickému lisu 100 až 200MN je rovněž požadován výsuvný otočný stůl s kapacitou 200-300 pro otáčení výkovků vyplývající z nutnosti rychlé manipulace s výkovky a ingoty velkých hmotností.

Vlastní odborné zhodnocení přínosu tématu pro obor a průmysl v ČR

Navrhování takto velkých jednotek již vyžaduje jiné než obvyklé projekční a konstrukční přístupy k řešení, neboť výrobní a manipulační omezení (např. hmotnost, možnosti obrobení a montáže) neumožňují využít klasické technické postupy.

Při navrhování kovacích komplexů o síle 100-200MN je požadována snadná a hlavně rychlá manipulace s výkovky. Hlavní důvody jsou ekonomické: snížení počtu ohřevů pro zpracování výkovku (ingotu) a zvýšení produktivity lisu. Požadavky na snadnou a rychlou

manipulaci s výkovky se objevují v zadáních pro kovací komplexy a jejich nesplnění je důvod k vyřazení nabídky.

Získání takové zakázky tuzemskou společností podpoří všechna odvětví těžkého průmyslu v naší republice – výroba oceli, velkých odlitků, velkých ingotů, velkých výkovků včetně tepelného zpracování a opracování.

Cíle a praktické výstupy pro obor/průmysl

Vytvoření podkladů pro zvládnutí návrhu (nabídky) výsuvného otočného stolu s možností rychle reagovat na případné změny a požadavky zákazníka při vlastním jednání.

Vytvoření podkladů pro realizaci vlastní zakázky – maximální snížení manipulačních časů s výkovky a zvýšení produktivity kovacího procesu

Způsob dosažení cílů

- Vytipování a stanovení nejčastěji požadovaných parametrů výsuvného otočného stolu na světovém trhu
- Zmapování parametrů již vyrobených výsuvných otočných stolů na světě s kapacitou 200-300 tun
- Zmapování všech vhodných způsobů ovládání hlavy stolu
- Zmapování všech vhodných způsobů ovládání výsuvné části stolu

Doporučený řešitel

TS Plzeň a.s. + ZČU Plzeň (výzkumná skupina pro tvářecí stroje)

1.4 Ovládací systémy, (hydraulické a elektrické) pro ovládání a řízení procesu kování velkých kovacích lisů o síle 100-200 MN

Navrhovatel

Ing. Josef Volena – vedoucí oddělení konstrukce hydraulických lisů TS Plzeň a.s.

Popis konstrukčních problémů

- Stanovení typu pracovní kapaliny lisu: olej, voda, HFA
- Stanovení typu pohonu lisu: přímý, akumulátorový
- Stanovení optimálního pracovního tlaku s ohledem na ovládání lisu a mechanické části lisu
- Stanovení typu ovládacích ventilů: typizované vestavěné ventily, nerezové ventily vlastní konstrukce ovládané proporcionálními šoupátky – vhodné pro akumulátorový pohon, modulární uspořádání hydraulických rozvodů
- Stanovení řady možných světlostí (průtoků) ventilů pro olejový přímý pohon
- Stanovení řady možných světlostí (průtoků) ventilů pro vodní akumulátorový pohon
- Návrhy na využití nízkotlakých nádrží pro pomocné pohyby lisu – předjíždění (přibližování lisu k výkovku)
- Návrhy na využití a umístění nízkotlakých nádrží pro snížení hydraulických rázů v potrubí
- Možnosti ovládání zpětných válců lisu při procesu rychlokování (zpětné válce trvale pod tlakem)
- Stanovení vhodného typu akumulátoru pro ovládání zpětných válců nebo přímé napojení zpětných válců na tlaková čerpadla
- Stanovení optimálního dispozičního uspořádání ovládání s ohledem na minimální plochu strojovny a minimální délky potrubí a požadovanou rychlost ovládání

Stručný popis problematiky ve světě

Přední světové společnosti (kovárny) dodávající výkovky o velkých hmotnostech, zejména pro jadernou energetiku, lodní a letecký průmysl jsou nuceny investovat do velkých kovacích komplexů (obvykle lis plus 1 až 2 manipulátory), které splňují požadavky na kvalitu a bezpečnost uvedených průmyslových odvětví. Moderní kovací komplexy patří mezi dynamicky se vyvíjející výrobní zařízení. Na světovém trhu je v poslední době zájem o kovací hydraulické lisy s lisovní silou 100-200 MN. Pro představu lze uvést, že největší lisy v ČR instalované v kovárnách ve Vítkovicích a Pilsen Steel mají max. kapacitu 120MN. Ale tyto lisy jsou bez manipulátoru a jejich parametry (světlost lisu, průchod mezi sloupy) neumožňují kovat kroužky velkých rozměrů. Ani konstrukce lisu to neumožňuje (zatížení mimo osu lisu).

Komplexní problematika vývoje lisů s velkou kapacitou zahrnuje nejen vlastní mechanickou část lisu, ale je nutno také přizpůsobit a navrhnout odpovídající hydraulický pohon zaručující požadovaný výkon lisu. Ze strany investorů (kováren) je kladen rovněž důraz na plynulé a bezpečné řízení (hydraulické a elektrické) celého kovacího procesu, což umožňuje dosáhnout požadované minimální tolerance při kování a vysokou kvalitu výkovků o velkých hmotnostech. Nezbytnou součástí moderních kovacích komplexů je rovněž programové (automatické) kování, které zaručuje proces samotného kování bez zásahů obsluhy lisu (operátora) a rovněž minimalizuje chyby vyplývající z lidského faktoru. Přitom je ale

operátorovi umožněno kdykoliv inicializovat změny automatického kování nebo přejít na ruční ovládání, pokud si to provozní situace vyžaduje.

Vlastní odborné zhodnocení přínosu tématu pro obor a průmysl v ČR

Pochopení a zvládnutí problematiky při navrhování ovládání kovacího lisu o síle 100-200 MN pro volné kování může výrazně pomoci k možnosti projekčně a konstrukčně zvládnout projekt kovacího komplexu o silách 100-200 MN pro volné kování. Při návrhu ovládání pro takto velké lisy je nutno klást důraz na maximální snížení nákladů investora, požadavky na zastavěnou plochu, úsporu energií, životnost a bezpečnost provozu.

Získání takové zakázky tuzemskou společností podpoří všechna odvětví těžkého průmyslu v naší republice – výroba výkovků pro rozvody, potrubí, nádrží, armatur a ostatních částí pohonu.

Navrhování takto velkých jednotek již vyžaduje jiné než obvyklé projekční a konstrukční přístupy k řešení, neboť výrobní a manipulační omezení (např. hmotnost, možnosti obrobení a montáže) neumožňují využít klasické technické postupy.

Cíle a praktické výstupy pro obor/průmysl

Vytvoření podkladů pro zvládnutí návrhu (nabídky) ovládání lisu s možností rychle reagovat na případné změny a požadavky zákazníka při vlastním jednání.

Vytvoření podkladů pro realizaci vlastní zakázky – maximální snížení nákladů investora, požadavky na zastavěnou plochu, úsporu energií, životnost a bezpečnost provozu.

Způsob dosažení cílů

Vytipování a stanovení nejčastěji požadovaných rychlostních parametrů lisů na světovém trhu

Zmapování parametrů již vyrobených lisů na světě s kapacitou 100-200 MN

Zmapování výrobních možností v ČR a ve světě – ohýbání vysokotlakého potrubí o velkých světlostech, nízkotlaké a beztlaké nádoby atd.

Zmapování výrobců vysokotlakých hydraulických prvků (vestavěné ventily, akumulátory, proporcionální ventily, …) pro různé druhy pracovní kapaliny

Doporučený řešitel

TS Plzeň a.s. + ZČU Plzeň (výzkumná skupina pro tvářecí stroje)

1.5 Programové kování pro kovací celky o silách 100-200 MN

Navrhovatel

Ing. Josef Volena – vedoucí oddělení konstrukce hydraulických lisů TS Plzeň a.s.

Popis konstrukčních problémů

- Stanovení a specifikace pojmu programového kování a stanovení rozsahu ovládaných částí kovacího komplexu (lis, manipulátor, otočný zvedací stůl, jeřáb, pece, …)
- Způsob ovládání lisu a kontrolní mechanizmy poloh všech pohybujících se částí lisu
- Způsob ovládání manipulátoru a kontrolní mechanizmy poloh všech pohybujících se částí manipulátoru
- Způsob spřažení lisu s manipulátorem
- Stanovení základních typů výkovků: tvar, rozměry, hmotnost a materiál
- Stanovení optimální technologie kování pro různé typy výkovků
- Určení „tečení“ materiálu při jednotlivých základních krocích kování
- Způsob svázání jednotlivých kroků kování s výstupy pro ovládání lisu a manipulátoru
- Možnost kontroly o korekce procesu kování
- Stanovení způsobu kontroly rozměru výkovku
- Stanovení způsobu kontroly teploty výkovku
- Stanovení způsobu kontroly polohy výkovku
- Stanovení způsobu kontroly velikosti prokování výkovku

Stručný popis problematiky ve světě

Přední světové společnosti (kovárny) dodávající výkovky o velkých hmotnostech, zejména pro jadernou energetiku, lodní a letecký průmysl jsou nuceny investovat do velkých kovacích komplexů (obvykle lis plus 1 až 2 manipulátory), které splňují požadavky na kvalitu a bezpečnost uvedených průmyslových odvětví. Moderní kovací komplexy patří mezi dynamicky se vyvíjející výrobní zařízení. Na trhu světovém trhu je v poslední době zájem o kovací hydraulické lisy s lisovní silou 100-200 MN. Pro představu lze uvést, že největší lisy v ČR instalované v kovárnách ve Vítkovicích a Pilsen Steel mají max. kapacitu 120MN. Ale tyto lisy jsou bez manipulátoru a jejich parametry (světlost lisu, průchod mezi sloupy) neumožňují kovat kroužky velkých rozměrů. Ani konstrukce lisu to neumožňuje (zatížení mimo osu lisu).

Komplexní problematika vývoje lisů s velkou kapacitou zahrnuje nejen vlastní mechanickou část lisu, ale je nutno také přizpůsobit a navrhnout odpovídající hydraulický pohon zaručující požadovaný výkon lisu. Ze strany investorů (kováren) je kladen rovněž důraz na plynulé a bezpečné řízení (hydraulické a elektrické) celého kovacího procesu, což umožňuje dosáhnout požadované minimální tolerance při kování a vysokou kvalitu výkovků o velkých hmotnostech. Nezbytnou součástí moderních kovacích komplexů je programové (automatické) kování, které zaručuje proces samotného kování bez zásahů obsluhy lisu (operátora) a rovněž minimalizuje chyby vyplývající z lidského faktoru. Přitom je ale operátorovi umožněno kdykoliv inicializovat změny automatického kování nebo přejít na ruční ovládání, pokud si to provozní situace vyžaduje.

Vlastní odborné zhodnocení přínosu tématu pro obor a průmysl v ČR

Navrhování takto velkých jednotek již vyžaduje jiné než obvyklé projekční a konstrukční přístupy k řešení, neboť výrobní a manipulační omezení (např. hmotnost, možnosti obrobení a montáže) neumožňují využít klasické technické postupy.

Při navrhování kovacích komplexů s o silách 100-200MN je požadované maximální zkrácení doby kování. Hlavní důvody jsou ekonomické: snížení počtu ohřevů pro zpracování výkovku (ingotu) a zvýšení produktivity lisu. Dalším důvodem je snížení možnosti výroby zmetků a minimalizovat přídavky výkovku pro snížení nákladů při následném opracování. Požadavky na programové kování se objevují v zadáních pro kovací komplexy a jejich nesplnění je důvod k vyřazení nabídky.

Získání takové zakázky tuzemskou společností podpoří všechna odvětví těžkého průmyslu v naší republice – výroba oceli, velkých odlitků, velkých ingotů, velkých výkovků včetně tepelného zpracování a opracování.

Cíle a praktické výstupy pro obor/průmysl

Možnost nabídnout programové kování jako součást kovacího komplexu

Vytvoření podkladů pro realizaci programového kování

Stanovit požadavky na ovládání lisu a manipulátoru pro možné využití programového kování

Způsob dosažení cílů

Získání maximálního množství informacích o požadavcích na programové kování ve světě

Získání maximálního množství informacích o parametrech již používaného programového kování ve světě) včetně nedostatků a slabých míst

Vytipování a stanovení nejčastěji požadovaných výkovků u velkých kovacích komplexu s kapacitou 100-200 MN

Vytipování základních typů výkovků: tvar, rozměry, hmotnost a materiál

Doporučený řešitel

TS Plzeň a.s. + ZČU Plzeň (výzkumná skupina pro tvářecí stroje)

1.6 Zmenšování energetické náročnosti hydraulických lisů

Navrhovatel:

Doc. Ing. Milan Čechura CSc., CVTS,KKS, ZČU Plzeň

Popis problémů

- Vytipování energeticky náročných míst na strojích
- Stanovení zásad energetického bilancování
- Vypracování teorie řešení
- Zjistit funkční závislosti zjištěných ztrát energie
- Ekonomické bilancování energetických opatření
- Doporučení nutných konstrukčních úprav
- Doporučení nutných technologických úprav
- Doporučení nutných úprav hydraulického a elektrického ovládání technologického procesu kování (lis, manipulátor, ...)
- Doporučení nutných změn toku materiálu před a po vlastním procesu kování (např. zakládání ingotu do kleští manipulátoru, ...)
- Doporučení typů a počtů jednotlivých částí kovacího komplexu (počet manipulátorů, ingotový vůz, nářaďový manipulátor, ...)
- Doporučení nutných dispozičních úprav jednotlivých částí kovacího komplexu

Stručný popis problematiky ve světě

Vzhledem k tomu, že ve světě až doposud převažoval dostatek energetických zdrojů, firmy vyrábějící tvářecí stroje se v podstatě nezabývaly řešením energetické bilance vyráběných strojů.

Také proto, že cena energie byla nízká, nevyplatilo se výrobcům investovat do energetických výpočtů a do řešení potřebných konstrukčních úprav.

V posledních letech, kdy se objevuje problém s dalším získáváním energetických zdrojů, a cena energie nezanedbatelně stoupá vzhledem k výrobním nákladům při výrobě a provozování stroje, se některé firmy, ale především výzkumné a ekologické organizace začaly zabývat otázkou energetického bilancování.

A tak je dnes vyrobeno několik strojů, u kterých byl zohledněn při jejich konstrukci vliv energetických ztrát, avšak většinou ne komplexně na celý stroj, ale pouze při řešení problémových komponent.

Vlastní odborné zhodnocení přínosu tématu pro obor a průmysl v ČR

- zmapování stavu energetické náročnosti strojů vyráběných v ČR
- vytvoření teoretického systému pro řešení energetického bilancování strojů
- pomoc průmyslu při zmenšování energetické náročnosti strojů
- úspory jak ve výrobní, tak v provozní náročnosti nově navrhovaných strojů
- zvýšení technické úrovně u nás vyráběných tvářecích strojů

Cíle a praktické výstupy pro obor/průmysl

- Zvýšení technických parametrů strojů
- Vytvoření technologického náskoku proti konkurenci
- Snížení energetické náročnosti strojů
- Snížení nákladů při provozování strojů

Způsob dosažení cílů

- Vytipování energeticky náročných strojů
- Analýza stávajícího stavu energetické náročnosti tvářecích strojů
- Vyhodnocení výsledků analýzy a stanovení vytipovaných problémů k řešení.
- Virtuální řešení energetické bilance na konkrétních strojích
- Virtuální testování zatížení strojů a jejich dílů
- Praktické ověření virtuálně získaných výsledků na stávajících strojích.

Doporučený řešitel

CVTS ,KKS,ZČU v Plzni (výzkumná skupina pro tvářecí stroje)

Jedná se o teoretické práce – požadavek výkonné pracovní stanice + výpočetní software) Celkem 1 až dva lidé z oblasti výzkumu

1.7 Konstrukční řešení nových a zlepšování technických parametrů stávajících stojanů velkých mechanických lisů.

Navrhovatel

Doc. Ing. Milan Čechura CSc., CVTS,KKS, ZČU Plzeň

Popis konkrétních problémů

- Potřeba optimalizace konstrukčního řešení tak, aby stojany měly malou hmotnost a vysokou tuhost
- Řešit konstrukční návrh stojanu s ohledem na technologické možnosti výroby
- Řešit konstrukční návrh stojanu s ohledem na manipulační a dopravní možnosti
- Řešit konstrukční návrh stojanu s ohledem na koncepční uspořádání funkčních mechanismů
- Zohlednit montážní možnosti výrobce a uživatele
- Zabývat se vhodností a ekonomickou náročností použitých materiálů pro výrobu stojanů

Stručný popis problematiky ve světě

V současné době se vyrábí především malé a střední velikosti mechanických lisů, pro které je již vytvořen určitý systém jejich navrhování a konstruování. Pro nižší kategorii velkých stojanů se často přebírají zásady navrhování dle zkušeností se středními lisy.

Toto lze provádět pouze do určité velikosti, neboť při velkých jednotkách se setkáváme s mnoha technickými omezeními, která nás nutí hledat nová koncepční řešení.

Stojany velkých mechanických lisů se zatím navrhují nekoncepčně, dle technologických možností jednotlivých výrobních firem. Vyrábí se často jako dělené z několika kusů, navzájem různě pospojovaných. Velké stojany se doposud většinou konstruují dle požadavků zákazníka „na míru“, často značně předimenzované. Tento způsob výroby je většinou exaktní, a potřebuje podložit správně provedenou výpočtovou a konstrukční dokumentací.

V poslední době stoupá poptávka po velkých mechanických lisech, především pro zápustkové kování a to v souvislosti s poznáním, že technologie výroby při větších množstvích výrobků je na lisech daleko efektivnější, než třískovým obráběním. Požadavku na větší množství velkých výkovků také přispívá globalizace výrobců a spotřebitelů a stále se zvětšující a zlepšující se možnost komunikace a dopravy.

Vlastní odborné zhodnocení přínosu tématu pro obor a průmysl v ČR

ČR patří svou výrobní základnou pro tvářecí stroje mezi technicky vyspělé země, schopné koncepčně řešit složitou problematiku s konstrukcí a výrobou velkých tvářecích strojů.

Jedná se o kusovou výrobu, většinou na konkrétní technologickou objednávku, která je nutně spojena s potřebným vývojem a výzkumem.

Proto ve výrobě takovýchto výrobků je obsaženo velké množství duševní technické tvůrčí práce, která je následně úspěšným prodejem náležitě zhodnocena.

Řešením takovéto technické problematiky dochází u nás i ke zvyšování technické úrovně samotných technických kádrů, neboť na každém konkrétním případě je možno se hodně přiučit.

Tím, že zvládneme projekty, konstrukci a výrobu těchto velkých jednotek v potřebné kvalitě, stanou se naše výrobky na světových trzích konkurenceschopné a dobře prodejné.

To zpětně přispěje dalšímu rozvoji naší ekonomiky, získají se prostředky pro další rozvoj vědy a výzkumu.

Cíle a praktické výstupy pro průmysl

- Vytvoření postupu řešení pro velké a netypické stojany
- Vytvoření výpočtové a technické dokumentace na vysoké profesionální úrovni s použitím dostupných možností optimalizace
- Vytvoření podkladů pro zvládnutí návrhu (nabídky) mechanické části lisu s možností rychle reagovat na případné změny a požadavky zákazníka při vlastním jednání
- Vytvoření podkladů pro realizaci vlastní zakázky – hlavně podklady pro zvládnutí vlastního výpočtu hlavních částí lisu: zjednodušení modelu, zatížení, okrajové podmínky, kontaktní úlohy, zjednodušení modelu při jednotlivých způsobech zatížení

Způsob dosažení cílů

- Vytipování a stanovení nejčastěji požadovaných parametrů lisu na světovém trhu
- Zmapování parametrů již vyrobených lisů na světě se silou větší než 40 MN
- Zmapování výrobních možností v ČR a ve světě – max. hmotnost a rozměry odlitku, výkovku. Max. hmotnost a rozměr dílu pro opracování a tepelné zpracování
- Analýza zatížení lisu při jednotlivých způsobech kování
- Způsob tvorby modelu jednotlivých částí a stojanu lisu – možnosti zjednodušení modelu a zatížení, stanovení správných okrajových podmínek, řešení potřebných kontaktních úloh, vhodné zjednodušení modelu při jednotlivých způsobech zatížení od technologického procesu

Doporučený řešitel

ŠMERAL Brno a.s. + CVTS,KKS, ZČU Plzeň (výzkumná skupina pro tvářecí stroje)

1.8 Zmenšování energetické náročnosti mechanických lisů

Navrhovatel

Doc. Ing. Milan Čechura CSc., CVTS, KKS, ZČU Plzeň

Popis problémů

- Vytipování energeticky náročných míst na strojích
- Stanovení zásad energetického bilancování
- Vypracování teorie řešení
- Zjistit funkční závislosti zjištěných ztrát energie
- Ekonomické bilancování energetických opatření
- Doporučení nutných konstrukčních úprav
- Doporučení nutných technologických úprav
- Doporučit možnost využití nových materiálů (hardox, weldox, ...)
- Doporučit možnost využití nových úprav povrchů pohybujících se částí (úprava povrchu plunžrů, ...)
- Doporučit možnost využití nových těsnících systémů (tvar těsnění, materiál těsnění, vodící kroužky, ...)
- Doporučit možnost využití nových mazacích systémů a hlavně nových mazacích olejů a tuků, které výrazně snižují koeficient tření

Stručný popis problematiky ve světě

Vzhledem k tomu, že ve světě až doposud převažoval dostatek energetických zdrojů, firmy vyrábějící tvářecí stroje se v podstatě nezabývaly řešením energetické bilance vyráběných strojů.

Také proto, že cena energie byla nízká, nevyplatilo se výrobcům investovat do energetických výpočtů a do řešení potřebných konstrukčních úprav.

V posledních letech, kdy se objevuje problém s dalším získáváním energetických zdrojů, a cena energie nezanedbatelně stoupá vzhledem k výrobním nákladům při výrobě a provozování stroje, se některé firmy, ale především výzkumné a ekologické organizace začaly zabývat otázkou energetického bilancování.

A tak je dnes vyrobeno několik strojů, u kterých byl zohledněn při jejich konstrukci vliv energetických ztrát, avšak většinou ne komplexně na celý stroj, ale pouze při řešení problémových komponent.

Vlastní odborné zhodnocení přínosu tématu pro obor a průmysl v ČR

- zmapování stavu energetické náročnosti strojů vyráběných v ČR
- vytvoření teoretického systému pro řešení energetického bilancování strojů
- pomoc průmyslu při zmenšování energetické náročnosti strojů
- úspory jak ve výrobní, tak v provozní náročnosti nově navrhovaných strojů
- zvýšení technické úrovně u nás vyráběných tvářecích strojů

Cíle a praktické výstupy pro obor/průmysl

- Zvýšení technických parametrů strojů
- Vytvoření technologického náskoku proti konkurenci
- Snížení energetické náročnosti strojů
- Snížení nákladů při provozování strojů

Způsob dosažení cílů

- Vytipování energeticky náročných strojů
- Analýza stávajícího stavu energetické náročnosti tvářecích strojů
- Vyhodnocení výsledků analýzy a stanovení vytipovaných problémů k řešení.
- Virtuální řešení energetické bilance na konkrétních strojích
- Virtuální testování zatížení strojů a jejich dílů
- Praktické ověření virtuálně získaných výsledků na stávajících strojích

Doporučený řešitel

CVTS,KKS,ZČU v Plzni (výzkumná skupina pro tvářecí stroje)

Jedná se o teoretické práce – požadavek výkonné pracovní stanice + výpočetní software)Celkem 1 až dva lidé z oblasti výzkumu

Zařízení pro dělení materiálu s využitím moderních technologií

Jedná se o zařízení pro dělení materiálu stříháním, řezáním, lámáním, laserem, vodním paprskem a s použitím dalších, k tomu účelu využitelných, technologií.

2.1 Řešení problematiky dělení materiálu stříháním

2.1 Řešení problematiky dělení materiálu stříháním

Navrhovatel

Ing. David Zalaba, ŽĎAS

Popis konkrétních problémů

- Volba vhodného materiálu nožů, s ohledem na tvrdost a životnost
- Možnost povrchové úpravy funkční části nože
- Vhodná volba třecích materiálů

Stručný popis stavu problematiky ve světě

V poslední době dochází k požadavkům na stříhání materiálů o vetší pevnosti ve střihu než 440 MPa. Toto má za následek značné opotřebování nožů a tím i jejich častou výměnu. Proto je nutné se zamyslet nad vhodnou volbou materiálu nožů s ohledem na životnost střižné hrany.

Při vodorovném pohybu nožových saní dochází k opotřebování spodních lišt. Používala se kombinace třecí dvojice plech o tvrdosti 400 HB a PA Amod, u nového typu je to plech o tvrdosti 400 HB v kombinaci s plechem o tvrdosti 500 HB.

Vlastní odborné zhodnocení přínosu tématu pro obor a průmysl ČR

V reálném provozu dochází k opotřebování střižné hrany a zvětšování vůle mezi noži vlivem opotřebení vedení. Zvětšováním vůle mezi noži se zvětšuje i rozpěrací síla a tím dochází k namáhání vedení a celé střižné části nůžek.

Správnou volbou použitého materiálu nožů se snižují provozní náklady (nože vydrží větší počet střihů).

Správnou volbou třecí dvojice se prodlouží životnost třecích plechů a vedení, prodlouží se doba před nutnou výměnou plechů a vedení a dojde k úspoře nákladů provozovatele.

Cíle a praktické výstupy pro průmysl

Vývoj jednoduchého principu měření opotřebení nožů na základě měření rozpěrací síly**.** Uvedená metoda by měla s využitím jednoduchého diagnostického vybavení informovat obsluhu zařízení na ovládacím panelu o nutné výměně (otočení) střižné hrany nožů a o potřebě seřízení vůlí ve vedení nožových saní.

Návrh a ověření vhodného materiálu nožů pro stříhání větších pevností než 440 MPa.

Návrh o ověření vlastností kluzné dvojice, vliv na životnost vedení, přenos síly a odolnost proti abrazivnímu opotřebení.

Způsob dosažení cílů

Detailní studie konstrukce zařízení a definice možných způsobů řešení, volba materiálů (teoretická práce).

Rozbor sil, zhotovení počítačových modelů, návrh řešení (teoretická práce).

Návrh materiálu nožů, návrh třecích dvojic, návrh a ověření principů měření opotřebení nožů (praktická měření, nutno nakoupit materiál pro zkoušky a návrhy).

Vývoj metody pro měření opotřebení (teoretická práce, měření).

Doporučený řešitel

ŽĎAS a.s. Žďár n/s, (2 pracovníci v oblasti výzkumu, 2 pracovníci ze spolupracujícího podniku, 2 pracovníci pro materiálové zkoušky, 4 pracovníci pro výrobu a montáž vlastní detekce.)

Stroje na zhutňování materiálů

Ve společnosti je stále více vysoce objemných materiálů jako odpad ze spotřebního zboží, včetně automobilového průmyslu. Proto je nutné pro lepší manipulaci i přepravu tento materiál náležitě zhutnit a připravit tak k dalšímu zpracování.

K tomu nám mohou posloužit stroje jako např. briketovací a paketovací lisy.

3.1 Řešení problematiky strojů na zhutňování materiálů

3.1 Řešení problematiky strojů na zhutňování materiálů

Navrhovatel

Ing. David Zalaba, ŽĎAS

Paketovací lisy

Popis konkrétních problémů (paketovací lisy)

- Stanovení vhodného profilu obložných plechů
- Stanovení tvrdosti obložných plechů v závislosti na ceně a prodloužení životnosti
- Stanovení životnosti třecích plechů při paketování nerezových plechů
- Paketování ocelových, hliníkových a mosazných vinutých špon

Stručný popis stavu problematiky ve světě

Konkurenční firmy používají pro obložné plechy buď trapézový profil, nebo vlnkový. Tyto profily zabraňují zadírání plechů a paketovaného materiálu, eliminují vliv penízků.

V poslední době dochází k požadavkům na paketování materiálů o větší pevnosti ve střihu než 440 MPa. Toto má za následek opotřebování obložných plechů a jejich častější výměnu. Proto je nutné se zamyslet nad vhodnou volbou materiálu obložení s ohledem na jejich životnost a nárůst ceny.

Nerezový plech při paketování má větší pevnost materiálu. Z těchto důvodů dochází i k rychlejšímu opotřebení obložných plechů.

Pro likvidaci špon jsou vhodné briketovací lisy. Úkolem je zkusit a ověřit možnost špony paketovat

Vlastní odborné zhodnocení přínosu tématu pro obor a průmysl ČR

V reálném provozu dochází k přidírání obložných plechů. Úkolem je stanovit vhodnost daného profilu i s pohledem na snadnost jeho obrábění.

Správnou volbou použitého materiálu obložných plechů se snižují provozní náklady (Obložné plechy mají větší životnost.

Procentuelní stanovení vlivu paketování nerezových plechů na životnost obložení.

Vhodnost použití paketovacích lisu na slisování vinutých špon, posouzení možností, volba výstupní velikosti paketu.

Cíle a praktické výstupy pro průmysl

- Stanovení efektivního profilu s ohledem na životnost obložného plechu a rychlost obrábění takového plechu.
- Návrh a ověření vhodného materiálu obložných plechů.
- Určení, zda jsou paketovací lisy vhodné pro paketování vinutých špon.

Způsob dosažení cílů

Detailní studie konstrukce zařízení a definice možných způsobů řešení, volba materiálů (teoretická práce).

Rozbor sil, zhotovení počítačových modelů, návrh řešení (teoretická práce).

Návrh materiálu obložných plechů, návrh třecích dvojic, návrh a ověření principů měření opotřebení obložných plechů (praktická měření, nutno nakoupit materiál pro zkoušky a návrhy)

Vývoj metody pro měření opotřebení (teoretická práce, měření)-

Doporučený řešitel

ŽĎAS a.s. Žďár n/s, (2 pracovníci v oblasti výzkumu, 2 pracovníci ze spolupracujícího podniku, 2 pracovníci pro materiálové zkoušky, 4 pracovníci pro výrobu a montáž vlastní detekce.)

Briketovací lisy

Popis konkrétních problémů (briketovací lisy)

- Stanovení vhodného materiálu pro nástroje
- Stanovení vhodného tvaru nástroje
- Stanovení automatizace provozu
- Briketování ocelových, hliníkových a mosazných vinutých špon

Stručný popis stavu problematiky ve světě

Briketování se provádí ve světě především proto, že pro vkládání malých částic při tavném procesu, dochází k jejich rychlé oxidaci a teda k znehodnocení vkládaného kovu, a především také proto, aby došlo k objemovému zhutňování odpadu (špon). Briketování se provádí na vertikálních nebo horizontálních lisech, většinou mechanicky, nebo hydraulicky poháněných.

Limitující pro efektivitu je stupeň automatizace celého procesu a také životnost používaných nástrojů.

Vlastní odborné zhodnocení přínosu tématu pro obor a průmysl ČR

V reálném provozu dochází k vydírání nástrojů. Úkolem je stanovit správnou konstrukci nástroje.

Správnou volbou použitého materiálu nástroje se snižují provozní náklady. Hlavním přínosem by mělo být prodloužení bezporuchového provozu briketovacích lisů. Vhodnou volbou materiálu na nástroje by se dalo ušetřit na provozních nákladech.

Přínosem by také bylo stanovit vhodnost použití briketovacího lisu na slisování vinutých špon, posouzení možností, volba výstupní velikosti brikety.

Cíle a praktické výstupy pro průmysl vyrábějící briketovací lisy

- Stanovení vhodného materiálu nástroje pro briketování jednotlivých druhů materiálu
- Návrh a ověření vhodného tvaru brikety
- Zefektivnění způsobu výroby briket

Způsob dosažení cílů

Detailní studie konstrukce zařízení a definice možných způsobů řešení, volba materiálů (teoretická práce).

Rozbor sil, zhotovení počítačových modelů, návrh řešení (teoretická práce).

Návrh materiálu nástrojů, návrh třecích dvojic, návrh a ověření principů měření opotřebení (praktická měření, nutno nakoupit materiál pro zkoušky a návrhy)

Vývoj metody pro měření opotřebení (teoretická práce, měření)-

Doporučený řešitel

ŽĎAS a.s. Žďár n/s, (2 pracovníci v oblasti výzkumu, 2 pracovníci ze spolupracujícího podniku, 2 pracovníci pro materiálové zkoušky, 4 pracovníci pro výrobu a montáž vlastní detekce).

Stroje na zpracování plastů, keramiky a dalších nekovových materiálů

Průmysl stále více využívá plastů, keramiky a dalších nekovových materiálů při výrobě nových výrobků. Za tím účelem a s ohledem na stále se objevující nové hmoty, je nutno vyvíjet a zhotovovat stroje, na kterých je efektivně možné vyrábět výrobky z těchto hmot. Většinou se bude jednat o tváření, vstřikování a lití do forem.

4.1 Zvyšování užitných vlastností kalandrovacích výrobních linek

4.2 Výkonná a přesná výroba plastových fólií kombinovaným vytlačováním a válcováním (technologie roll-head)

4.1 Zvyšování užitných vlastností kalandrovacích výrobních linek

Navrhovatel

Ing. Milan Círek, Ph.D. Buzuluk Komárov

Popis konstrukčních problémů

- zvyšování přesnosti produkce pro minimalizaci ztrát výrobního procesu
- stanovení vhodných technologických principů výroby
- analýza zátěžových stavů stávajících zařízení a tvorba metodiky pro stanovení výpočtových zátěžových stavů
- volba dimenzí stroje a výkonových parametrů
- stanovení principu zpětnovazebního systému měření a řízení
- zvyšovaní výrobnosti
- zkrácení činností spojené s dodávkou polotovarů a odběrem produktu
- stanovení způsobu a návrh dodávky materiálu a odběru produktu
- zvýšení rychlosti výrobních linek
- stanovení vhodných technologických principů výroby pro linky s vysokou rychlostí toku materiálu při zachování vysoké kvality a následné vývojové kroky (viz. přesnost produkce)
- návrh zařízení pro akumulaci materiálu pro linky s vysokou rychlostí toku materiálu
- návrh zařízení pro in-line předpřípravu polotovarů a dokončení produktů

Stručný popis problematiky ve světě

V gumárenském průmyslu, tak jako i jiném, musí být produkt vyroben v odpovídajícím rozměru. U výrobků, které jsou vyráběny kalandrováním (válcováním kaučuku) se zejména jedná o toleranci tloušťky produktu. Z důvodu velmi vysokých materiálových, resp. finančních úspor, se většinou produkt vyrábí na „dolní mezi tolerance tloušťky“, což však jej nebezpečně přibližuje zmetkovému rozměru. Zde je nutné použít progresivního výrobního zařízení (kalandru), který bude umožňovat výrobu velmi přesného, kvalitního a stálého produktu za použití vhodné technologie, měření a zpětnovazebního řízení.

Se zvyšováním produktivity, resp. rychlosti výrobní linky až na 70m/min se začneme navíc potýkat s problémy rychlého zásobování vstupními materiály a polotovary (cívky se surovými kordy) a odebíráním produktů (cívky s navinutým produktem chráněné pomocnými obaly), u kterých při výměně cívek dochází ke krátkému zastavení naviječího/odviječího zařízení a je nutné využívat smyčkových zásobníků. Zde je oblast pro inovativní návrhy systémů odvíjení, spojovaní a akumulaci polotovarů / akumulaci a navíjení produktů pro linky s velmi vysokou rychlostí běhu materiálu.

Vlastní odborné zhodnocení přínosu tématu pro obor a průmysl v ČR

Zvýšení technické úrovně výrobku a tím větší konkurenceschopnost, vytvoření know-how, ekologičnost, úspory materiálu, zlepšení přesnosti výrobku.

Pochopení a zvládnutí problematiky nových technologií v gumárenství spolu s analýzou zatěžovaní umožní návrh souboru zařízení s vysokou produktivitou, kvalitou výroby (uniformní produkt o vysoké přesnosti) a snadnou obsluhou, s úsporou zpracovávaných materiálů. Vývoj takového strojního zařízení posune znalosti v (nejen) oboru na vyšší úroveň a zároveň i bude přínosem pro české producenty pryžových výrobků.

Cíle a praktické výstupy pro obor/průmysl

- zvyšování přesnosti produkce pro minimalizaci ztrát výrobního procesu
- zvyšovaní objemu produkce
- zkrácení činností spojené s dodávkou polotovarů a odběrem produktu
- zvýšení rychlosti výrobních linek
- rozvoj technických znalostí v oblasti gumárenství
- zlepšení prodejnosti na tuzemských a zahraničních trzích
- Způsob dosažení cílů
- analýza běžných, nalezení možných a stanovení vhodných technologických principů výroby
- analýza běžných, nalezení možných a stanovení maximálních výkonů technologických linek
- systematické experimentální zjišťování zatěžovacích stavů
- optimalizace nosných částí s ohledem na zatěžování

Doporučený řešitel

Buzuluk Komárov + CVTS,KKS, ZČU Plzeň (výzkumná skupina pro tvářecí stroje)

4.2 Výkonná a přesná výroba plastových fólií kombinovaným vytlačováním a válcováním (technologie roll-head)

Navrhovatel

Ing. Milan Círek, Ph.D. Buzuluk Komárov

Popis konstrukčních problémů

- stanovení správných technologických principů a podmínek výroby
- analýza možnosti využití roll-head technologie
- analýza provozu stávajících zařízení a tvorba metodiky pro stanovení výpočtových zátěžových stavů, provozních teplot
- volba dimenzí stroje a výkonových parametr
- návrh vlastních zařízení
- návrh řešení a zařízení na odsávání výparů při výrobě
- návrh zařízení pro in-line úpravy a dokončení produktů
- návrh nového zařízení na vytahování, chlazení a povrchové dokončení fólií
- stanovení způsobu a návrh zařízení pro odběr produktů

Stručný popis problematiky ve světě

Stroje na výrobu fólií v plastikářském průmyslu (často se jedná o průmysl vyrábějící podlahové materiály) jsou velmi rozmanité, co se týká jejich konstrukce. Nejčastěji se jedná o válcovací stroj (kalandr) s množstvím přípravných zařízení (ohřívací dvouválce, pork-chop extrudery, různé dopravníkové systémy, dloužící stoly, řízené chlazení ….), což je ve výsledku nákladný systém vhodný pro velké objemy produkce nebo můžeme nalézt principiálně jednodušší speciální zařízení (double belt press, stroje na principu Auma, …), které svojí činností pokryjí více strojů avšak jejich výrobnost je nízká. Přitom v gumárenství je možno nalézt mnoho aplikací, kde je použita kombinace vytlačovacího stroje a válcovacího stroje (roll-head princip), která by při použití v plastikárenství mohla být použita pro ohřev materiálu, přimíchání barviv, teplotně řízené zpracování a velmi přesné vytlačování a válcování. Zároveň použití extruderu umožňuje snazší odstraňování škodlivých plynů, které vznikají při zpracování plastů.

Spolu s vlastním válcovacím zařízením je potřeba použít nově navržených zařízení za kalandrem (jako jsou dloužící stoly, chladící a embosovací zařízení), která dokončí produkt do přesných rozměrů, stabilizují ho jak rozměrově tak strukturně a dají mu konečný vzhled.

U celé takovéto linky je výhodné použít v dnešní době rozšířených a běžných řízených pohonů, měřících systémů a plně automatických zpětnovazebních řízení.

Vlastní odborné zhodnocení přínosu tématu pro obor a průmysl v ČR

Pochopení a zvládnutí problematiky takovéto nové technologie v plastikárenství spolu s analýzou zatěžovaní umožní návrh soubor zařízení s vysokou produktivitou, kvalitou výroby (uniformní produkt o vysoké přesnosti) a snadnou obsluhou, s úsporou zpracovávaných materiálů. Vývoj takového strojního zařízení posune znalosti v (nejen) oboru na vyšší úroveň a zároveň i bude přínosem pro české i zahraniční zpracovatele plastů.

Cíle a praktické výstupy pro obor/průmysl

- jednodušší a výkonnější linka na výrobu folií

- zvyšování přesnosti produkce
- lepší kontrola procesu míchání a válcování
- zvyšovaní objemu produkce
- zkrácení činností spojených s přípravou materiálu
- zvýšení rychlosti výrobních linek
- rozvoj technických znalostí v oblasti plastikárenství

Způsob dosažení cílů

- analýza běžných, nalezení možných a stanovení vhodných technologických principů výroby
- analýza běžných, nalezení možných a stanovení maximálních výkonů technologických linek
- systematické experimentální zjišťování zatěžovacích stavů
- optimalizace nosných částí s ohledem na zatěžování

Doporučený řešitel

Buzuluk Komárov (spolupráce se zahraničním výrobcem plastikářských míchacích extruderů – Pomini, Farrel, Coperion ….) +CVTS,KKS, ZČU Plzeň (výzkumná skupina pro tvářecí stroje)

Stroje a zřízení stavěné s využitím nekonvenčních materiálů

Možnosti využití nekonvenčních materiálů v konstrukci strojů a zařízení tam, kde lze tímto způsobem zlepšit jejich stávající technické parametry, nebo podstatně usnadnit jejich výrobu a snížit jejich cenu. Jejich využití umožní i lepší a ekologičtější likvidaci a recyklaci stroje

5.1 Studium možnosti využití nekonvenčních materiálů v konstrukci tvářecích strojů

5.2 Stojany lisů z ocelí o vyšší pevnosti

5.1 Studium možnosti využití nekonvenčních materiálů v konstrukci tvářecích strojů

Navrhovatel

Ing. Jan Hlaváč, Ph.D., CVTS,KKS, ZČU v Plzni

Popis konstrukčních problémů

- Volba vhodného nekonvenčního materiálu pro vytipovanou komponentu tvářecího stroje
- Náhrada ocelových nosných částí rámů
- Náhrada ocelových částí pohonu strojů
- Vhodné využití vlastností nekonvenčního materiálu
- Spojování materiálů
- Únava nekonvenčních materiálů
- Trvanlivost technických parametrů nekonvenčních parametrů

Stručný popis problematiky ve světě

Nekonvečními materiály se rozumí materiály, které se v konstrukci běžně nepoužívají, většinou se jedná o nově vyvíjené materiály. Obvykle jsou tak chápány kompozitní materiály, ať již vláknové nebo částicové, ale v oblasti konstrukce velkých tvářecích strojů se může jednat i o oceli s vyšší pevností.

Nekonvenční materiály se v konstrukci velkých tvářecích strojů spíše nepoužívají. Důvodů je několik. Mezi největší komplikace lze zařadit nízké zkušenosti výrobců s aplikací a vysokou cenu některých nekonvenčních materiálů. Dalšími nevýhodami jsou nevyužitelné přednosti nekonvenčních materiálů, jakými je například vlastní tlumení. Tvářecí stroje jsou optimalizovány na hmotnost nebo na pevnost (závisí na prováděné technologii), proto je aplikace vysocepevných ortotropních materiálů sice teoreticky možná, ovšem pouze tak, kde dochází k optimálnímu využití ortotropie. Využití materiálů na bázi plastu naráží na problematiku tváření za zvýšených teplot a i na vliv vývinu tepla během operace tváření. Nasazení betonů na bázi cementu je spojenu s nejistotou chování materiálu zatíženého cyklicky a rázy a s problematikou spojování s ocelovými díly.

Ceny oceli na světových trzích neustále stoupají a pro blízkou budoucnost nelze předpokládat opak. Proto je nezbytné zabývat se snižováním hmotnosti strojů, jedná se především o jejich rámy. Vhodným nasazením nekonvenčních materiálů může dojít ke snížení hmotnosti, tedy nejen materiálových nákladů.

V poslední době se začínají na trhu objevovat i veliké tvářecí stroje s přímým pohonem (Mossini – DESMODRIVE, Schuller - SERVODIRECT, AIDA – DIRECTDRIVE). U přímého pohonu je nutné ještě více sledovat ztrátovou energii spotřebovanou akcelerací částí pohonu. Vhodná aplikace nekonvenčních materiálů může pomoci snížení energetické náročnosti provozu.

Vlastní odborné zhodnocení přínosu tématu pro obor a průmysl v ČR

Při nalezení vhodné kombinace nekonvenčního materiálu a konstrukce tvářecího stroje lze dosáhnout technologického náskoku. Při současných cenách některých nekonvenčních materiálů je jejich nasazení málo reálné, což by se ale po jejich rozšíření mohlo změnit. Nelze opomenout ani rostoucí cenu oceli. Naopak využití betonu by mohlo vést ke kýžené finanční úspoře.

Při aplikaci do pohonu strojů s přímým pohonem lze dosáhnout snížení energetické náročnosti provozu.

Cíle a praktické výstupy pro obor/průmysl

- Zvýšení technických parametrů
- Vytvoření technologického náskoku proti konkurenci
- Snížení hmotnosti strojů při zachování technických parametrů
- Snížení výrobních nákladů a urychlení výroby

Způsob dosažení cílů

- Analýza možností náhrady ocelových dílů díly vyrobenými z nekonvenčních materiálů (teoretická práce bez speciálních požadavků na zdroje)
- Analýza nově představovaných nekonvenčních materiálů (teoretická práce bez speciálních požadavků na zdroje)
- Virtuální testování zatížení strojů a jejich dílů (teoretická práce – požadavek výkonné pracovní stanice + výpočetní software)

Doporučený řešitel

CVTS, KKS, ZČU v Plzni (výzkumná skupina pro tvářecí stroje) Celkem 1 až 2 lidé z oblasti výzkumu

5.2 Stojany lisů z ocelí o vyšší pevnosti

Navrhovatel

Ing. Miroslav Jopek, DIEFFENBACHER-CZ Brno

Popis konstrukčních problémů

Svařované stojany hydraulických i mechanických lisů jsou vyráběny výhradně z nízkouhlíkových ocelových plechů se zaručenou svařitelností typu 11373 (DIN: USt 37-2, S235JR) s mezí kluzu pro tlusté plechy R_e min = 226 MPa a s mezí pevnosti R_m = 363 – 441 MPa.

Při použití plechů se zaručenou svařitelností s vyšší pevností, např. typu 11523 (DIN: St 52-3, S355J2G3), které mají mez kluzu R_e min = 333 MPa a mez pevnosti

R_m = 510 – 626 MPa, by mohlo být dosaženo úspory materiálu v některých částech svařovaného stojanu 15 – 25 %. Cena těchto ocelí je přitom srovnatelná.

Je možno doporučit využití plechů hardox a weldox, které mají dobré mechanické vlastnosti, jsou dobře svařitelné a jejich cena je přijatelná.

Stručný popis problematiky u nás a ve světě

Snaha nahradit měkké nízkouhlíkové oceli při výrobě svařovaných stojanů tvářecích strojů ocelemi s vyšší pevností vedla kolem roku 1970 v tehdejším Výzkumném ústavu tvářecích strojů a technologie tváření ke zkouškám a k realizaci náhrady oceli 11373 u svařovaného C stojanu výstředníkového lisu ocelí 11523. Při provozním ověřování tohoto stojanu však na něm vznikaly relativně brzy únavové trhliny a vývoj byl ukončen jako neúspěšný. Podobné zkoušky provedla firma DIEFFENBACHER Německo kolem roku 1980 na uzavřeném svařovaném stojanu tvaru O hydraulického lisu se stejným negativním výsledkem. Protože se v posledních 30 letech zvýšila čistota a kvalita vyráběných konstrukčních ocelí a zvýšila technická úroveň materiálů i technologie svařování, lze očekávat v současné době po provedení odpovídajících analýz a výzkumně vývojových prací větší předpoklady pro úspěšné využití ocelí o vyšší pevnosti při výrobě svařovaných stojanů lisů.

Vlastní odborné zhodnocení přínosu tématu pro obor a průmysl v ČR

- Úspora materiálu snížením hmotnosti svařovaných stojanů lisů
- Úspora výrobních nákladů snížením pracnosti v důsledku zpracovávání menších objemů materiálu a manipulace s lehčími stojany
- Zvýšení konkurenceschopnosti snížením ceny stojanů tvářecích strojů.

Cíle a praktické výstupy pro obor/průmysl

Vypracování a ověření konstrukčních a technologických podkladů pro zavedení výroby svařovaných stojanů tvářecích strojů z ocelí o vyšší pevnosti.

Způsob dosažení cílů

- Výběr představitele stojanu (velikost lisu, typ lisu, technologické určení lisu)

- Technickoekonomická studie očekávaných výsledků pro vybraného představitele a obecně (náklady a přínosy)
- Analýza materiálů a současných postupů výroby svařovaných stojanů, návrh nových materiálů a postupů
- Konstrukce a výpočty stojanu pro navrženého představitele
- Stanovení kritických míst z hlediska napětí a únavového zatížení stojanu
- Návrh a zhotovení modelů pro únavové zkoušky kritických míst na stojanu z dosavadních ocelí a z ocelí se zvýšenou pevností
- Únavové zkoušky a analýza jejich výsledků
- Rozhodnutí o realizaci, výběr uživatele pro praktické ověření konstrukce, výpočty a technologické postupy pro výrobu prototypu stojanu pro praktické ověření
- Výroba a montáž lisu pro provozní ověření stojanu z ocelí se zvýšenou pevností, předání uživateli a uvedení do provozu
- Sledování kritických míst na stojanu po stanovený počet cyklů provozního zatížení a zhodnocení výsledků

Doporučení řešitelé

Hlavní řešitel: CVTS,KKS,-Výzkumná skupina pro tvářecí stroje ZČU Plzeň

Spoluředitelé: DIEFFENBACHER-CZ Brno, útvary konstrukce a výroba

Pracoviště pro problematiku materiálů a únavových testů – VŠ

Pracoviště pro problematiku svařování a svařovaných konstrukcí – VŠ

Pracoviště pro provozní ověření lisu.

Metody a způsoby vývoje strojů a zařízení

Vývoj nových strojů i retrofiting strojů použitých dnes probíhá převážně ve virtuálním prostředí. Možnosti virtuální simulace se neustále rozšiřují, jak po stránce softwareové, tak i hardwareové. Samotná virtuální simulace je pouze nástrojem, se kterým je nutno zacházet i s detailní znalostí funkce simulovaného stroje.

6.1 Virtuální modely nosných dílů tvářecích strojů se zaměřením na okrajové podmínky výpočtu

6.2 Virtuální modely pohyblivých dílů tvářecích strojů se zaměřením na okrajové podmínky výpočtu

6.1 Virtuální modely nosných dílů tvářecích strojů se zaměřením na okrajové podmínky výpočtu

Navrhovatel

Ing. Jan Hlaváč, Ph.D., CVTS,KKS, ZČU v Plzni

Popis konstrukčních problémů

Možnosti rychlé odezvy na požadavky z průmyslu z oblasti tuhostní nebo pevnostní optimalizace, jsou realizovatelné pouze s využitím zjednodušených výpočetních modelů, jsou tedy přímo závislé na kvalitě okrajových podmínek. Kvalitní okrajové podmínky umožňují zjednodušení výpočetního modelu, aniž by tím byla ohrožena vypovídací schopnost výsledku.

Na tvářecích strojích se realizují velice rozdílné technologie, které určují zatížení strojů. Proto jsou i na jednom stroji okrajové podmínky výpočtu silně závislé na konkrétní použité technologii. Jednoúčelové stroje jsou specifické zatížením nosné struktury dle dané technologie. Naopak víceúčelové stoje jsou schopné vykonávat několik rozdílných technologických operací. Pro každý jednoúčelový stroj existují jednoznačné okrajové podmínky výpočtu, ale pro každý stroj mohou být odlišné. Pro víceúčelový stroj naopak existuje skupina rozdílných okrajových podmínek.

Správné okrajové podmínky lze stanovit pouze za předpokladu znalosti funkce konkrétního stroje, znalosti technologie a znalosti výpočetního systému.

Stručný popis problematiky ve světě

Tvářecí stroje jsou specifické tím, že často pracují s vysokými silami. Tento fakt zásadně ovlivňuje i vytvářené virtuální simulace, které jsou obvykle zaměřené na statickou pevnost nebo tuhost nosné struktury. V poslední době se objevují požadavky výrobců strojů na simulaci dynamického chování strojů a jeho vlivu na únavovou pevnost použitých materiálů.

S rostoucím výpočetním výkonem používaných výpočetních systémů stoupá i složitost virtuálních modelů. Příčinou tvorby složitějších modelů je snaha o přiblížení se realitě, kde například stojan lisu není zatížen osamělými silami, ale je zatížen interakcí dalších dílů lisu, takový model můžeme nazývat komplexním. S tvorbou komplexních modelů se mění potřeba na tvorbu okrajových podmínek výpočtu, obvykle se jedná o zjednodušení. Důvodem vytváření realitě bližších výpočetních modelů je eliminace možné chyby při tvorbě okrajových podmínek.

Vlastní odborné zhodnocení přínosu tématu pro obor a průmysl v ČR

Složitější, realitě bližší, výpočetní modely jsou sice důvěryhodnější, ale bohužel jsou stále výpočetně příliš náročné. Naopak průmysl od virtuálních simulací očekává rychlé a bezchybné odpovědi. Těch je možné dosáhnout používáním stávajících zjednodušených modelů, u kterých dojde k optimalizaci okrajových podmínek.

Optimalizace okrajových podmínek lze dosáhnout využitím komplexním modelů se zpětným zaměřením se na rozdíly mezi výsledky komplexních a zjednodušených modelů. Z případně zjištěných rozdílů budou přiměřené změny aplikovány do okrajových podmínek.

Cíle a praktické výstupy pro obor/průmysl

- Zkvalitnění výstupů a zvýšení vypovídací schopnosti virtuální simulace
- Zkrácení časů potřebných pro realizaci virtuální simulace
- Vytváření modelů dynamických stavů strojů s výsledkem životnosti

Způsob dosažení cílů

Analýza v současnosti používaných zjednodušených modelů virtuální simulace nejčastěji používaných v oboru konstrukce tvářecích strojů.

Analýza v současnosti používaných komplexních modelů virtuální simulace nejčastěji používaných v oboru konstrukce tvářecích strojů.

Příprava komplexních i zjednodušených modelů pro konkrétní případy strojů a technologií.

Analýza výsledků provedených simulací. Hledání příčin rozdílných výsledků mezi zjednodušeným a komplexním modelem.

Případná úprava okrajových podmínek výpočtů tak, aby docházelo ke shodě ve výsledcích.

Příprava a ověření modelů dynamických stavů pro konkrétní stroje a na nich prováděné technologické operace.

Doporučený řešitel

CVTS,KKS,ZČU v Plzni (výzkumná skupina pro tvářecí stroje) Celkem 1 až 2 lidé z oblasti výzkumu.

6.2 Virtuální modely pohyblivých dílů tvářecích strojů se zaměřením na okrajové podmínky výpočtu

Navrhovatel

Ing. Jan Hlaváč, Ph.D. CVTS,KKS, ZČU v Plzni

Popis konstrukčních problémů

Možnosti rychlé odezvy na požadavky z průmyslu z oblasti tuhostní nebo pevnostní optimalizace, jsou realizovatelné pouze s využitím zjednodušených výpočetních modelů, jsou tedy přímo závislé na kvalitě okrajových podmínek. Kvalitní okrajové podmínky umožňují zjednodušení výpočetního modelu, aniž by tím byla ohrožena vypovídací schopnost výsledku.

Na tvářecích strojích se realizují velice rozdílné technologie, které určují zatížení strojů. Proto jsou i pro jeden stroj okrajové podmínky výpočtu silně závislé na konkrétní použité technologii. Jednoúčelové stroje jsou specifické zatížením pohyblivých dílů dle dané technologie. Naopak víceúčelové stoje jsou schopné vykonávat několik rozdílných technologických operací, tedy i měnící se zatížení pohyblivých dílů. Pro každý jednoúčelový stroj existují jednoznačné okrajové podmínky výpočtu, ale pro každý stroj jsou převážně odlišné. Pro víceúčelový stroj naopak existuje skupina rozdílných okrajových podmínek.

Správné okrajové podmínky lze stanovit pouze za předpokladu znalosti funkce konkrétního stroje, znalosti technologie a znalosti výpočetního systému.

Stručný popis problematiky ve světě

Tvářecí stroje jsou specifické tím, že často pracují s vysokými silami. Tento fakt zásadně ovlivňuje i vytvářené virtuální simulace, které jsou obvykle zaměřené na statickou pevnost nebo tuhost nosné struktury.

S rostoucím výpočetním výkonem používaných výpočetních systémů stoupá i složitost virtuálních modelů. Příčinou tvorby složitějších modelů je snaha o přiblížení se realitě, kde například beran lisu není zatížen osamělými silami, ale je zatížen interakcí dalších pohyblivých dílů lisu a stojanu, takový model můžeme nazývat komplexním. S tvorbou komplexních modelů se mění potřeba na tvorbu okrajových podmínek výpočtu, obvykle se jedná o zjednodušení. Důvodem vytváření realitě bližších výpočetních modelů je eliminace možné chyby při tvorbě okrajových podmínek.

Vlastní odborné zhodnocení přínosu tématu pro obor a průmysl v ČR

Složitější, realitě bližší, výpočetní modely jsou sice důvěryhodnější, ale bohužel jsou stále výpočetně příliš náročné. Naopak průmysl od virtuálních simulací očekává rychlé a bezchybné odpovědi. Těch je možné dosáhnout používáním stávajících zjednodušených modelů, u kterých dojde k optimalizaci okrajových podmínek.

Optimalizace okrajových podmínek lze dosáhnout využitím komplexním modelů se zpětným zaměřením se na rozdíly mezi výsledky komplexních a zjednodušených modelů. Z případně zjištěných rozdílů budou přiměřené změny aplikovány do okrajových podmínek.

Cíle a praktické výstupy pro obor/průmysl

- Zkvalitnění výstupů a zvýšení vypovídací schopnosti virtuální simulace

- Zkrácení časů potřebných pro realizaci virtuální simulace

Způsob dosažení cílů

Analýza v současnosti používaných zjednodušených modelů virtuální simulace nejčastěji používaných v oboru konstrukce tvářecích strojů.

Analýza v současnosti používaných komplexních modelů virtuální simulace nejčastěji používaných v oboru konstrukce tvářecích strojů.

Příprava komplexních i zjednodušených modelů pro konkrétní případy strojů a technologií.

Analýza výsledků provedených simulací. Hledání příčin rozdílných výsledků mezi zjednodušeným a komplexním modelem.

Případná úprava okrajových podmínek výpočtů tak, aby docházelo ke shodě ve výsledcích.

Doporučený řešitel

CVTS,KKS,ZČU v Plzni (výzkumná skupina pro tvářecí stroje) Celkem 1 až 2 lidé z oblasti výzkumu.

Technologie tváření

Úvodem

Oblast tematických okruhů z technologie tváření ve Strategii oboru v letech 2010 - 2020 byla navržena Prof. Maškem z pracoviště FORTECH na ZČU Plzeň.

Bohužel byla spolupráce na jejich rozpracování do IAP z jejich strany odmítnuta, a proto byli dodatečně oslovení erudovaní odborníci z oboru technologie tváření, aby se ujali tohoto úkolu zpracovat IAP z oblasti technologie tváření.

Tím se stalo, že byly upraveny i tematické okruhy uvedené ve Strategie oboru v letech 2010 - 2020.

Celkem bylo doporučeno k rozpracování perspektivních 22 témat. Z nich bylo pro IAP rozpracováno 11.

Redakce zaslaných podkladů byla provedena na CVTS, KKS, ZČU V Plzni.

Na práci se podíleli:

Doc. Ing. Jan Čermák, CSc., ČVUT Praha,

Doc. Ing. Karel Novotný, CSc., VUT Brno,

Dr. Ing. Zbyšek Nový, Comtes FHT a.s.

Jako spoluautorům je jim třeba vyslovit dík a uznání, že dokázali operativně a odborně fundovaně formulovat a rozpracovat ve spolupráci s dalšími odborníky, témata pro IAP v oboru Technologie tváření. Doc. Ing. Milan Čechura, CSc.

Seznam témat vzešlých ze strategie

Technologie tváření

Rozpracovaná témata:

1. **Výzkum a vývoj nových postupů pro simulace v plošném tváření**
2. **Výzkum a vývoj zvyšování přidané hodnoty zápustkových výkovků**
3. **Výzkum a vývoj metod přesného kování**
4. **Výzkum a vývoj metod hodnocení tvářitelnosti kovových materiálů v plošném tváření**
5. **Výzkum a vývoj dutinového kování polotovarů z neželezných kovů**
6. **Tváření za poloohřevu**
7. **Příčné klínové válcování**
8. **Výzkum a vývoj metod zvyšování životnosti tvářecích nástrojů**
9. **Výzkum a vývoj nových konstrukčních a materiálových koncepcí pro tvářecí nástroje**
10. **Výzkum a vývoj tváření těžkotvařitelných slitin titanu, niklu, hořčíku a wolframu**
11. **Řízené Termomechanické zpracování kovových materiálů**

Nerozpracovaná témata:

12. **Výzkum a vývoj hybridních technologií**
13. **Výzkum a vývoj procesů tváření za snížených teplot**
14. **Výzkum a vývoj použití keramiky ve tváření**
15. **Výzkum a vývoj kování z PM polotovarů**
16. **Výzkum a vývoj metod tváření kompozitních materiálů**
17. **Výzkum tvářitelnosti, odpružení a kvality při tváření součástek z pevných a ultra pevných ocelí**
18. **Výzkum a vývoj kování turbinových lopatek**
19. **Bezvýronkové kování**
20. **Vývoj a výzkum metod lisování nepevnými nástroji**
21. **Zvyšování životnosti tvářecích nástrojů pro tváření za studena i tepla**
22. **Výzkum a vývoj alternativních metod tváření při snížení energetických nároků**

1. Výzkum a vývoj nových postupů pro simulace v plošném tváření

Navrhovatel

Doc. Ing. Jan Čermák, CSc. Ing. František Tatíček, FS ČVUT v Praze, Ústav strojírenské technologie

Popis konkrétních problémů

Verifikace výsledků simulací v konfrontaci s reálnými lisovacími procesy, s ohledem na výrobu tvarově složitějších součástí.

Vytváření databází matematického chování materiálů nejběžněji používaných v lisovnách s ohledem na rozptyl mechanických hodnot příslušné jakosti materiálu.

Virtuální sledování tvářitelnosti zpracovávaných materiálů při reálných lisovacích podmínkách.

Stručný popis problematiky ve světě

Problematika virtuálního pohledu na procesy plošného tváření je v současné době řešena na všech odborných úrovních. Simulační software je z technologického hlediska považován za podpůrný subjekt při návrhu technologických procesů. Experimentální výzkum, jenž je z hlediska využití simulačních softwarů rozsáhlý, se zabývá konkrétními případy a problémy (verifikace numerických simulací, vliv okrajových podmínek na lisovací proces apod.). Komplexní hodnocení použitelnosti softwarů pro dané oblasti však nikdo nepostihl a je to problematika, která skýtá řadu otázek.

V současné době je simulační software používán jak pro návrh nového lisovacího postupu, tak i pro jeho optimalizaci. Základním předpokladem úspěšného (reálného) výsledku je však nastavení okrajových podmínek, které odpovídají daným technologickým podmínkám

Vzhledem k vývoji nových materiálů, maziv a podmínek nanášení, povlakování nástrojů, podmínek tváření (vliv teploty, rychlosti deformace, tření, tlaku) je doplňování a rozšiřování databáze okrajových podmínek i materiálových modelů tvářených plechů neuspokojivé.

Vlastní odborné zhodnocení přínosu tématu pro obor a průmysl v ČR

V reálných podmínkách českého průmyslu lze v případě vhodného použití simulačního softwaru výrazným způsobem zkrátit přípravný čas na zavedení sériové výroby produktů plošného tváření. Rovněž je možné definovat vliv okrajových podmínek na lisovací proces a míru jejich vlivu při změně lisovacích podmínek (vliv teploty na změnu viskozity tažných olejů během lisování). Je tedy bezpodmínečně nutné pochopit aplikační možnosti daných softwarů pro zcela specifická použití.

Cíle a praktické výstupy pro obor/průmysl v ČR

Metodika vkládání okrajových podmínek pro simulací plošného tváření

Simulace bude poskytovat korektní informace pouze v případě, že okrajové podmínky technologického a materiálového charakteru budou zadávány předně definovaným způsobem. Z tohoto důvodu je nutné specifikovat, jak které podmínky zadávat, a experimentálními metodami ověřovat jejich hodnoty.

Zohlednění vlivu rychlosti deformace v podmínkách tváření za studena

Dosud nebyl uvažován vliv rychlosti deformace na tváření za pokojových teplot. Současné výzkumy ukázaly, že rychlost deformace ovlivňuje chování plechu, což je nutné zohlednit při zadávání okrajových podmínek. Jednou z možností je použití materiálový model Corrus Vegter, který je však v praxi, vzhledem k svému matematickému popisu, málo využíván.

Naplňování databází okrajových podmínek ovlivňující lisovací proces

Simulační software obsahují omezený objem dat okrajových podmínek nutných pro řešení vlastní úlohy. Je nutné rozšiřovat databáze okrajových podmínek, což přispěje ke zpřesnění výsledků při používání numerických simulací v procesech lisování.

Verifikace aplikačních podmínek pro složitější úlohy.

Verifikace údajů ze simulací se dosud modeluje pouze na jednoduchých příkladech (tažení čtyřhranné nádoby, nádoby s kruhovým dnem apod.) Výtažky produkované v dnešní době jsou v drtivé většině složitých tvarů, hlubokých tahů a ostrých tažných rádiusů. Pro tyto složitější výlisky není verifikace prováděna, a tudíž není definována zpětná vazba simulace na reálný lisovací proces. Díky optickým deformačním systémům a systémům pracujících na principech optické triangulace a fotogrammetrie, lze provádět verifikace i na těchto tvarově složitějších výliscích.

Způsob dosažení cílů

Studium matematické podstaty MKP modelů používaných pro simulace plošného tváření.

Zkoumání vlivu okrajových podmínek na lisovací proces při tažení tvarově složitého výlisku (vliv tribologických podmínek, vliv tlaku přidržovače, tloušťky a jakosti materiálu, vlivu ustavení nástřihu v nástroji, apod.), a to jak virtuální simulací, tak i reálným ověřením těchto podmínek na skutečných nástrojích.

Zkoumání vlivu rychlosti deformace na tvářitelnost v podmínkách plošného tváření za studena. Experimentálně definovat vliv rychlosti na materiálové parametry a na ukazatele tvářitelnosti. Intenzivně studovat materiálový model Corrus Vegter a definovat databázi materiálů běžně používaných v procesech lisování s ohledem na rychlost deformace.

Předpokládaná doba vývoje 2 až 3 roky, podle počtu nasazených pracovníků. Nezbytnou podmínkou řešení v současné době je zajištění licence softwaru PamStamp 2G a pořízení experimentálního zařízení včetně lisovaného materiálu.

Doporučený řešitel

FS ČVUT v Praze, Ústav strojírenské technologie, MecasESI s.r.o., lisovna ŠkodaAuto, a.s.

2. Výzkum a vývoj zvyšování přidané hodnoty zápustkových výkovků

Navrhovatel

Doc. Ing. Jan Čermák, CSc. FS ČVUT v Praze, Ústav strojírenské technologie,

Popis konkrétních problémů

Zápustkové výkovky jsou polotovary, které se liší od hotových součástí o technologické přídavky a přídavky na obrábění, které je nutné následné odebrat. Konečný tvar dané součásti je z hlediska požadované rozměrové a tvarové přesnosti i kvality povrchu dosažen obráběním. Čím menší budou přídavky, tím menší bude spotřeba materiálu, nižší výrobní náklady a tím vyšší bude přidaná hodnota výkovku.

Z hlediska zvyšování konkurenceschopnosti a snižování nákladů na výkovky je snaha vytvořit kováním takový tvar výkovku, aby následoval minimální podíl obráběcích operací. Snížením podílu obrábění se rovněž zkrátí doba výroby.

Stručný popis problematiky ve světě

Rozvoj technologií zápustkového kování je spojen zejména s automobilovým průmyslem, neboť auto je cca z 60% vyrobeno z tvářených součástí. Vzhledem k silné konkurenci v automobilovém průmyslu z hlediska nákladů, včasné dodávky na trh a kvality, jsou tyto tlaky přenášeny i na subdodávky do automobilového průmyslu.

Rostoucí počet druhů materiálů spolu s přísnějšími požadavky na přesnost urychlují poptávku na vývoj nových tvářecích procesů a na stávající technologie tváření jsou kladeny neustále vyšší požadavky. Tvářecí technologie se stávají komplexnější a rozmanitější a jejich komplexnost je možné zvládnout jen optimalizací celého výrobního procesu.

V předních světových automobilkách a kovárnách (Toyota, Chrysler, Neumayer Tekfor, CDP Bharat Forge, atd.) probíhá výzkum a vývoj technologií, které umožňují zvyšovat přidanou hodnotu výkovků cestou snižování jeho hmotnosti, zvýšené kvality a přesnosti technologie - viz. sborníky ze světových kovárenských kongresů (IFC) v roce 2005 v Nagoya v Japonsku a v roce 2008 v Chicagu, USA.

Z publikovaných výsledků vyplývá, že kování výkovků s vysokou přidanou hodnotou je podmíněno celým technologickým postupem od přípravy polotovaru, přes návrh a výrobu přesných nástrojů, dodržování stability procesu, až po následné tepelné zpracování z dokovací teploty.

Vlastní odborné zhodnocení přínosu tématu pro obor a průmysl v ČR

Vyšší přidané hodnoty výkovků se dosáhne zlepšením užitných vlastnosti zápustkových výkovků, jako je zvýšení rozměrové a tvarové přesnosti a zvýšené jakosti tvářeného povrchu. To umožní převážnou eliminací následných obráběcích operací.

Výsledky vývoje a zavedení technologie zápustkového kování s vysokou přidanou hodnotou v automobilovém průmyslu je možné aplikovat i na další oblasti našeho strojírenského průmyslu, a to všude tam, kde se zápustkové výkovky používají.

Cíle a praktické výstupy pro obor/průmysl v ČR

Zvýšení podílu tvářených ploch na výkovku, které se nebudou opracovávat, je možné docílit metodami přesného kování, kdy lze docílit drsnosti plochy srovnatelné s obráběním nahrubo, při dosažení požadovaných rozměrových tolerancí.

To je možné dosáhnout speciální konstrukcí zápustek, která umožní vytvářet požadované sdružené tvary (podkosy, ozubení apod.) u výkovků, které by se jinak kovaly klasickou technologií s následným vysokým podílem obrábění. Významné je to zejména u výroby ozubených kol, kdy tvářená ozubená kola je možné vyrobit s menší stavební výškou a nižší hmotností.

Není to však pouze konstrukce zápustek, ale i zajištění jejich vysoké životnosti. Jedná se o komplexní proces, kdy je nutné současně zajistit a dodržovat stabilitu výrobního procesu, zvážit nutnost snižování tvářecí teploty, vyřešit kombinaci metod tváření za tepla a za studena, zajistit tepelné zpracování z dokovací teploty, zajistit monitorování všech důležitých provozních dat, atd.

Způsob dosažení cílů

- Marketingový průzkum trhu
- Výběr představitele z hlediska materiálu, tvaru a sériovosti výroby
- Návrh kompletního technologického postupu s ohledem na požadovaný materiál výrobku, danou tvarovou složitost a požadovanou přesnost výroby.
- Vytvoření modelu výkovku a jednotlivých nástrojů, modelování technologických podmínek výroby
- Ověření dílčích výsledků numerické simulace pomocí dílčích provozních zkoušek a vyhodnocení rozdílů mezi numerickou simulací a provozních výsledků
- Opakovaná numerická simulace s korigovanými vstupními daty a provedení funkčních zkoušek
- Návrh definitivních technologických uzlů, které vytvářejí celkovou technologii výroby

Předpokládaná doba vývoje 2 až 3 roky, podle počtu nasazených pracovníků. Nezbytnou podmínkou je zajištění kvalitní numerické simulace, a to jak v oblasti kvalitního softwaru (DEFORM, FORGE, Simufact.forming) s možností simulace ve 3D, tak i odpovídajícího hardwaru (vícejádrový procesor) a zajištění kvalitních a přesných vstupních dat

Doporučený řešitel

Škoda Auto, a.s. – kovárna; pracovníci Technických universit (FS ČVUT v Praze, ZČU Plzeň, VUT Brno)

3. Výzkum a vývoj metod přesného kování

Navrhovatel

Doc. Ing. Jan Čermák, CSc. FS ČVUT v Praze, Ústav strojírenské technologie, Ing. Čestmír Vančura, Kovárna VIVA a.s. Zlín

Popis konkrétních problémů

Zápustkové kování je technologie, která se používá pro sériovou až hromadnou výrobu polotovarů součástí, často velmi složitého tvaru, kde se předpokládá vysoké namáhání. Zápustkové výkovky se však od hotových součástí liší o technologické přídavky a přídavky na obrábění, které je nutné následné odebrat. Konečný tvar dané součásti je následně dosažen obráběním.

Vzhledem ke globalizaci na trhu zápustkových výkovků roste tlak na snižování jejich cen a současně na zvyšování jakosti a přesnosti. Udržení konkurenceschopnosti znamená zvyšovat produktivitu a snižovat vlastní náklady. Rostoucí počet materiálů spolu s přísnějšími požadavky na přesnost pak urychlují poptávku na vývoj nových tvářecích procesů a na stávající technologie tváření jsou kladeny neustále vyšší požadavky.

Těchto požadavků je možné dosáhnout vývojem metod přesného kování, které zajistí snižování přídavků na obrábění, dosažení kvalitnějšího povrchu, docílení vyšší rozměrové přesnosti výkovků, snížení hmotnosti a zkrácení výrobního cyklu.

Mezi metody přesného kování patří kování s vyloučením vnějšího výronku, kování za středních teplot, kování výkovků s vnitřní dutinou, sdružené kování více výkovků. Zkrácení výrobního cyklu lze dosáhnout sdružením tvářecích operací (např. kování a ostřihování). Zvýšení přesnosti a kvality povrchu dosáhneme kombinací s metodami tváření za studena (kalibrací, protahováním, …). Snížení nákladů pak dosáhneme snížením počtu obráběcích operací, ale také zařazením tepelného zpracování z dokovací teploty.

Přesnost kování je tedy nutné definovat v termínech shodnosti tohoto procesu s požadavky na hotovou součást, které se týkají jejího celkového tvaru, tolerance rozměrů a kvality povrchu. Tuto komplexnost vzhledem ke tvarové a materiálové rozmanitosti výkovků, je možné zvládnout jen optimalizací celého výrobního procesu.

Stručný popis problematiky ve světě

Rozvoj technologií zápustkového kování je spojen zejména s automobilovým průmysl, neboť auto je cca z 60% vyrobeno z tvářených součástí. Vzhledem k silné konkurenci v automobilovém průmyslu z hlediska nákladů, včasné dodávky na trh a kvality, jsou tyto tlaky přenášeny i na subdodávky do automobilového průmyslu.

Automobilky se snaží snižovat svoje vlastní náklady, a proto požadují od kováren již hotové montážní celky a nízké ceny výkovků, a to výměnou za dlouhodobé kontrakty. Tento trvalý silný tlak ze strany odběratele na snižování cen, společně s rostoucími požadavky na zvýšenou přesnost a kvalitu výrobků vede ke specializaci kováren. Existují výrobkově orientované kovárny a technologicky (procesně) orientované kovárny.

Je zde nutná úzká spolupráce nejen odběratele, ale i výzkumných ústavů, technických univerzit, či specializovaných pracovišť s kovárnami na optimalizaci resp. definici tvaru výkovku (výrobku) s aspektem na funkčnost výrobku, minimalizaci výrobních nákladů a zajištění stabilního výrobního

procesu. Samostatnou kapitolou je možnost numerické simulace, která je považována za nejvhodnější nástroj pro zkrácení doby vývoje nového výkovku a pro zajištění efektivní optimalizace stávajícího postupu.

Vlastní odborné zhodnocení přínosu tématu pro obor a průmysl v ČR

Obecně se jedná o metody přímo spojené se snižováním nákladů a zkracováním výrobního cyklu. Získané vědomosti umožní aplikovat nové výrobní programy, pro které doposud nejsou v kovárnách vytvořeny potřebné inženýrské podmínky.

Zavedení metod přesného kování umožní zvýšit konkurenční schopnost našich zápustkových kováren.

Cíle a praktické výstupy pro obor/průmysl v ČR

Zavedením metod přesného kování lze dosáhnout zvýšené kvality výkovků při snížených výrobních nákladech. Výsledky výzkumu a vývoje jednotlivých metod přesného kování je možné transferovat i do dalších kováren v České Republice. Přitom je však nutné si uvědomit, že se vždy jedná o komplexní proces, kdy výroba daného typu zápustkového výkovku je spojena s celým výrobním procesem od zajištění vhodného polotovaru, jeho ohřevu, konstrukce a provozu zápustek pro jednotlivé operace tváření až po všechny dokončovací operace včetně tepelného zpracování.

Způsob dosažení cílů

- Průzkum potřeby přesných výkovků jak v České republice, tak i u zahraničních odběratelů a jejich klasifikace podle kovaného materiálu, tvarové složitosti a velikosti s ohledem na požadovanou přesnost výroby a sériovost.
- Stanovení představitelů pro jednotlivé kategorie zápustkových výkovků s ohledem na možnosti použité technologii výroby
- Stanovení návrhu technologie pro vybraného představitele s ohledem na finální produkt
- Modelování výrobních podmínek s ohledem na použité strojní zařízení a vybavení
- Realizace pracoviště a ověření technologie
- Návrh možnosti rozšíření ověřené technologie i na další představitele

Předpokládaná doba vývoje 1 až 2 roky, podle počtu nasazených pracovníků. Nezbytnou podmínkou je zajištění kvalitní numerické simulace ve 3D spolu s odpovídajícím hardwarem (operační paměť, vícejádrový procesor) a zajištění kvalitních a přesných vstupních dat jak z materiálové, tak i technologické oblasti (např. definice tření).

Doporučený řešitel

Kovárna VIVA a.s.; pracovníci Technických universit (Strojní fakulta ČVUT v Praze, ZČU Plzeň)

4. Výzkum a vývoj metod hodnocení tvářitelnosti kovových materiálů v plošném tváření

Navrhovatel

Doc. Ing. Jan Čermák, CSc. Ing. František Tatíček, FS ČVUT v Praze, Ústav strojírenské technologie

Popis konkrétních problémů

Univerzální metodika pro hodnocení plastických vlastností technických materiálů nebyla doposud jasně definována. Existuje řada zkušebních metod, které odpovídají danému procesu tváření. Aplikovatelnost jejich výsledků při změně stavu napjatosti, či teplotně deformačních podmínek, zejména v objemové tváření, je omezená. Jedná se zde o vliv prostorového stavu napjatosti pro materiálový model elastický-elasticko-plastický, nikoli jen tuhoplastický.

V případě hodnocení tvářitelnosti v plošném tváření je situace rovněž komplikovaná. Doposud nejužívanější zkouškou je zkouška tahem. V tomto případě je vzorek vystaven jednoosému stavu napjatosti při nízké rychlost deformace. Nepříjemnou skutečností je však fakt, že materiál při zkoušce tahem se jeví plastičtější, než je v reálném lisovacím procesu. Objektivní hodnocení lisovaných materiálů proto závisí na odzkoušení v lisovacím nástroji.

Další zkoušky hodnocení tvářitelnosti jsou technologické zkoušky např. zkouška podle Erichsena, Engelhardtova – Grossova, různé kalíškovací zkoušky a řada dalších, které doplňují zkoušku tahem. Výsledkem těchto zkoušek není jednoznačně kvantifikovatelná tvářitelnost. Univerzální metodika (zkouška) pro hodnocení tvářitelnosti v různých napěťově-deformačních podmínkách, která by zodpověděla, je-li daný materiál pro dané podmínky lisování vhodný či nevhodný, neexistuje.

Stručný popis problematiky ve světě

Existuje řada kritérií tvářitelnosti (např. kritérium podle Hilla, McClintocka, Cocroft-Lathamaovo, Hoffmannovo atd.) nebo modelů poškození, které se využívají při numerické simulaci, které jsou zejména na bázi FLD (nověji FLSD) křivek (křivek mezních deformací) jejich přiřazení ke konkrétním problémům v procesech plošného tváření je nutné experimentálně porovnat a vyhodnotit.

Jedná se o snižování tloušťky lisovaného materiálu, používání plechů o vyšší a vysoké pevnosti, používání nových perspektivních materiálů na bázi neželezných kovů, zvyšování taktu výrobní linky a tím zvyšování lisovací rychlosti při lisovacím procesu. Tyto skutečnosti mají obecně vliv na snižování tvářitelnosti materiálu. Problematikou se zabývá řada výzkumných institucí, přesto zatím nedošlo ke klasifikaci materiálů z hlediska tvářitelnosti.

Vlastní odborné zhodnocení přínosu tématu pro obor a průmysl v ČR

Schopnost jasně kategorizovat daný materiál (i přes rozptyl mechanických hodnot, které normy schvalují) by pomohla k výraznějšímu zefektivnění výrobního procesu a volbě vhodného materiálu pro lisovací proces v podmínkách plošného tváření.

Vytvoření odborné databáze těchto materiálů a stanovení doplňujících parametrů pro hodnocení tvářitelnosti. Jak již bylo uvedeno, je nutné specifikovat materiály nejen podle jakosti

materiálu na základě chemického složení a mechanických hodnot, ale také z hlediska podmínek lisovacího procesu. Je nutné provést kategorizaci těchto vlivů, kdy se jedná o **tvářený materiál** (mikrostrukturu, velikost a rozložení vměstků, tvar a velikosti zrn, citlivost na deformační rychlost, jakost povrchu plechu), **stav nástroje** (materiál, úprava povrchu, teplota) nastavení **technologických podmínek** (teplota lisovacího procesu, tlak přidržovače, počet a rozmístění brzdících lišt, mazání) ale rovněž **další vlivy** jako je vliv ustavení nástřihu v nástroji.

Cíle a praktické výstupy pro obor/průmysl v ČR

Příprava metodiky pro hodnocení tvářitelnosti materiálů užívaných v procesech plošného tváření. Jak již bylo uvedeno, současné hodnocení materiálů se v průmyslových podnicích provádí převážně pouze na základě výsledků z tahové zkoušky. Většinou je ale nutné materiál odzkoušet za reálných lisovacích podmínek. Nově navržená metodika hodnocení tvářitelnosti, která zohlední i ostatní parametry, výrazně pomůže optimalizovat výrobní proces již ve fázi vývoje.

Vytvoření databáze tvářitelnosti v závislosti na podmínkách lisovacího procesu.

Databáze materiálů používaných v lisovnách je s ohledem na stále rostoucí požadavky na materiál nedostačující. Proto je nutné tuto databázi rozšířit i o data, která budou zahrnovat vlivy dalších parametrů, které dosud nebyly zahrnuty. (např. citlivost materiálu na rychlost deformace). Dalším znakem databáze bude klasifikace materiálů podle jednotlivých tvářecích procesů plošného tváření (tažení, stříhání, ohýbání, apod.) a výrazně by zkrátila vývojový proces návrhu výrobního procesu.

Způsob dosažení cílů

1. Teoretické studium problematiky, s ohledem na faktory, které tvářitelnost ovlivňují.
2. Ideový a konstrukční návrh experimentálního zařízení, sloužícího k posuzování materiálů dle jejich tvářitelnosti.
3. Provedení experimentálních zkoušek pro vybrané materiálové jakosti s ohledem na jednotlivé parametry a stanovení kritérií tvářitelnosti Porovnání s výsledky numerické simulace
4. Návrh metodiky klasifikace tvářitelnosti plechů

Předpokládaná doba vývoje 2 až 3 roky, podle počtu nasazených pracovníků. Nezbytnou podmínkou řešení je zajištění licence softwaru PamStamp 2G a pořízení experimentálního zařízení včetně lisovaného materiálu.

Doporučený řešitel

FS ČVUT v Praze, Ústav strojírenské technologie, MecasESI s.r.o., lisovna ŠkodaAuto, a.s.

5. Výzkum a vývoj dutinového kování polotovarů z neželezných kovů

Navrhovatel

Doc. Ing. Jan Čermák, CSc. FS ČVUT v Praze, Ústav strojírenské technologie, Ing. Miloš Kupka, J. JINDRA spol. s.r.o.

Popis konkrétních problémů

Dutinové kování je speciální technologií zápustkového kování, která umožňuje kování tvarově složitých výkovků s dutinami, které jsou umístěny v dělicí rovině zápustek. Vytváření dutin se děje pomocí trnů, které se pohybují kolmo ke směru pohybu beranu. K tomuto účelu se obvykle používají speciální mechanické přípravky, které se upínají na lisy. Ovládání pohybu trnů je mechanicky. Význam technologie dutinového kování je především v podstatně vyšším využití materiálu, než pokud by se dutiny následně obráběly.

Vzhledem k vysokému zatížení nástrojů nachází tato technologie hlavní uplatnění při kování armatur z mosazi (CuZn37; CuZn40Pb2), které se hromadně používají pro rozvod vody i plynu. Selhání či porušení výkovků může mít katastrofické následky. Z těchto důvodu je nutné při výrobě těchto výrobků dodržet vhodný průběh vláken. Dalším důvodem proč použít dutinové kování je vysoká cena slitin mědi, která je 3 až 4x vyšší než u ocelí.

Stručný popis problematiky ve světě

Hlavní problémy jsou ve spojení se zaváděním nových materiálů a současnou snahou snižování výrobních nákladů cestou nižší hmotnosti polotovarů a vyšší životnosti nástrojů. Jedná se zde nejen o jejich materiál, ale zejména o tepelné zpracování a povrchovou úpravu s ohledem na vlastní technologický postup (druh, kvalita a stálost ohřevu, stabilita tvářecího procesu, druh maziva a způsob nanášení, atd.).

Novinkou je možnost snižování hmotnosti polotovaru zavedením bezvýronkového kování. Vtip je v tom, že jednotlivé trny jsou samostatně hydraulicky ovládány. To umožňuje možnost jejich individuálního seřizování. Přebytek materiálu se shromáždí do vnitřní blány, která se děruje. Na druhé straně to přináší vyšší nároky na využívání numerické simulace a na vývoj v oblasti konstrukce nástrojů a zvyšování jejich životnosti.

Vlastní odborné zhodnocení přínosu tématu pro obor a průmysl v ČR

Vývojem a zavedením technologie bezvýronkového kování se kromě snížení hmotnosti polotovaru, snížení podíl následných výrobních operací a to především obrábění. To znamená nejen vyšší přidanou hodnotu, ale rovněž zkrácení termínů dodávek.

V návaznosti na ostatní strojírenský průmysl v České republice je to i výzva pro výrobce tvářecích strojů a přípravků, včetně výrobců ohřívaček s konkrétními požadavky na parametry těchto zařízení.

Cíle a praktické výstupy pro obor/průmysl v ČR

Zavedením technologie bezvýronkového kování v oblasti armatur a výkovků s otvory kolmo ke směru kování je možné zejména získat

1/ složitý tvar s minimálními nároky na dokončení

2/ snížit spotřebu drahého materiálu s úsporou energie na jeho ohřev, ale i na výrobu

3/ snížit výrobní náklady na další zpracování

5/ zvýšit sortiment tvářených materiálů

Způsob dosažení cílů

- Seznámení s problematikou stanovení cílů
- Výběr vhodných dílů a materiálů pro zkoušky
- Výběr strojního zařízení. Konstrukce a výroba nástrojů
- Praktické zkoušky úpravy nástrojů a výrobků dle získaných poznatků, vyhodnocení
- Zavedení sériové produkce a následné celkové vyhodnocení s ekonomickými přínosy

Časový fond je odhadem min. 3 až 4 roky s ohledem na počet pracovníků a spoluřešitelů. Finanční náročnost je v řádu milionů korun, a to zejména s ohledem na výzkum procesu a vývoj strojního a nástrojového zařízení. Nezbytnou podmínkou je zajištění kvalitní numerické simulace, a to jak v oblasti kvalitního softwaru (DEFORM, FORGE, Simufact.forming) s možností simulace ve 3D, tak i odpovídajícího hardwaru (vícejádrový procesor) a zajištění kvalitních a přesných vstupních dat

Doporučený řešitel

J. Jindra spol. s.r.o. Česká Třebová; pracovníci Technických universit (FS ČVUT v Praze, FS VUT Brno)

6. Tváření za poloohřevu

Navrhovatel

Doc. Ing. Karel Novotný, CSc., Ing. Miloslav Kopřiva

Popis konkrétních problémů

Současná moderní strojírenská technologie vyžaduje, aby polotovary, např. výkovky, byly vyrobeny co nejpřesněji, tj. s minimálními přídavky a úzkými tolerancemi.

Klasické zápustkové kování při teplotách v oblasti austenitu nedává uspokojivé výsledky ani při použití metod přesného kování.

Vysoká teplota ohřevu nepříznivě ovlivňuje povrchové vrstvy výkovku z hlediska oxidace (vznik okují, oduhličení) a jeho rozměry v důsledku smrštění, navíc ohřev na kovací teplotu vyžaduje vynaložení drahé energie.

Při tváření za studena je zaručená lepší kvalita povrchu součástí a přesnější rozměrové tolerance, je však třeba podstatně větších přetvárných sil a dosahuje se menších deformací. Vzhledem ke zpevňování tvářeného materiálu vzniká i rychlé opotřebení tvářecích nástrojů.

Tváření za poloohřevu je kompromis mezi tvářením za studena a za tepla.

Stručný popis stavu problematiky ve světě

V současné době se v průmyslově vyspělých zemích tváření za poloohřevu stále více rozvíjí. U ocelí probíhá při teplotách 600° až 850°C. Při využití vysokého stupně tvářitelnosti materiálu se dosahují přesnosti srovnatelné s tvářením za studena. Vhodná teplota pro tváření za poloohřevu je v oblasti 750° - 800° C. Při ohřevu polotovaru musí být dodržena výška teploty a co nejkratší doba ohřevu.

Při splnění určitých podmínek lze tvářením za poloohřevu tvářet většinu konstrukčních ocelí. Jde o volbu vhodného tvářecího postupu s výhodným tlakovým stavem napjatosti, volbu vhodné oceli s jemnozrnnou strukturou, vysokým stupněm čistoty a vhodným tepelným zpracováním.

Sortiment výlisků je poněkud menší, protože se pracuje převážně s uzavřenými zápustkami bez výronkové drážky. Tato technologie se používá především pro rotačně symetrické díly.

Hlavní oblastí aplikace tváření za poloohřevu je proto (při použití mechanických lisů) sortiment výrobků v hmotnostech od 0,5 do 5 kg. Menší díly než 0,5 kg se tváří polohřevem jen tehdy, když je tváření za studena nemožné pro vysoký podíl uhlíku nebo legur v materiálu. Díly těžší než 5 kg je vhodnější tvářet na hydraulických lisech (i když v důsledku delší doby dotyku nástroje s výliskem dochází ke snížení životnosti nástrojů), protože mechanické lisy vhodné konstrukce jsou k dispozici omezeně. Podíl výlisků nad 5 kg je však v tváření za poloohřevu minimální.

Tuto technologii propagují velké firmy – výrobci tvářecích strojů a zařízení, např. německá firma SCHULER.

Vlastní odborné zhodnocení přínosu tématu pro obor a průmysl v ČR

Technologie tváření za poloohřevu je známá ve světě již řadu let. V naší republice zatím není rozšířena a to z důvodu relativně malých kovaných sérií, ceny nástrojů aj. Největší výhodou je zde úspora energie pro ohřev, kvalita vykovaných součástí jak z hlediska kvality povrchu i z hlediska tolerancí součástí, což se přibližuje tváření za studena. Cena nástrojů vychází až 4x vyšší proti zápustkám pro kování za tepla. Po vykování není už třeba zařazovat třískové obrábění. Při dostatečně velkých sériích a vhodně vybraném sortimentu výkovků dochází k finančním úsporám na energii pro ohřev a zvýší se i kvalita součástí.

Cíle a praktické výstupy pro obor/ průmysl

- Provedení analýzy vyráběného sortimentu výkovků – posuzování jednotlivých výkovků z hlediska jejich tvaru, složitosti tvaru a mechanických vlastností
- Provedení selekce vhodných výkovků pro kování za poloohřevu – výběr relativně jednodušších tvarů tak, aby byly vhodné pro kování v uzavřených zápustkách
- Vývoj a výzkum tvářecích nástrojů pro tuto technologii - návrh speciální konstrukce nástrojů tak, aby bylo možno zajistit chlazení a mazání nástrojů
- Výzkum a vývoj materiálů vhodných pro kování touto technologií – hledat materiály na základě jejich mechanických vlastností, příp. chemického složení
- Vývoj a výzkum kovacích strojů vhodných pro tuto technologii

Způsob dosažení cílů

- Detailní studium vlastností materiálů vhodných pro technologii kování za poloohřevu
- Výkovky posuzovat z metalografického hlediska a to jak mikrostrukturu, tak i makrostrukturu
- Dodržovat technologickou kázeň, tj. pečlivě sledovat teplotu kovaných polotovarů, funkci nástrojů z hlediska chlazení a mazání
- Určení min. 1 – 2 pracovníků v každém podniku pro vývoj a konstrukci tvářecích nástrojů a to ve spolupráci s výrobci tvářecích strojů

Doporučený řešitel

- ŠMERAL Brno, a.s.
- ŽĎAS, a.s.
- Velké kovárny v republice

7. Příčné klínové válcování

Navrhovatel

Doc. Ing. Karel Novotný, CSc., Ing. Miloslav Kopřiva

Popis konkrétních problémů

- Optimalizace procesu příčného klínového válcování (PKV) na základě využití dosavadních znalostí o této technologii. Cílem je zvýšení kvality vyráběných polotovarů a zvýšení produktivity.
- Výzkum a vývoj nástrojů pro PKV, jejich tvaru a geometrie
- Teoretický rozbor procesu válcování, ověření možností počítačové simulace

Stručný popis problematiky ve světě:

Pro přípravu tvarových polotovarů pro kování na svislých kovacích lisech, které jsou ve tvaru ideálního předkovku, se stále více používá technologie příčného klínového válcování.

Tato technologie nahrazuje způsoby přípravy ideálního předkovku jako např. volným kováním na bucharech (použití jen pro kusovou nebo malosériovou výrobu), použití kovacích válců jednooperačních od firmy ŽĎAS nebo až čtyřoperačních, například od firmy EUMUCO. Tyto technologie jsou nahrazovány technologií příčného klínového válcování a to jak pro výrobu předvalků pro následující zápustkové kování nebo pro výrobu polotovarů rotačních součástí, které se dokončují třískovým opracováním (např. hřídele převodovek automobilů).

Válcovací proces PKV probíhá tak, že působením rotujících nástrojů se ohřátý materiál uvede do rotace kolem své podélné osy, přičemž se v místech vzájemného styku nástrojů s materiálem redukuje průměr výchozího materiálu. V závěru válcovací operace se uplatňují kalibrovací části nástrojů, které mají negativní tvar vývalku.

Hlavní charakteristické znaky technologie PKV jsou vyjádřeny tím, že:

- Válcovací nástroje mají při styku s materiálem protisměrný pohyb a vnikají do materiálu kolmo k jeho podélné ose, uvedou materiál do rotace při současném axiálním přesunování jeho objemu
- Materiál musí rotovat kolem své podélné osy během celého válcovacího procesu včetně odřezávaného odpadu
- Redukované průřezy vývalku mají vždy kruhový průřez

Tato technologie je stále více používána především ve velkých kovárnách průmyslových podniků, například automobilek. Zvláště v posledních letech došlo k jejímu velkému rozmachu.

Vlastní odborné zhodnocení přínosu tématu pro obor a průmysl v ČR

PKV je moderní technologie, která vzhledem ke stále se rozvíjejícímu průmyslu má řadu výhod pro výrobu polotovarů pro zápustkové kování. Je výhodná pro zařazení do automatizovaných kovacích linek, proto je používána v řadě našich kováren.

Příčné klínové válcování je však technologie, která ještě vyžaduje další pečlivé zkoumání. Během tvářecího procesu působí příliš mnoho parametrů, které ovlivňují tvar a kvalitu válcovaného polotovaru. Vznikají i náhodné jevy, které lze jen velmi těžko předvídat. V praxi je tato technologie prováděna a i tvářecí nástroje jsou konstruovány zatím jen převážně na základě praktických zkušeností a konstruktérského citu. To je však spojeno s celou řadou zkoušek a úprav nástrojů, což je ekonomicky i časově náročné. Z toho důvodu je snaha nasimulovat celý proces válcování, aby bylo možno predikovat případné vady výválků a tím předejít nutným úpravám tvářecích nástrojů – tvářecích segmentů.

Vzhledem ke složitosti dané problematiky ale není zatím možno pomocí dostupných softwarů plně tento proces nasimulovat. Je však možno při simulaci zohlednit již známé technologicko - konstrukční parametry a z těch vycházet pro stanovení vstupních simulačních parametrů. V dalším řešení bude snaha o co největší přiblížení počítačových simulací reálným podmínkám a následné srovnání dosažených výsledků s praktickým řešením a to ve spolupráci s výrobním podnikem válcovacích strojů.

Cíle a praktické výstupy pro obor/ průmysl

- Provedení teoretické analýzy procesu včetně stanovení základních technologických parametrů (výpočet rozměru polotovaru, určení teploty procesu, přítlačné síly, geometrie nástrojů)
- Najít vhodný software pro počítačovou simulaci celého procesu válcování
- Praktické ověřování určených technologických parametrů na válcovačkách pro příčné klínové válcování, srovnávání praktických výsledků s výstupy ze simulací

Způsob dosažení cílů

- Detailní studium technologického postupu válcování na základě dosavadních zkušeností z praxe
- Porovnání simulačních výstupů s praktickými výsledky a provedení případných korekcí na nástrojích
- Vývoj nových strojů
- Na vývoji celé technologie by se měli podílet nejméně 3 pracovníci, předpokládaná finanční náročnost cca. 5 mil. Kč

Doporučený řešitel:

ŠMERAL BRNO a.s., Křenová 65 c; CVTS, KKS, ZČU Plzeň

8. Výzkum a vývoj metod zvyšování životnosti tvářecích nástrojů

Navrhovatel

Doc. Ing. Karel Novotný, CSc., Ing. Miloslav Kopřiva

Popis konkrétních problémů

- Zajištění přesnosti výroby součástí ve tvářecím nástroji pro tváření za studena i za tepla – na rozměry působí hlavně otěr, který po určitém počtu vyrobených kusů ovlivní jejich výrobní toleranci
- Zajištění dosahované kvality povrchu vyráběných součástí – drsnost povrchu součástí, estetické hledisko
- Sledování tribologických poměrů mezi tvářeným materiálem a nástrojem – hodnocení tribologických parametrů, např. drsnost povrchu, velikost kontaktu, rychlost a směr tečení materiálu, kontaktní tlaky, rozložení teploty aj.
- Vývoj a výzkum technologických maziv – funkce a kvalita maziv, ekologická hlediska
- Vývoj a výzkum nových materiálů pro výrobu tvářecích nástrojů – jejich tepelné zpracování, povrchové úpravy

Stručný popis stavu problematiky ve světě

Snahou všech výrobců, kteří používají technologii tváření, je vyrobit na tvářecím nástroji co největší počet výrobků. Cena tvářecího nástroje je ekonomický parametr, který podstatně ovlivňuje cenu vyráběného dílu. Proto je tendence vyrábět tvářecí nástroje podle jejich použití – tj. jedná-li se nástroj pro zkoušky, pro malé série nebo jako produkční nástroj pro velkosériovou výrobu. Podle aplikace nástroje do výroby se pak přizpůsobuje i jeho výroba, tj. použití vhodného nástrojového materiálu včetně jeho tepelného zpracování a případných povrchových úprav (nitridace, chromování aj.), stanovení přesnosti výroby podle požadovaných tolerancí vyráběné součásti, složitost nástroje (jednoduchý, postupový, sloučený nebo sdružený), u drahých a složitých nástrojů i případná aplikace tvrdokovů atd.

Vlastní odborné zhodnocení přínosu tématu pro obor a průmysl v ČR

V reálném provozu hraje cena nástroje podstatnou položku pro stanovení ceny konečného výrobku. V naší republice je technologie tváření využívána v mnoha podnicích a je snaha všech výrobců, aby vyrobený nástroj měl co největší životnost. Proto je nutno hledat cesty, jak životnost nástrojů zvýšit. Je to však otázka nejen vlastních nástrojů, ale i technologických podmínek daného podniku, tj. organizace výroby, velikost sérií, stav strojů, způsob údržby strojů a techniky, zkušenosti, personální vybavení aj.

Cíle a praktické výstupy pro obor/ průmysl

- Vývoj a výzkum nových materiálů pro výrobu tvářecích nástrojů včetně tepelného zpracování a povrchových úprav
- Sledování tribologických parametrů ve styku tvářený materiál- nástroj.
- Podrobná analýza tření mezi nástrojem a tvářeným materiálem při tváření za studena i za tepla
- Vývoj a výzkum nových technologických maziv

- Využití počítačové simulace pro studium chování materiálu ve tvářecím nástroji

Způsob dosažení cílů

- S ohledem na dobrou životnost tvářecích nástrojů věnovat pozornost už při technologické přípravě výroby – volba technologie, počtu operací, tolerance vyráběné součásti, druh zvoleného tvářeného materiálu
- Využívat v hojné míře počítačovou simulaci – ověření tečení materiálu, rozložení tlaků, rozložení teploty atd.
- Při konstrukci tvářecích nástrojů a při navrhování technologie postupovat podle zásad technologičnosti součásti
- Aplikovat vhodný nástrojový materiál pro výrobu tvářecího nástroje včetně tepelného zpracování a příp. povrchových úprav
- V podnicích využívajících technologii tváření by se měli zabývat životností nástrojů min. 1- 2 pracovníci a to ve spolupráci s konstruktérem nástroje, technologem a nástrojárnou
- Dodržovat technologické podmínky při výrobě, např. předehřátí zápustek při tváření za tepla, předepsané ohřátí polotovarů

Doporučený řešitel

Všechny podniky, které se zabývají technologií tváření za studena i za tepla, hlavně však velké firmy, jako např. ŠKODA Mladá Boleslav, TATRA Kopřivnice aj.

9. Výzkum a vývoj nových konstrukčních a materiálových koncepcí pro tvářecí nástroje

Navrhovatel

Ing. Pavel Šuchmann, Dr. Ing. Zbyšek Nový, COMTES FHT a.s.

Popis konkrétních problémů

Tvářecí nástroje jsou při provozu vystaveny značnému dynamickému namáhání, které je v mnoha případech (typicky např. u kovacích zápustek) podpořeno tepelnou únavou. Mezi výrobci i uživateli nástrojů chybí všeobecné povědomí o moderních technických řešeních, která by mohla vést ke zvýšení odolnosti těchto typů nástrojů proti opotřebení. V praxi je obvykle využíváno jen několik značek nástrojových ocelí, na kterých jsou aplikovány standardní postupy tepelného a termochemického zpracování. Cíleným použitím modernějších materiálů a postupů zušlechtění je pak často možné dosáhnout skokového zvýšení životnosti nástrojů o desítky procent.

V objemovém tváření dále neexistují technické standardy pro konstrukci vysoce namáhaných tvářecích nástrojů, při jejichž výrobě jsou použity aktivní prvky ze speciálních materiálů s vysokou odolností proti opotřebení (např. keramika nebo slinuté karbidy). Z prototypových zkoušek provedených navrhovatelem přitom vyplývá, že tato řešení je možné v některých případech úspěšně použít i u klasických kovacích zápustek. U speciálních technologií (např. zjemňování zrna intenzivní plastickou deformací) je tváření větších sérií bez použití těchto speciálních řešení nástrojů jen obtížně představitelné.

Stručný popis problematiky ve světě

V současné době jsou na trhu k dispozici moderní nástrojové materiály vyrobené klasickou i práškovou metalurgií (např. od firem Böhler, Uddeholm, EWK, Crucible aj.), které ve většině kvalitativních parametrů obvykle výrazně převyšují klasické nástrojové oceli od českých výrobců. Dále byly i v českých podmínkách nedávno vyvinuty a prakticky ověřeny nové typy nástrojových ocelí pro práci za tepla (viz užitné vzory č. 19949, 19950, 19951).

V oblasti tepelného zpracování nástrojových ocelí byla v posledních letech publikována řada výzkumných prací popisujících například vliv hlubokého zmrazování na odolnost proti opotřebení. Tento postup vede kromě eliminace zbytkového austenitu ještě k dalším efektům, které pozitivně ovlivňují odolnost ocelí proti opotřebení, a dosud nebyly do důsledků teoreticky popsány. Kromě toho byl v laboratorních podmínkách pozorován pozitivní vliv zmrazování na následnou nitridaci (dosažení výrazně vyšší tloušťky nitridované vrstvy).

Rovněž se v posledních pěti letech objevilo několik odborných prací zaměřených na použití speciálních materiálů (keramika, slinuté karbidy aj.) při konstrukci a výrobě tvářecích nástrojů určených pro objemové tváření za tepla i za studena.

Vlastní odborné zhodnocení přínosu tématu pro obor a průmysl v ČR

Tváření dnes představuje jednu z klíčových technologií pro výrobu strojních součástí z kovových materiálů. Většinou je tato technologie využívána k výrobě středně velkých a velkých sérií dílů, která se často provádí v částečně či plně automatizovaných provozech. U tohoto typu výroby vedou

odstávky způsobené nutností výměny nástrojů k výraznému zvýšení celkových výrobních nákladů. Výrazné zvýšení životnosti tvářecích nástrojů tedy povede ke skokovému posílení konkurenceschopnosti příslušných výrobců.

Vytvoření konstrukčních a technologických směrnic pro použití nových typů nástrojových materiálů a nových postupů tepelného a termochemického zpracování dále povede k posílení konkurenceschopnosti výrobců tvářecích nástrojů a ke zlepšení všeobecného povědomí odborných technických pracovníků o těchto moderních trendech v oboru.

Cíle a praktické výstupy pro obor/průmysl v ČR

Vytvoření technologických směrnic pro moderní postupy tepelného a termochemického zpracování tvářecích nástrojů s využitím hlubokého zmražení. Nové postupy povedou k dosažení výrazně vyšší odolnosti proti opotřebení, než je dnes běžné.

Vytvoření konstrukčních standardů pro návrhy a výrobu tvářecích nástrojů s vysokou odolností proti opotřebení využívajících aktivní prvky ze speciálních materiálů.

Vytvoření databáze různých typů moderních materiálů s vysokou odolností proti opotřebení včetně konstrukčně-technologických pokynů pro použití těchto materiálů při výrobě aktivních prvků tvářecích nástrojů

Způsob dosažení cílů

- Teoretické studium mechanizmů opotřebení u různých tvářecích technologií.
- Návrh experimentálního zařízení (resp. kombinace standardizovaných zkušebních metod) pro hodnocení odolnosti materiálů proti různým typům opotřebení.
- Volba optimálních nástrojových materiálů
- Vývoj optimálních způsobů tepelného a termochemického zpracování nástrojů
- Vývoj konstrukčních řešení pro nástroje složené z několika částí vyrobených z různých materiálů
- Zkoušky prototypových nástrojů v reálných podmínkách

Předpokládaná doba vývoje činí 3 roky při dvou pracovnících.

Doporučený řešitel

COMTES FHT a.s., ŽĎAS a.s., některá ze zápustkových kováren (ŠKODA Auto, VIVA aj.)

10. Výzkum a vývoj tváření těžkotvařitelných slitin titanu, niklu, hořčíku a wolframu

Navrhovatel

Dr. Ing. Zbyšek Nový, Ing. Jaromír Dlouhý, COMTES FHT a.s.

Popis konkrétních problémů

Mnoho slitin kovů Mg, Ti, Ni a W vyniká specifickou kombinací fyzikálních a mechanických vlastností, která je unikátní v celém spektru kovových i nekovových dosud známých materiálů. Tyto slitiny jsou tak mimořádně vhodné pro použití v aplikacích s důrazem na např. kombinaci nízké hustoty a vysoké pevnosti, chemické a teplotní odolnosti, velmi vysoké houževnatosti apod. Ve speciálních aplikacích s extrémními nároky jsou některé slitiny velmi obtížně nahraditelné jiným materiálem (letectví, kosmonautika, jaderné reaktory…).

Použitelnost slitin výše zmíněných kovů je pro takové aplikace omezena především možností jejich zpracování, zejména tváření. U obtížně tvářitelných slitin je sortiment výrobků omezen na odlitky a obrobky odlitků. Zavedení tvářecí technologie značně rozšíří sortiment výrobků a otevře nové aplikace.

Stručný popis problematiky ve světě

Tlak na využívání slitin s unikátními vlastnostmi vytvářejí především výrobci leteckých motorů, jaderných reaktorů a jiných energetických zařízení, speciálních dílů dopravních prostředků, speciálních nástrojů, při snaze o zvýšení účinnosti a snížení hmotnosti svých výrobků. To vyžaduje využívat slitiny se stále vyšší pevností, žárupevností či chemickou odolností. S tím je však zpravidla spojeno zhoršení tvařitelnosti a kriticky obtížná výroby tvářených polotovarů s komplikovanějším tvarem. Výzkum tváření obtížně tvářitelných slitin je veden jak výrobci těchto materiálů, tak univerzitními výzkumnými centry. Jde vesměs o nalézání ideálních podmínek pro tváření konkrétní slitiny a jejich přesné řízení. Tzv. obtížně tvařitelné slitiny je často možné tvářet, avšak pouze při přesném dodržení teploty, rychlosti deformace, výchozí mikrostruktury a chemického složení. Proto výzkum zahrnuje metalurgické procesy zajišťující přesné dodržení chemického složení a zajištění čistoty materiálu. Problematika výchozí struktury a parametrů tváření je úzce spjata se zotavením a rekrystalizací materiálu, případně možností tváření v superplastickém stavu.

Nejrychlejší aplikovatelnost v praxi mají výzkumy optimalizace tvářecích postupů. Toto se týká slitin, u kterých se prokázala tvařitelnost za laboratorních podmínek, ale v průmyslovém měřítku se nepodařilo zatím najít technologický postup s požadovanou opakovatelností bezvadných výkovků. Absence tohoto postupu je pak jedinou překážkou v použití materiálu v dané aplikaci a jeho nalezení může být ihned následováno výrobou.

Výzkum tvařitelnosti slitin s velmi omezenou schopností plastické deformace, kterou lze obtížně navodit i za přesně řízených laboratorních podmínek, je dlouhodobý. Často se zde jedná o snahu využít nekonvenčních způsobů tváření (thixoforming) a nejedná se již jen o optimalizaci parametrů tvářecího procesu.

Vlastní odborné zhodnocení přínosu tématu pro obor a průmysl v ČR

Možnost tvářet doposud netvařitelnou slitinu otevře nové aplikace, dosud pro daný materiál nedosažitelné. I jen schopnost dosáhnout komplikovanějšího tvaru např. výkovku je výhodná, neboť je možnost se tím více přiblížit výslednému tvaru výrobku. Tím klesá množství materiálu, který je potřeba odebrat obráběním (tyto slitiny jsou vesměs špatně obrobitelné).

Zavedení unikátního postupu tváření pro daný materiál bude znamenat významný přínos pro podnik, ve kterém se bude tato technologie vyvíjet a realizovat. Jedná se o výrobu s vysokou přidanou hodnotou, jejíž hlavní přínos je ve vytváření know-how a hlavní nároky spočívají v řízení jakosti a kvalifikaci pracovníků. Tyto znaky plně odpovídají prioritám českého průmyslu, který je konkurenceschopný právě díky kvalifikované pracovní síle a schopnosti produkovat výrobně náročné komponenty či zařízení.

Cíle a praktické výstupy pro obor/průmysl v ČR

Nalezení technologie tváření niklových superslitin s vysokým obsahem Mo, Cr a W. Využití v jaderné energetice pro prototypovou výrobu experimentálních smyček. V těchto smyčkách budou simulovány některé děje, probíhající ve vysokoteplotních reaktorech čtvrté generace.

Nalezení technologie tváření hořčíkových slitin. Zpřístupnění extrémně lehkých hořčíkových dílů pro aplikace dopravního a sportovního průmyslu.

Nalezení technologie tváření titanu a titanových slitin s nanostrukturou. Uplatnění čistého titanu a titanových slitin s nanostrukturou v medicíně (biokompatibilní materiály), v dopravním a sportovním průmyslu.

Nalezení technologie tváření wolframových slitin pro speciální vojenské aplikace.

Způsob dosažení cílů

- Marketingový průzkum trhu
- Výběr materiálů dle požadavků trhu
- Rozbor plasticity materiálu – jeho schopnost rekrystalizace, maximální deformace bez porušení apod. – využití numerické simulace a termomechanických simulací na laboratorních vzorcích.
- Návrh technologického postupu tváření modelového výrobku

Projekt představuje nárok na 160 člověko-měsíců výzkumných pracovníků. Předpokládaná doba trvání projektu – čtyři roky

Doporučený řešitel

COMTES FHT a.s., Západočeská univerzita v Plzni

11. Řízené Termomechanické zpracování kovových materiálů

Navrhovatel

Dr. Ing. Zbyšek Nový, Ing. Daniela Hauserová, COMTES FHT a.s.

Popis konkrétních problémů

V oblasti válcování nízkolegovaných vysokopevných ocelí jsou řízeným válcováním vyráběny vysokopevné plechy a pasy do pevnosti 1500 MPa. Dále jsou válcovány plechy, které mají výslednou strukturu ve stavu blízkém normalizačnímu žíhání resp. jinému žíhání. Tento stav není obdobný v segmentu válcovaných profilů, trubek a drátů.

Ani v oblasti výroby pasů, ani v oblasti výroby profilů, trubek a drátů nejsou vyvinuty technologie výroby těchto polotovarů ve stavu vyžíhaném na měkko. Dále nejsou vyvinuty postupy výroby vysokopevných válcovaných polotovarů s mezí kluzu nad 1500 MPa. V oblasti zápustkově kovaných výkovků jsou v některých případech vyvinuty a zavedeny postupy termomechanického zpracování, které eliminují nutnost následného normalizačního žíhání. Nejsou však vyvinuty postupy, které nahrazují proces zušlechťování výkovků.

Stručný popis problematiky ve světě

Specifické mechanické vlastnosti u tvářených kovových výkovků jsou v současné době dosahovány technologiemi, ve kterých jsou od sebe odděleny proces tváření od procesu tepelného zpracování. Tyto procesy často probíhají odděleně, nezávisle na sobě a každý z nich má nezávislý efekt na výsledné vlastnosti materiálu. V celé řadě případů je možné a ekonomicky efektivní tyto procesy synergicky spojit do technologie řízeného termomechanického zpracování. V tomto případě probíhá proces tváření při zadaných teplotách a bezprostředně po něm následuje řízený způsob vychlazování polotovaru. Tento postup je používán v některých válcovnách při válcování plechů. Míra využití řízeného termomechanického zpracování je však i u výroby plechů nízká, u výroby jiných tvářených výrobků a polotovarů se řízené termomechanické zpracování téměř nepoužívá. Efektivní využití tohoto postupu přitom přináší jednak značné energetické, časové i logistické úspory, v některých případech je dokonce dosahováno lepších mikrostrukturních a mechanických parametrů než konvenčním postupem tváření a následného tepelného zpracování.

Vlastní odborné zhodnocení přínosu tématu pro obor a průmysl v ČR

Řízené termomechanické zpracování v navrhovaném pojetí přinese následující nové technologie:

A. Technologie řízeného válcování pasů s výslednou strukturou vyžíhanou na měkko se sferoidizovanými karbidy.

Tato technologie přinese úspory při výrobě plechů válcovaných za studena. V současné době je nutné pasy mezi válcováním za tepla a válcováním za studena žíhat na měkko režimem, který trvá obvykle desítky hodin. Proces žíhání po zavedení nové technologie nebude nutné provádět. Nová technologie využije efektu ASR (Accelerated Sferoidization and Refinement).

B. Technologie řízeného válcování trubek, profilů a drátů s výslednou strukturou vyžíhanou na měkko se sferoidizovanými karbidy.

Tato technologie přinese úspory při výrobě za studena tažených trubek, profilů a drátů. V současné době je nutné uvedené polotovary mezi válcováním za tepla a tažením žíhat na měkko režimem, který trvá obvykle desítky hodin. Proces žíhání po zavedení nové technologie nebude nutné provádět. Nová technologie využije efektu ASR (Accelerated Sferoidization and Refinement).

C. Technologie řízeného válcování ložiskových kroužků se strukturou se sferoidizovanými karbidy.

Tato technologie přinese úspory při výrobě rozměrných ložiskových kroužků. V současné době je nutné válcované kroužky žíhat před obráběním na měkko po dobu delší než deset hodin. Po zavedení nové technologie bude tato doba významně zkrácena.

D. Technologie řízeného válcování vysokopevných pasů s výslednou mezí kluzu nad 1500 MPa s tažností A_{50} nad 5%.

Tato technologie umožní obecně snižování hmotnosti konstrukcí, zvyšování jejich tuhosti a bezpečnosti. Technologie bude využívat efektu TWIP (Twinning Induced Plasticity). Pro tuto technologii budou navrženy speciální jakosti ocelí.

E. Technologie řízeného válcování vysokopevných trubek, profilů a drátů s výslednou mezí kluzu nad 1500 MPa s tažností A_{50} nad 5%.

Tato technologie umožní obecně snižování hmotnosti konstrukcí a zvyšování bezpečnosti. Technologie bude využívat efektu TWIP (Twinning Induced Plasticity). Pro tuto technologii budou navrženy speciální jakosti ocelí

F. Technologie řízeného termomechanického zpracování výkovků se zušlechtěnou strukturou.

Význam technologie spočívá v úsporách při eliminaci zušlechťování výkovků. Technologie je specifická moderními systémy řízeného ochlazování výkovků.

Cíle a praktické výstupy pro obor/průmysl v ČR

Nově vyvinuté technologie řízeného termomechanického zpracování přinesou podstatné úspory při výrobě za studena válcovaných dlouhých produktů a při výrobě zápustkových výkovků.

- bude zcela eliminováno dlouhodobé žíhání před započetím procesu tváření za studena,

- bude částečně eliminováno mezioperační žíhání při tváření za studena,

- bude odstraněn proces zušlechťování výkovků.

- nově vyvinuté technologie přinesou na trh kovových polotovarů materiály nových jakostí

s vyššími mechanickými parametry, než tomu bylo dosud.

Způsob dosažení cílů

Cíle budou dosaženy s využitím fyzikálně metalurgických jevů, které zatím při technologických procesech zpracování kovů nebyly využívány anebo byly využívány jen v omezené míře. Jedná se například o jevy ASR, TWIP, využívání speciálních způsobů tváření, vychlazování i ohřevu. V některých případech budou pro nové procesy využívány nové jakosti materiálů, ve kterých bude efektivněji než dosud využito předností řízeného termomechanického zpracování. Plán prací souvisí

s vývojem jednotlivých technologií popsaných v bodech A – F v odstavci „Vlastní odborné zhodnocení přínosu tématu pro obor a průmysl v ČR“. Každá z uvedených technologií představuje přibližně vynaložení dvaceti člověko-měsíců výzkumných pracovníků. Celý projekt bude trvat cca čtyři roky. Náklady lze odhadnout v řádu 15 – 20 mil. Kč

Doporučený řešitel

COMTES FHT a.s., Západočeská univerzita v Plzni