



EVROPSKÁ UNIE
Evropský fond pro regionální rozvoj
Operační program Podnikání
a inovace pro konkurenceschopnost



TECHNOLOGICKÁ PLATFORMA
STROJÍRENSKÁ VÝROBNÍ TECHNIKA

IMPLEMENTAČNÍ AKČNÍ PLÁN OBORU STROJÍRENSKÉ VÝROBNÍ TECHNIKY

pro období 2020–2025+

4 / 2019 finální dokument

Obsah

1. Technologie obrábění	12
1.1. Řezné nástroje	13
1.1.1. (T01) Materiály a povlaky řezných nástrojů.....	13
1.1.2. (T02) Konstrukce řezných nástrojů	16
1.1.3. (T67) Spolehlivost funkce řezných nástroju	20
1.2. Řezný proces	23
1.2.1. (T03) Optimalizace procesu obrábění	23
1.2.2. (T04) Modelování a identifikace řezného procesu	26
1.2.3. (T05) Řezné prostředí a ekologizace obrábění	31
1.2.4. (T06) Výzkum vhodných řezných podmínek pro obrábění těžkoobrobitelných a specifických materiálů	34
1.3. Výkon obrábění.....	37
1.3.1. (T08) Matematické modelování pro návrh technologie výkonného obrábění	37
1.3.2. (T10) Diagnostické metody pro návrh technologie výkonného obrábění	40
1.3.3. (T104) Simulace výrobních procesů.....	43
1.4. NC programování.....	45
1.4.1. (T11) Metody tvorby postprocesorů pro víceosé a multifunkční NC stroje	45
1.5. Nekonenční obrábění.....	49
1.5.1. (T102) Výzkum 3D tisku a aditivní technologií pro využití průmyslu	49
1.5.2. (T15) Hybridní technologie	51
1.5.3. (T16) Výzkum laserových technologií a hybridních technologií využívajících kombinace laseru a třískového obrábění.....	54
2. Stavba obráběcích strojů.....	57
2.1. Koncepce stojů a pohonů	58
2.1.1. (T17) Multifunkční stroje	58
2.1.2. (T18) Modulární stroje	61
2.1.3. (T19) Nekonenční koncepce strojů a pohonů pohybových os	63
2.1.4. (T20) Vývoj strojů s více pracovními nástroji v řezu.....	66
2.1.5. (T62) Technický a funkční design strojů (vč. ergonomie)	68
2.2. Komponenty, skupiny a hlavní nosná struktura.....	71
2.2.1. (T21) Rozšiřování technologických možností komponent strojů.....	71
2.2.2. (T22) Zvyšování přesnosti stavby strojů.....	74
2.2.3. (T24) Konstrukce se sníženou dynamickou poddajností	77
2.2.4. (T27) Technologické postupy pro zpracování nekonenčních materiálů pro stavbu obráběcích strojů a jejich komponent.....	81
2.2.5. (T28) Vývoj technických prostředků pro obrábění mikronástroji	84
2.3. Matematické modely strojů a jejich verifikace.....	86
2.3.1. (T29) Modely pro virtuální testování a optimalizace NC obrábění	86
2.3.2. (T31) Modely mechanické stavby OS pro analýzy strukturálních vlastností a optimalizační úlohy	90
2.3.3. (T32) Moderní výpočtové a návrhové postupy nosných struktur a pohonů	93

2.3.4.	(T64) Digitální dvojče procesu, stroje a systému	97
2.4.	Ecodesign.....	101
2.4.1.	(T33) Snižování energetické náročnosti obráběcích strojů	101
2.5.	Spolehlivost a bezpečnost	105
2.5.1.	(T35) Bezpečnost, spolehlivost a kvalita strojních uzlů a komponent.....	105
2.5.2.	(T36) Analýza rizik při konstrukci strojů.....	108
2.5.3.	(T37) Analýza rizik při provozu strojů	111
2.5.4.	(T58) Benchmarking a analýza technicko-užitných vlastností strojů	114
2.6.	Automatizace a bezobslužnost	116
2.6.1.	(T38) Rozvoj automatizace a bezobslužnosti výroby	116
2.6.2.	(T60) Roboty ve výrobní technice	119
2.6.3.	(T65) Integrace a komunikace strojů s vyššími výrobními celky	121
3.	Řízení a inteligence	124
3.1.	Řízení a mechatronika	125
3.1.1.	(T40) Přídavné odměřovací systémy u obráběcích strojů.....	125
3.1.2.	(T101) Inprocesní měření	128
3.1.3.	(T41) Odměřování polohy středu nástroje a jeho integrace do řízení.....	131
3.1.4.	(T42) Nové strategie pro zvýšení přesnosti a kvality dráhového řízení	133
3.1.5.	(T44) Potlačování vibrací s využitím nestandardních softwareových i hardwareových prostředků a řízeným rozbíháním pohonů.....	136
3.1.6.	(T46) Kompenzace nepřesností víceosých frézovacích center	138
3.1.7.	(T63) Metody využití dat pro zlepšení užitných vlastností výrobních strojů a procesů	141
3.1.8.	(T66) Netradiční funkce řídicích systémů.....	144
3.2.	Teplotně-mechanické chování	147
3.2.1.	(T48) Predikce teplotních deformací stroje a jejich kompenzace	147
3.3.	Monitorování a diagnostika.....	151
3.3.1.	(T54) Zdokonalení vzdálené diagnostiky a zajištění bezpečnosti při provádění testů na dálku	151
3.4.	Samostatnost a jednoduchost	154
3.4.1.	(T55) Jednoduchá a bezpečná obsluha obráběcích strojů	154
3.4.2.	(T56) Koncepce Plug-and-Produce.....	158
3.4.3.	(T57) Inteligentní obráběcí stroje	161
3.4.4.	(T59) Inteligentní příslušenství strojů	164
3.4.5.	(T61) BigData a AI pro zlepšení spolehlivosti výrobních strojů.....	166
4.	Tvářecí stroje.....	168
4.1.	Stroje s mimořádně velkými výkony na zpracování velkorozměrných a vysoce hmotných výrobků.....	169
4.1.1.	(T131) Řešení specifik při projektech a konstrukci velkých kovacích hydraulických lisů pro volné kování o silách 100-200 MN	169
4.1.2.	(T132) Řešení pohonů velkých kovacích lisů o pracovní síle 100-200 MN – uspořádání pohonů, typy pohonů	171
4.1.3.	(T133) Vývoj manipulačního zařízení pro hmotnosti výkovku 200-300 tun	173

4.1.4.	(T134) Ovládací systémy, (hydraulické a elektrické) pro ovládání a řízení procesu kování velkých kovacíh lisů o síle 100-200 MN	175
4.1.5.	(T135) Programové kování pro kovací celky o silách 100-200 MN	177
4.1.6.	(T136) Zmenšování energetické náročnosti hydraulických lisů	179
4.1.7.	(T137) Konstrukční řešení nových a zlepšování technických parametrů stávajících velkých mechanických lisů.	181
4.1.8.	(T138) Zmenšování energetické náročnosti mechanických lisů	183
4.1.9.	(T139) VaV pohonů mechanických lisů	185
4.2.	Zařízení pro dělení materiálu s využitím moderních technologií.....	187
4.2.1.	(T140) Řešení problematiky dělení materiálu stříháním	187
4.3.	Stroje na zhutňování materiálů	189
4.3.1.	(T141) Řešení problematiky strojů na zhutňování materiálů – paketovací lisy.....	189
4.3.2.	(T142) Řešení problematiky strojů na zhutňování materiálů – briketovací lisy.....	191
4.4.	Stroje na zpracování plastů, keramiky a dalších nekovových materiálů .	193
4.4.1.	(T143) Zvyšování užitných vlastností kalandrovacích výrobních linek	193
4.4.2.	(T144) Výkonná a přesná výroba plastových fólií kombinovaným vytlačováním a válcováním (technologie roll-head)	195
4.5.	Stroje a zřízení stavěné s využitím nekonvenčních materiálů	197
4.5.1.	(T145) Studium možnosti využití nekonvenčních materiálů v konstrukci tvářecích strojů	197
4.5.2.	(T146) Stojany lisů z ocelí o vyšší pevnosti	199
4.6.	Metody a způsoby vývoje strojů a zařízení	201
4.6.1.	(T147) Virtuální modely nosných dílů tvářecích strojů se zaměřením na okrajové podmínky výpočtu.....	201
4.6.2.	(T148) Virtuální modely pohyblivých dílů tvářecích strojů se zaměřením na okrajové podmínky výpočtu.....	203
4.7.	Zařízení pro akumulaci energií.....	205
4.7.1.	(T149) Zařízení pro akumulaci energií	205
5.	Technologie tváření	207
5.1.	Technologie tváření	208
5.1.1.	(T150) Výzkum a vývoj nových postupů pro simulace v plošném tváření	208
5.1.2.	(T151) Výzkum a vývoj zvyšování přidané hodnoty zápusťkových výkolků	210
5.1.3.	(T152) Výzkum a vývoj metod přesného kování	212
5.1.4.	(T153) Výzkum a vývoj metod hodnocení tvářitelnosti kovových materiálů v plošném tváření.....	214
5.1.5.	(T154) Výzkum a vývoj dutinového kování polotovarů z neželezných kovů	216
5.1.6.	(T155) Tváření za poloohřevu	218
5.1.7.	(T156) Příčné klínové válcování	220
5.1.8.	(T157) Výzkum a vývoj metod zvyšování životnosti tvářecích nástrojů	222
5.1.9.	(T158) Výzkum a vývoj nových konstrukčních a materiálových koncepcí pro tvářecí nástroje.....	224
5.1.10.	(T159) Výzkum a vývoj tváření těžkotvařitelných slitin titanu, niklu, hořčíku a wolframu	226
5.1.11.	(T160) Řízené Termomechanické zpracování kovových materiálů	228

Úvod

Zpracování aktualizace Implementačního akčního plánu (IAP) je součástí řešení projektu „Technologická platforma strojírenská výrobní technika III.“ a navazuje na dokument „Technologický foresight oboru SVT pro horizont 2030 (4 / 2019 finální dokument)“, který v závěru formuluje aktualizovanou strategickou výzkumnou agendu (SVA) oboru strojírenská výrobní technika. SVA formuluje hlavní úkoly výzkumu, vývoje a inovací, které podporují konkurenceschopnost nabídky oborového průmyslu.

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 úkolů oborové strategie SVA pro období 2020-2030. Níže popsané návrhy výzkumných témat představují možné konkrétní nástroje pro naplňování strategických úkolů. 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. IAP formuluje obecný a nejširší výzkumný program oboru strojírenské výrobní techniky pro období 2020 – 2025+. 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 a tvářecích strojů a českých výrobců obráběcích a tvářecích strojů. Projekty, které z IAP vychází, mohou být řešeny jednak v rámci plánů technického rozvoje podniků a to bez státní podpory. Výzkumné organizace do jejich řešení mohou být zapojeny v rámci smluvního výzkumu (komerční výzkum ve formě 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 vytvořený Technologický Foresight s SVA a na tuto aktualizovanou IAP je usilovat o preferování státní podpory pro obor strojírenské výrobní techniky.

Tento Implementační akční plán a jeho aktualizace byla zpracována za široké spolupráce s řadou odborníků v oboru z podniků i výzkumných organizací.

Provedená aktualizace IAP

Níže uvedená tabulka shrnuje provedené úpravy IAP v rámci jeho aktualizace v oblasti obráběcích strojů a obrábění.

Téma IAP	Stav
(T01) Materiály a povlaky řezných nástrojů	Téma aktualizováno podle připomínek expertů
(T02) Konstrukce řezných nástrojů	Téma aktualizováno podle připomínek expertů Aktualizován název
(T03) Optimalizace procesu obrábění	Téma aktualizováno podle připomínek expertů
(T04) Modelování a identifikace řezného procesu	Téma aktualizováno podle připomínek expertů
(T05) Řezné prostředí a ekologizace obrábění	Téma aktualizováno podle připomínek expertů
(T06) Výzkum vhodných řezných podmínek pro obrábění těžkoobrobitelných a specifických materiálů	Téma aktualizováno podle připomínek expertů
(T08) Matematické modelování pro návrh technologie výkonného obrábění	Téma aktualizováno podle připomínek expertů
(T10) Diagnostické metody pro návrh technologie výkonného obrábění	Téma aktualizováno podle připomínek expertů
(T101) Inprocesní měření	Téma aktualizováno podle připomínek expertů Integrováno T49
(T102) Výzkum 3D tisku a aditivní technologií pro využití průmyslu	Téma aktualizováno podle připomínek expertů
(T103) Optimálně navržené a provozované periférie strojů	Téma bylo zrušeno zaintegrováním popisu do T33 Snižování energetické náročnosti obráběcích strojů.
(T104) Simulace výrobních procesů	Téma aktualizováno podle připomínek expertů
(T11) Metody tvorby postprocesorů pro víceosé a multifunkční NC stroje	Téma aktualizováno podle připomínek expertů
(T12) Simulace a verifikace NC programů	Téma bylo zrušeno zaintegrováním popisu do T29 Modely pro virtuální testování a optimalizace NC obrábění
(T13) Optimalizace NC kódu	Téma bylo zrušeno zaintegrováním popisu do T29 Modely pro virtuální testování a optimalizace NC obrábění
(T15) Hybridní technologie	Téma aktualizováno podle připomínek expertů
(T16) Výzkum laserových technologií a hybridních technologií využívajících kombinace laseru a třískového obrábění	Téma aktualizováno podle připomínek expertů Aktualizován název
(T17) Multifunkční stroje	Téma aktualizováno podle připomínek expertů
(T18) Modulární stroje	Téma aktualizováno podle připomínek expertů Aktualizován název Integrováno T25
(T19) Nekonenční koncepce strojů a pohonů pohybových os	Téma aktualizováno podle připomínek expertů
(T20) Vývoj strojů s více pracovními nástroji v řezu	Téma aktualizováno podle připomínek expertů

(T21) Rozšiřování technologických možností komponent strojů	Téma aktualizováno podle připomínek expertů
(T22) Zvyšování přesnosti stavby strojů	Téma aktualizováno podle připomínek expertů
(T23) Unifikace komponent a metody pro jejich výběr	Téma bylo zrušeno zaintegrováním popisu do T31 Modely mechanické stavby OS pro analýzy strukturálních vlastností a optimalizační úlohy
(T24) Konstrukce se sníženou dynamickou poddajností	Téma aktualizováno podle připomínek expertů Aktualizován název Integrováno T25
(T25) Nekonenční materiály pro obráběcí stroje	Téma bylo zrušeno zaintegrováním popisu do T24 Konstrukce se sníženou dynamickou poddajností.
(T26) Predikce vlastností dílců obráběcích strojů z nekonvenčních materiálů	Téma bylo zrušeno zaintegrováním popisu do T32 Moderní výpočtové a návrhové postupy nosných struktur a pohonů
(T27) Technologické postupy pro zpracování nekonvenčních materiálů pro stavbu obráběcích strojů a jejich komponent	Téma aktualizováno podle připomínek expertů
(T28) Vývoj technických prostředků pro obrábění mikronástroji	Téma aktualizováno podle připomínek expertů
(T29) Modely pro virtuální testování a optimalizace NC obrábění	Téma aktualizováno podle připomínek expertů Aktualizován název Integrováno T12 a T13
(T31) Modely mechanické stavby OS pro analýzy strukturálních vlastností a optimalizační úlohy	Téma aktualizováno podle připomínek expertů Aktualizován název Integrováno T23
(T32) Moderní výpočtové a návrhové postupy nosných struktur a pohonů	Téma aktualizováno podle připomínek expertů Integrováno T26
(T33) Snižování energetické náročnosti obráběcích strojů	Téma aktualizováno podle připomínek expertů Integrováno T34 a T103
(T34) Ecodesign – další environmentální aspekty výroby, provozu a likvidace obráběcích strojů	Téma bylo zrušeno zaintegrováním popisu do T33 Snižování energetické náročnosti obráběcích strojů.
(T35) Bezpečnost, spolehlivost a kvalita strojních uzlů a komponent	Téma aktualizováno podle připomínek expertů
(T36) Analýza rizik při konstrukci strojů	Téma aktualizováno podle připomínek expertů
(T37) Analýza rizik při provozu strojů	Téma aktualizováno podle připomínek expertů
(T38) Rozvoj automatizace a bezobslužnosti výroby	Téma aktualizováno podle připomínek expertů
(T39) Autonomní výroba	Téma bylo zrušeno zaintegrováním popisu do T57 Inteligentní obráběcí stroje
(T40) Přídavné odměřovací systémy u obráběcích strojů	Téma aktualizováno podle připomínek expertů
(T41) Odměřování polohy středu nástroje a jeho integrace do řízení	Téma aktualizováno podle připomínek expertů
(T42) Nové strategie pro zvýšení přesnosti a kvality dráhového řízení	Téma aktualizováno podle připomínek expertů Aktualizován název

(T44) Potlačování vibrací s využitím nestandardních softwareových i hardwareových prostředků a řízeným rozbíháním pohonů	Téma aktualizováno podle připomínek expertů
(T45) Spolehlivější a snazší nasazení senzorů/ aktuátorů	Téma bylo zrušeno zaintegrováním popisu do T57 Inteligentní obráběcí stroje
(T46) Kompenzace nepřesností víceosých frézovacích center	Téma aktualizováno podle připomínek expertů
(T47) Eliminace tepelných deformací obráběcích strojů pomocí inteligentního řízení chlazení	Téma bylo zrušeno zaintegrováním popisu do T48 Predikce teplotní deformací stroje a jejich kompenzace
(T48) Predikce teplotních deformací stroje a jejich kompenzace	Téma aktualizováno podle připomínek expertů Integrováno T47
(T49) Měření a kompenzace deformací včetně a nástroje	Téma bylo zrušeno zaintegrováním popisu do T101 Inprocesní měření
(T50) Monitorování funkcí a vlastností stroje	Téma bylo zrušeno zaintegrováním popisu do T57 Inteligentní obráběcí stroje
(T51) Senzorika, zpracování signálu a diagnostika strojů	Téma bylo zrušeno zaintegrováním popisu do T57 Inteligentní obráběcí stroje
(T54) Zdokonalení vzdálené diagnostiky a zajištění bezpečnosti při provádění testů na dálku	Téma aktualizováno podle připomínek expertů
(T55) Jednoduchá a bezpečná obsluha obráběcích strojů	Téma aktualizováno podle připomínek expertů
(T56) Koncepte Plug-and-Produce	Téma aktualizováno podle připomínek expertů
(T57) Inteligentní obráběcí stroje	Téma aktualizováno podle připomínek expertů Integrováno T39, T45, T50, T51 Integrováno nové téma Samooptimalizační výrobní systémy
(T58) Benchmarking a analýza technicko-užitných vlastností strojů	Nové téma - doplněno do části 2.5 Spolehlivost a bezpečnost
(T59) Inteligentní příslušenství strojů	Nové téma - doplněno do části 3.4 Samostatnost a jednoduchost
(T60) Roboty ve výrobní technice	Nové téma - doplněno do části 2.6 Automatizace a bezobslužnost
(T61) BigData a AI pro zlepšení spolehlivosti výrobních strojů	Nové téma - doplněno do části 3.4 Samostatnost a jednoduchost
(T62) Technický a funkční design strojů (vč. ergonomie)	Nové téma - doplněno do části 2.1 Koncepte strojů a pohonů
(T63) Metody využití dat pro zlepšení užitných vlastností výrobních strojů a procesů	Nové téma - doplněno do části 3.1 Řízení a mechatronika
(T64) Digitální dvojče procesu, stroje a systému	Nové téma - doplněno do části 2.3 Matematické modely strojů a jejich verifikace
(T65) Integrace a komunikace strojů s vyššími výrobními celky	Nové téma - doplněno do části 2.6 Automatizace a bezobslužnost
(T66) Netradiční funkce řídicích systémů	Nové téma - doplněno do části 3.1 Řízení a mechatronika
(T67) Spolehlivost funkce řezných nástrojů	Nové téma - doplněno do části 1.1 Řezné nástroje
Samooptimalizační výrobní systémy	Nové téma - zaintegrováno do do T57

Níže uvedená tabulka shrnuje provedené úpravy IAP v rámci jeho aktualizace v oblasti tvářecích strojů a tváření.

Téma IAP	Stav	Nové označení
1.1 Řešení specifík při projektech a konstrukci velkých kovacích hydraulických lisů pro volné kování o silách 100-200 MN	Téma aktualizováno podle připomínek expertů	(T131)
1.2 Řešení pohonů velkých kovacích lisů o pracovní síle 100-200 MN – uspořádání pohonů, typy pohonů	Téma aktualizováno podle připomínek expertů	(T132)
1.3 Vývoj výsuvného otočného stolu pro otáčení výkovků (pop-up table) pro hmotnosti 200-300 tun	Téma aktualizováno podle připomínek expertů	(T133)
1.4 Ovládací systémy, (hydraulické a elektrické) pro ovládání a řízení procesu kování velkých kovacích lisů o síle 100-200 MN	Téma aktualizováno podle připomínek expertů	(T134)
1.5 Programové kování pro kovací celky o silách 100-200 MN	Téma aktualizováno podle připomínek expertů	(T135)
1.6 Zmenšování energetické náročnosti hydraulických lisů	Téma aktualizováno podle připomínek expertů	(T136)
1.7 Konstrukční řešení nových a zlepšování technických parametrů stávajících velkých mechanických lisů	Téma aktualizováno podle připomínek expertů	(T137)
1.8 Zmenšování energetické náročnosti mechanických lisů	Téma aktualizováno podle připomínek expertů	(T138)
1.9 VaV pohonů mechanických lisů	Nové téma	(T139)
2.1 Řešení problematiky dělení materiálu stříháním	Téma neaktualizováno	(T140)
3.1 Řešení problematiky strojů na zhutňování materiálů – paketovací lisy	Téma aktualizováno podle připomínek expertů	(T141)
3.2 Řešení problematiky strojů na zhutňování materiálů – briketovací lisy	Téma aktualizováno podle připomínek expertů	(T142)
4.1 Zvyšování užitečných vlastností kalandrovacích výrobních linek	Téma aktualizováno podle připomínek expertů	(T143)
4.2 Výkonná a přesná výroba plastových fólií kombinovaným vytlačováním a válcováním (technologie roller-head)	Téma aktualizováno podle připomínek expertů	(T144)
5.1 Studium možnosti využití nekonvenčních materiálů v konstrukci tvářecích strojů	Téma neaktualizováno	(T145)
5.2 Stojany lisů z ocelí o vyšší pevnosti	Téma neaktualizováno	(T146)
6.1 Virtuální modely nosných dílů tvářecích strojů se zaměřením na okrajové podmínky výpočtu	Téma neaktualizováno	(T147)
6.2 Virtuální modely pohyblivých dílů tvářecích strojů se zaměřením na okrajové podmínky výpočtu	Téma neaktualizováno	(T148)

Zařízení pro akumulaci energií	Téma aktualizováno podle připomínek expertů	(T149)
Stroje a zařízení pro kusovou nebo malosériovou výrobu	Ponecháno jako potenciální do budoucna	
Unikátní stroje a zařízení nové generace s využitím moderních špičkových komponent	Ponecháno jako potenciální do budoucna	
Stroje a zařízení pro realizaci nových technologií, stroje a zařízení pro nové technologie spojování materiálů a součástí	Ponecháno jako potenciální do budoucna	
Stroje a zařízení pro využití recyklovatelných složek odpadu	Ponecháno jako potenciální do budoucna	
Zařízení pro separaci a recyklaci odpadů	Ponecháno jako potenciální do budoucna	
Stroje a zařízení pro nakládání s odpady rostlinného a živočišného původu	Ponecháno jako potenciální do budoucna	
Stroje a zařízení pro realizaci nových technologií	Ponecháno jako potenciální do budoucna	
Stroje a zařízení s mezioborovým využitím	Téma bylo zrušeno	
Multitechnologické výrobní stroje a zařízení	Téma bylo zrušeno	
Licí stroje pro odlévání kompozitních materiálů a pro odlévání novými technologiemi (Thixocasting – nová licí technologie a Squeeze Casting – tuhnutí pod tlakem)	Téma bylo zrušeno	
Stroje a zařízení pro zabezpečení kvality životního prostředí	Téma bylo zrušeno	
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	Téma bylo zrušeno	
1. Výzkum a vývoj nových postupů pro simulace v plošném tváření	Téma aktualizováno podle připomínek expertů	(T150)
2. Výzkum a vývoj zvyšování přidané hodnoty zápusťkových výkolků	Téma aktualizováno podle připomínek expertů	(T151)
3. Výzkum a vývoj metod přesného kování	Téma aktualizováno podle připomínek expertů	(T152)
4. Výzkum a vývoj metod hodnocení tvářitelnosti kovových materiálů v plošném tváření	Téma neaktualizováno	(T153)
5. Výzkum a vývoj dutinového kování polotovarů z neželezných kovů	Téma aktualizováno podle připomínek expertů	(T154)
6. Tváření za poloohřevu	Téma aktualizováno podle připomínek expertů	(T155)
7. Příčné klínové válcování	Téma neaktualizováno	(T156)
8. Výzkum a vývoj metod zvyšování životnosti tvářecích nástrojů	Téma aktualizováno podle připomínek expertů	(T157)

9. Výzkum a vývoj nových konstrukčních a materiálových koncepcí pro tvářecí nástroje	Téma aktualizováno podle připomínek expertů	(T158)
10. Výzkum a vývoj tváření těžkotvařitelných slitin titanu, niklu, hořčíku a wolframu	Téma neaktualizováno	(T159)
11. Řízené Termomechanické zpracování kovových materiálů	Téma neaktualizováno	(T160)
Výzkum a vývoj procesů tváření za snížených teplot	Ponecháno jako potenciální do budoucna	
Výzkum a vývoj použití keramiky ve tváření	Ponecháno jako potenciální do budoucna	
Výzkum tvářitelnosti, odpružení a kvality při tváření součástek z pevných a ultra pevných ocelí	Ponecháno jako potenciální do budoucna	
Výzkum a vývoj kování turbinových lopatek	Ponecháno jako potenciální do budoucna	
Bezvýronkové kování	Ponecháno jako potenciální do budoucna	
Vývoj a výzkum metod lisování nepevnými nástroji	Ponecháno jako potenciální do budoucna	
Zvyšování životnosti tvářecích nástrojů pro tváření za studena i tepla	Ponecháno jako potenciální do budoucna	
Výzkum a vývoj hybridních technologií	Téma bylo zrušeno	
Výzkum a vývoj kování z PM polotovarů	Téma bylo zrušeno	
Výzkum a vývoj metod tváření kompozitních materiálů	Téma bylo zrušeno	

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

- U01 Zvyšování a zajištění přesnosti
- U02 Zvyšování spolehlivosti
- U03 Zvyšování hospodárnosti
- U04 Zvyšování výrobního výkonu
- U07 Zvyšování jakosti dosahovaných povrchů
- Zdokonalování řezných materiálů a povlaků a jejich výroby se zahrnutím makro- i mikrogeometrie geometrie bříty, a to včetně utvařečů třísek. Zdokonalování postprocesních metod zpracování a testování řezivosti (A-zdokonalené řezné nástroje-2)



Komentář k aktualizaci

- Téma zaměřené na způsob provedení řezné hrany, nejbližší navazující části nástroje (tvar hřbetu a čela vč. utvařečů třísky), způsob jejich výroby a povlakování. Téma je v oblasti technologie obrábění klíčové. Volba vhodného řezného materiálu, tvar a kvalita provedení geometrie bříty výrazně ovlivňuje výslednou produktivitu, kvalitu a hospodárnost obrábění. Nejde jen o hledisko životnosti nástrojů, ale o soubor vlastností, ke kterým patří i vhodnost utváření třísek, minimalizace silového zatížení, odolnost proti silovému zatížení a teplotám. Současně s vývojem nových řezných materiálů je třeba řešit i metodiku pro jejich testování a stanovování optimálního způsobu jejich využití.

Stručný popis stavu problematiky ve světě

- Problematika řezných materiálů sice neoddiskutovatelně úzce souvisí s konstrukcí řezných nástrojů (především pak s volbou vhodné geometrie bříty), je to však natolik složitá a široká problematika, že si vyžaduje řešení v rámci samostatného výzkumného úkolu.
- Je známo, že přibližně 70 % výkonu řezného nástroje je dáno materiálem jeho bříty. Vývoj a zdokonalování řezných materiálů a povlaků se však nevztahuje jen k samotnému chemickému složení materiálů a povlaků, přestože je to pro dosažení optimálních vlastností bříty 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, cermyty, řezná keramika, kubický nitrid boru a diamant) stále mění. V současné době se těžiště aplikace řezných materiálů soustředilo především do oblasti povlakovaných slinutých karbidů a dále do supertvrdých řezných materiálů. [Humár, A.: Materiály pro řezné nástroje]. Je přitom předpoklad, že spotřeba supertvrdých materiálů (kubický nitrid boru a diamant v různých podobách) bude nadále růst, a to na úkor ostatních řezných materiálů. Budoucí vývoj nástrojů dle uvedené literatury spočívá především v současné zvyšování dvou nejdůležitějších vlastností řezných materiálů: tvrdosti (možnost zvyšování řezné rychlosti) a houževnatosti (možnost zvyšování posuvu). Vývoj řezných materiálů tak směřuje do optimalizace vlastností rychlořezných ocelí

vyrobených práškovou metalurgií, slinutých karbidů s gradientní strukturou, vlákny vyztužené řezné keramiky, PKNB materiálu se sníženým obsahem pojiva nebo chemicky vytvořené diamantové vrstvy (CVD) s tvrdostí na úrovni přírodního diamantu.

- Situace v oblasti vývoje povlaků pro řezné nástroje je zaměřena na stále větší specializaci jednotlivých povlaků pro konkrétní aplikace. Z tohoto důvodu je stále rozšiřováno spektrum nabízených povlaků o zcela nové nebo modifikované stávající povlaky. Povlaky jsou vyvíjeny směrem k vyšší tepelné a mechanické únosnosti, tvrdosti, adhezi k podkladovému materiálu a zlepšeným třecím vlastnostem. K nejnovějším modifikacím a typům povlaků patří především multivrstvé, nanokompozitní, gradientní, inteligentní, supermřížkové povlaky a povlaky s řízenou orientací struktury. Konkrétním vyvinutým řešením pak jsou povlaky na bázi diamantu, nebo povlaky z kubického nitridu boru.
- Řezivost nástroje je určena také specifickými úpravami břitu nástroje před a po nanesení povlaku. Je prokázáno, že vhodně zvolené způsoby úpravy břitu jako je omílání, tryskání, broušení, kartáčování, honování, laser aj. mohou vest k několika násobnému zvýšení životnosti břitu v řezu u různých (i těžkoobrobitelných) materiálů. To bylo například 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 defekty po broušení a realizaci povlaku. Jsou měněna tahová napětí na tlaková, čímž je zvyšována únosnost a životnost řezné hrany.
- Jedním z efektivních přístupů, jak ovlivnit řezivost nástroje v souvislosti s řezným materiálem, povlakem a úpravami mikrogeometrie břitu, je využití laserové technologie. Laser lze využít jak pro výrobu, tak i pro modifikaci řezného materiálu a povlaku. Laser má využití v souvislosti s ovlivněním řezného materiálu jeho přetavením, tvorbou makro- a mikrogeometrie břitu u supertvrdých materiálů, řezné keramiky a slinutého karbidu. Laserem lze konkrétně vytvářet specifické optimalizované utvařeče nebo geometricky definované struktury na povrchu substrátu nebo povlaku. Potenciál využití laseru je také v oblasti odstraňování povlaků při renovaci řezných nástrojů.
- 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. 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. DormerPramet, s.r.o., Hofmeister, s.r.o., Rotana, a.s.) a povlaků (např. SHM, s.r.o., AdvMat, s.r.o.). Na výzkumu a vývoji však s uvedenými podniky spolupracuje také RCMT ČVUT v Praze.

Cíle a praktické výstupy pro obor/průmysl

- Výzkum a vývoj řezných materiálů a povlaků s lepšími vlastnostmi a celkovou funkčností pro možnost dosahování vyšších řezných podmínek při obrábění, delší životnosti břitu, větší jakosti obrobku, obrábění s nižší energetickou náročností procesu a obrábění bez užití procesních kapalin. Vyvinuté 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, kvalitou 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. RCMT 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, využití laserových technologií a nositel know-how v oblasti obrábění těžkoobrobitelných materiálů.
- 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

- RCMT; chemicko-technologická výzkumná pracoviště (např. VŠCHT); výrobci řezných nástrojů; výrobci ochranných povlaků; Ústav materiálového inženýrství ČVUT v Praze (FS); příslušné útvary AVČR; technické univerzity v ČR.

1.1.2. (T02) Konstrukce řezných nástrojů

Navrhovatel

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

Vazba tématu na SVA

- U01 Zvyšování a zajištění přesnosti
- U02 Zvyšování spolehlivosti
- U03 Zvyšování hospodárnosti
- U04 Zvyšování výrobního výkonu
- U07 Zvyšování jakosti dosahovaných povrchů
- Zdokonalování hlavní geometrie břitu včetně utvařečů třísek. Zvýšení stability řezu, nižší silové a tepelné zatížení řezných nástrojů, zvýšení kvality obrobeného povrchu a prodloužení trvanlivosti břitu. (*A-Zdokonalené řezné nástroje-2*)
- Zdokonalení upnutí nástrojů i břitových destiček. Zdokonalení nástrojových upínačů a upínacích rozhraní. Zdokonalení chlazení. (*A-Zdokonalené řezné nástroje-2*)
- Simulace funkce nástroje ve fázi jeho návrhu, (*A-Zdokonalené řezné nástroje-2*)



Komentář k aktualizaci

- Téma zaměřené na optimalizaci celkové (pracovní) geometrie nástrojů, tvaru, rozměrů a celkového provedení břitu a celého nástroje – vč. výsledné geometrie břitu nástroje (nepravidelná poloha VBD, proměnlivé stoupání šroubovice atd.). Dále se zaměřením na tělesa nástroje a jejich rozhraní se strojem a na moderní řešení jak pro vysoké řezné rychlosti, vysoké úběry materiálu nebo operace s dalšími kritickými podmínkami (např. stabilita obrábění u vyložených nástrojů). Jelikož je nástrojová sestava jako celek součástí nosného řetězce přenášejícího řezné síly v soustavě stroj-nástroj-obrobek, je téma doplněno také o simulace vlivu nástroje na strukturální chování celé obráběcí soustavy.

Stručný popis stavu problematiky ve světě

- Neustálá potřeba zvyšování objemu produkce, kvality 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 (makro- i mikrogeometrie), způsob upnutí vyměnitelných břitových destiček, velikost zubové mezery, konstrukce tělesa nástroje nebo upínače, způsob přívodu chladicího média, upínací rozhraní, atd. V řadě výzkumných prací bylo prokázáno, že všechny tyto aspekty mají vliv jak na kvalitu obrobeného povrchu, trvanlivost břitu nástroje, dále 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 Hochgeschwindigkeitbearbeitung].
- 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 bříty nástrojů. Nákladné a zdlouhavé experimentální testování nově navržených nástrojů lze posléze minimalizovat volbou nejhodnějších 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 současné době je hlavním cílem zvyšování přesnosti vyrobené geometrie a dosažení nejlepších vlastností obrobené povrchové vrstvy rázů [Borovan, Malý, Mašek: Nástroje a nástrojové soustavy. Seminář SpOS Obráběcí stroje a technologie na EMO 2017 Hannover].

- 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 bříty). 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 řeznými silami (viz T04). Spolehlivá predikce chování nástroje při zatížení řezným procesem umožní rychlý a efektivní vývoj nástroje podle daných požadavků pro definovanou operaci. Takový 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.

Současný způsob řešení problematiky v ČR

- Téma je řešeno především v rámci interních vývojových projektů českých výrobců nástrojů (např. DormerPramet, s.r.o., Hofmeister, s.r.o., Rotana, a.s.). Při experimentech a v některých případech i při simulacích chování participuje také RCMT ČVUT v Praze.

Cíle a praktické výstupy pro obor/průmysl

- Vyvinutá metodika pro optimalizaci nástroje z hlediska jeho konstrukce, geometrie bříty a upnutí. Řešit uplatnění nových a původních konstrukčních prvků u různých typů řezných nástrojů. Vyvinout a sestavit 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, využití při vyšších pracovních otáčkách 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 obrobkách 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 nástroje podle daných požadavků na jeho využití. Snižování nákladů na vývoj nástroje. Zrychlení vývoje.
- Výběr vhodného nástroje pro konkrétní stroj a obrábění. Snižování nákladů na ladění technologie. Zrychlení 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 různých sestaveních.
- Vývoj matematického modelu nástroje a řezného procesu. Experimentální identifikace dynamické poddajnosti nástroje a řezných sil. Verifikace matematického modelu experimentem.
- Parametrizace experimentálně verifikovaného matematického modelu. Využití optimalizačních metod pro optimalizaci nástroje podle daných požadavků.
- Výběr nástroje pro konkrétní stroj a technologii využije připravený matematický model nástroje a řezu a propojí ho s virtuálním modelem stroje. Pak lze pro daný proces nalézt nejvhodnější nástroj z dané množiny.
- 3 lidé z RCMT; 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

- RCMT; 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.

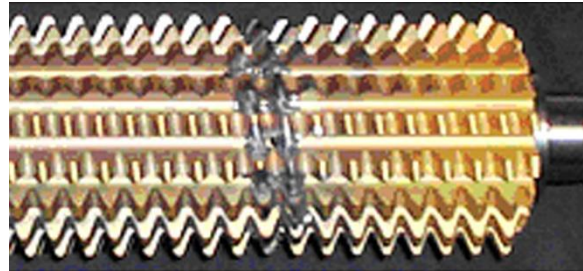
1.1.3. (T67) Spolehlivost funkce řezných nástrojů

Navrhovatel

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

Vazba tématu na SVA

- U02 Zvyšování spolehlivosti
- U03 Zvyšování hospodárnosti
- U04 Zvyšování výrobního výkonu)



Komentář k aktualizaci

- Nově vytvořené téma s ohledem na rostoucí významnost spolehlivosti procesů a z toho plynoucího požadavku na spolehlivost funkce řezných nástrojů.

Stručný popis stavu problematiky ve světě

- Řezný nástroj je klíčovým prvkem obráběcího systému. Výsledky obrábění ve smyslu kvality, produktivity a hospodárnosti procesu jsou do velké míry ovlivněny vlastnostmi a chováním řezného nástroje při tvorbě třísky. Během tohoto procesu se objevují jevy, které mohou být kritické pro zajištění opakovatelné a spolehlivé automatizované výroby obráběním. Působení vysokých teplot a tlaků vede na vznik různých mechanismů opotřebení a to ve spojení s doprovodnými efekty jako je například adheze materiálu obrobku k břitu nástroje nebo celkové porušení břitu. Spolehlivá funkce nástroje po celou dobu jeho životnosti, ale i opakovatelná funkčnost stejných nástrojů tak je klíčovým aspektem možnosti automatizace a bezobslužnosti obráběcích procesů.
- Přístupů pro zajištění nebo zlepšení spolehlivosti řezných nástrojů v procesu je několik. Prvním přístupem je získávání znalosti chování nástroje z praktických testů obráběním a přenesení této znalosti na konkrétní proces, a to včetně optimalizace volby nástroje a pracovních podmínek (řezné podmínky, chlazení procesu, upnutí obrobku, atp.) pro zajištění vhodných a opakovatelných podmínek na úrovni celého procesu. Optimalizace volby nástroje a pracovních podmínek je spojena s poznáním na základě nabytí předchozích znalostí. Spolu s vývojem výrobních strojů, řezných nástrojů a použitím nových konstrukčních materiálů je nezbytné realizovat výzkum podmínek vedoucích ke spolehlivému procesu. Výzkum může být také podpořen simulačními přístupy pro predikci stavu procesu obrábění i samotného nástroje.
- Jedním z dalších přístupů je monitoring stavu procesu a nástroje, a to na základě vhodné zvolené měřicí techniky, vyhodnocovacích algoritmů a nastavení limitů. Dnes jsou ve světě využívány prostředky pro monitorování stavu procesu (i nástroje) především v podobě snímačů síly, momentu, vibrací a výkonu – viz např. [Zeman a kol.: Technologie obrábění a aplikace. Seminář SpOS Obráběcí stroje a technologie na EMO 2017 Hannover]. Jedná se o nepřímý způsob zajištění spolehlivosti nástroje, tedy prostřednictvím monitorování procesu pro možnost jeho následného přerušení nebo adaptivní změny podmínek, za kterých probíhá. I v tomto případě je třeba získat znalosti jakou měřicí techniku zvolit, jakým způsobem vyhodnocovat a analyzovat nasbíraná data. Výzkum a vývoj techniky pro online monitoring stavu procesu a nástroje je jedním z důležitých témat předních vědeckých týmů.
- Jednou z možností, jak zajišťovat a řídit spolehlivost funkce nástroje v průběhu obrábění je také metoda tzv. limitované trvanlivosti břitu. Jedná se o přístup, kdy je nástroj využit jen v části své maximální možné trvanlivosti, a to právě z důvodu zajištění spolehlivosti jeho

funkce. Využití nástroje je proto jen po dobu, kdy lze tuto spolehlivost zaručit s vysokou pravděpodobností. Tento přístup sice vede na nevhodné využití potenciálu řezných nástrojů, nicméně v konečném důsledku lze celkové výrobní náklady snížit, jelikož předcházíme problémům s možným výskytem nejakosti dílce. Tento přístup má své využití především v automatizovaných provozech, sériové a hromadné výrobě anebo při opakované výrobě drahých dílců. V souvislosti s tímto přístupem je realizován vývoj prostředků pro sledování a uchování informace o času využití nástroje v řezu – např. prostřednictvím RFID čipů. V případě, že bude možné lépe využívat (větší část) disponibilní trvanlivost břitů nástroje, bude možné dále snižovat výrobní náklady nebo zvyšovat produktivitu obrábění. Právě směrem možnosti predikce chování řezného nástroje s ohledem na jeho trvanlivost a celkovou životnost by měl být veden další výzkum.

Současný způsob řešení problematiky v ČR

- Téma je řešeno především v rámci běžících dotačních a interních projektů pracovišť technických univerzit v ČR – ČVUT v Praze (FS, RCMT), ZČU v Plzni (RTI) nebo VUT Brno. Dílčí řešení jsou realizována ve spolupráci univerzit s výrobcí obráběcích strojů (např. TOSHULIN) nebo nástrojů (např. DormerPramet, s.r.o.).

Cíle a praktické výstupy pro obor/průmysl

- Metodika testování nástrojů pro efektivní a rychlé hodnocení jejich vlastností ve vztahu ke spolehlivosti funkce při obrábění s přenositelností na reálné aplikace. Využití znalostí pro vývoj a zajištění spolehlivosti procesů a výrobních strojů. Vyvinuté konkrétní postupy v oblasti optimalizace obráběcího procesu s dopady na zvýšení spolehlivosti funkce nástroje. Simulační modely predikce chování a stavu nástroje v průběhu obrábění.
- Vyvinuté techniky a systémy pro monitorování a adaptivní řízení obráběcího procesu. Vytvořená znalostní databáze údajů popisujících vztah mezi monitorovanou veličinou a změnou chování nástroje a jeho funkčnosti.
- Vyvinuté metody a techniky pro sledování a uchování informace o celkové době nástroje v řezu. Metodika pro lepší využití a hodnocení využití potenciálu řezného nástroje.

Vlastní odborné zhodnocení přínosu tématu pro obor a průmysl v ČR

- Zvýšená spolehlivost funkce řezných nástrojů v řezu je jedním z důležitých faktorů výrazně ovlivňujících produktivitu, hospodárnost jakost obrábění. Spolehlivost nástroje zásadně ovlivňuje spolehlivost celého procesu. Obecně je obrábění ovlivněno mnoha různými vlivy, které se mohou navíc v reálném krátkém čase bez jednoduše identifikovatelného vnějšího podnětu měnit. I vliv zdánlivě nevýznamného faktoru může mít zásadní vliv na výraznou změnu výsledků obrábění. Z tohoto důvodu je nezbytné usilovat o co nejhlubší znalost procesu a vazeb mezi jednotlivými vlivy a výsledky procesu pro možnost dosažení a řízení jeho spolehlivosti.
- Praktická znalost a možnost predikce vlastností nástroje z hlediska využití jeho potenciálu pro nastavení a dodržení spolehlivosti funkce v procesu je směr, jak dále zvyšovat efektivitu výrobních procesů a využití a stupeň automatizace výrobních systémů.
- Důležitým stavebním prvkem je výzkum a vývoj experimentálních metod, monitorovacích technik (hw+sw) a způsobů adaptivního řízení procesu, a to vč. poznání vazby mezi sledovanou veličinou a stavem nástroje vedoucím k jeho spolehlivosti.

Způsob dosažení cílů

- Sledování výzkumných a vývojových trendů v oblasti, definice problémů a možností zdokonalování stávajících přístupů, metodik, monitorovacích technik a způsobů adaptivního řízení.

- Vývoj nových metodik pro efektivní poznání a získání a uchování znalosti vazeb mezi nastavením procesu prostřednictvím pracovních podmínek a funkcionalitou a spolehlivostí nástroje, a to na základě testování nástrojů.
- Vývoj simulačních technik pro možnost predikce spolehlivosti funkčnosti nástroje.

Doporučený řešitel

- ČVUT v Praze (FS, RCMT) a případně další pracoviště technických univerzi zabývající se technologií obrábění a vývojem a použitím měřicí techniky; výrobci obráběcích strojů a rezných nástrojů.

1.2. Řezný proces

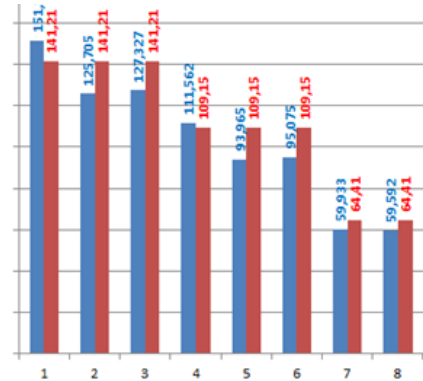
1.2.1. (T03) Optimalizace procesu obrábění

Navrhovatel

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

Vazba tématu na SVA

- U01 Zvyšování a zajištění přesnosti
- 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 RCMT 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 vřetení, 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 spolupracujícími podniky

Doporučený řešitel

- RCMT; 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.

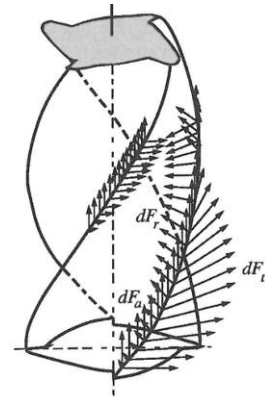
1.2.2. (T04) Modelování a identifikace řezného procesu

Navrhovatel

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

Vazba tématu na SVA

- U01 Zvyšování a zajištění přesnosti
- U02 Zvyšování spolehlivosti
- U03 Zvyšování hospodárnosti
- U04 Zvyšování výrobního výkonu 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. Nově doplněno o subtéma inprocesní identifikace řezného procesu s ohledem na velikost řezných sil.

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 (kompletní geometrie břitu) 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 simulačního modelu vzhledem k reálným hodnotám. To velmi znesnadňuje použití takového modelu ve výzkumu i v praxi. Druhým řešením modelování řezného procesu jsou modely založené na geometrickém charakteru řezného procesu [např. modul sw CutPro, příslušná teorie popsána v publikaci Manufacturing Automation - Prof. Y. Altintas], 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 vliv 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 pro identifikaci řezného procesu 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 s postprocesním vyhodnocením je možné využít i metody a způsoby pro inprocesní identifikaci dat. Zde existuje a je dále vyvíjeno několik různých přístupů. Prvním je využití senzorů instalovaných na obráběcím stroji pro snímání a monitorování silového zatížení, vibrací, teplot nebo akustické emise. Měřený signál je následně zpracováván a vyhodnocen i pro možnost využití v podobě vstupů do modelů řezného procesu. Vyvíjeny jsou i bezdrátové technologie přenosu signálu pro jeho přenos z rotujících částí obráběcího systému. Potenciál se v této oblasti nachází také v souvislosti s využitím laserových technologií. Laser umožňuje například velmi přesné měření rozměrů, odchylek a polohy nebo také drsnosti povrchu obrobenej 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 přístupem v oblasti vývoje a zdokonalování experimentálních technik inprocesní analýzy obráběcího procesu jsou tzv. inteligentní řezné 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; Vyrvtávací tyče osazené akcelerometry firmy Sandvik Coromant], u kterých lze na základě měření a vyhodnocování různých fyzikálních veličin (akustická emise, vibrace, teplota, el. odpor, silové zatížení) nepřímo sledovat stav procesu a břitu nástroje přímo při obrábění. V souvislosti s pokračujícím vývojem těchto řešení a měřicích principů je třeba realizovat také výzkum zaměřený na správnou interpretaci sledovaných veličin a jejich vazby k dějům odehrávajícím se při obrábění.
- 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 střížné 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 ekonomicky vyváženého procesu výroby.
- Možnost integrace měřicích prvků a celých zařízení nové generace (např. vysoce citlivé, spolehlivé, bezkontaktní) přímo do obráběcího stroje a řezného nástroje včetně strojně řízené realizace příslušných měřicích 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 vlivu pracovních podmínek na monitorované parametry by měly být využitelné pro zvýšení produktivity při obrábění, zabránění vzniku nepříznivých a nežádoucích stavů, které mohou vést k přetížení nástroje a jeho destrukci, či poškození obráběného povrchu součásti. Údaj lze využít i pro optimalizaci procesu, kdy je možno sestavit propojený komplexní model nástroje, stroje, obrobku a procesu.
- Komplexní propojený matematický model nástroje, stroje, obrobku 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 využít metod identifikace nelineárních systému. Matematický model procesu může být postaven 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 měřicích technik a implementace potřebných 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

- RCMT; 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

- U01 Zvyšování a zajištění přesnosti
- U03 Zvyšování hospodárnosti
- U04 Zvyšování výrobního výkonu
- ..., 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

- V souvislosti s efektivními obráběcími procesy je třeba řešit také otázky spojené s volbou vhodného řezného prostředí - konkrétně jaký typ a o jakém objemu, směru, tlaku a teplotě je pro danou výrobní operaci vhodné. Inovace tohoto bodu proběhla i s ohledem na Ecodesign obráběcích strojů, kdy jsou periférie 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. S rostoucími požadavky na zvyšování řezných podmínek rostou požadavky i na efektivnější mazání, chlazení a čištění místa řezu. Jedním z přístupů je využití procesních kapalin o vysokém tlaku (i více 160 MPa) a i objemu. V souvislosti s tímto nárokem vystupuje do popředí zájmu i energetická efektivita zařízení pro přípravu a dodávání tlakové kapaliny. Energetická náročnost těchto zařízení může vést až k dominantnímu podílu jejich spotřeby na energetické náročnosti celého výrobního stroje. Právě z tohoto důvodu je třeba klást důraz na analýzu dopadů použitého řezného prostředí pro Ecodesign obráběcích strojů.
- 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 třeba 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 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 zaměřený projekt. Téma je však zohledněno v aktivitách WP2 a WP05 projektu CK SVT a v projektu DMS-SVTPS, vždy 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. Využít nástroje, řezné podmínky a strategie 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, zlepšení procesu utváření třísky, 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 zpřísnovat 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. CO₂, LN₂ + 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 (RCMT, ostatní pracoviště) + 2 lidé ze spolupracujících podniků

Doporučený řešitel

- RCMT; 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

- U01 Zvyšování a zajištění přesnosti
- U03 Zvyšování hospodárnosti
- U04 Zvyšování výrobního výkonu
- U05 Zvyšování využitelnosti strojů
- 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 moderních konstrukčních celcích. Problematika je orientována jak na klasický proces třískového obrábění, tak na hybridní procesy (třískové obrábění s podporou laseru a kombinace fyzikálních principů).

Stručný popis stavu problematiky ve světě

- Produktivita a celková efektivita obrábění při dosažení požadované jakosti dílce jsou dlouhodobě hlavními požadaky na výrobu. Vývoj v oblasti řezných nástrojů a povlaků, ale také obráběcích strojů, obráběcích strategií a nekonvenčních způsobů chlazení procesu umožňuje další zvyšování řezných podmínek a tím i produktivity obrábění. V současnosti zaznamenáváme trendy ve zvyšování úběru materiálu jednak v oblasti zvyšování řezných rychlostí – HSC (High-Speed Cutting, vysokorychlostní obrábění), a ve zvyšování pracovních posuvů – HFC (High-Feed Cutting, vysokoposuvové obrábění) nebo ve zvyšování objemu odebraného materiálu za čas – HPC (High-Performance Cutting). Všechny tyto přístupy směřují ke zkrácení času výroby dílce, a to při obrobení větší plochy nebo odebrání většího objemu materiálu jedním břitem nástroje. U dokončovacích operací je přitom klíčové zachování nebo případně další zlepšení kvality dílce. Uvedené metody jsou uplatňovány jak při obrábění nástroji s definovanou geometrií břitu, tak například 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].
- Dosažení vysoké produktivity a efektivy obrábění dnes není až tak velkým problémem při obrábění běžných oceli, hliníkových slitin nebo mědi – tedy materiálů s relativně dobrou obrobitelností. Jako konstrukční materiály jsou však ve stále větší míře používány ty, které mají obrobitelnost špatnou nebo velmi specifickou – superslitiny (niklové, kobaltové), titanové slitiny, korozivzdorné oceli, kalené oceli, kompozitní materiály (sendvičové, polymerní s vláknovou výztuží), ale i další. U takových materiálů je nastavení vhodných pracovních podmínek naprosto klíčovým faktorem, který rozhoduje o tom, zda bude obrábění kvalitní a efektivní. Vhodné pracovní podmínky pro tyto materiály navíc leží ve velmi úzké oblasti. V porovnání s obráběním materiálů s dobrou obrobitelností je navíc třeba volit výrazně odlišné přístupy pro obrobení - je třeba volit specifické strategie, nástroje a

způsoby chlazení řezného procesu, používat nižší řezné rychlosti, nižší pracovní posuvy i hloubky řezu. Právě tato oblast je předmětem intenzivního výzkumu předních vědeckých týmů, ale také u předních světových výrobců obráběcích strojů a řezných nástrojů (viz mezinárodní veletrh EMO 2017).

- Vzhledem ke zhoršené obrobiteľnosti zmíněných materiálů řeznými nástroji se naskytá také možnost obrábět tyto materiály speciálními technologiemi. Jak ukazují poznatky z poslední světové výstavy EMO 2017 je vhodnější některé výrobky realizovat např. laserem, plazmou, vodním paprskem nebo realizovat tzv. ultrasonické 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 těžkoobrobiteľných 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 obrobiteľností, 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 těžkoobrobiteľných 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 těžkoobrobiteľných a nekonvenčních materiálech. Znalosti možností obrábění těžkoobrobiteľných 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 těžkoobrobiteľných 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 bříty, broušením a laserem.
- Specifikace možností kombinace třískového a laserového obrábění těžkoobrobitelných materiálů. Experimentálně-simulační testování s cílem zvýšení produktivity obrábění a vyšší kvality obrobeneho 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

- RCMT; 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

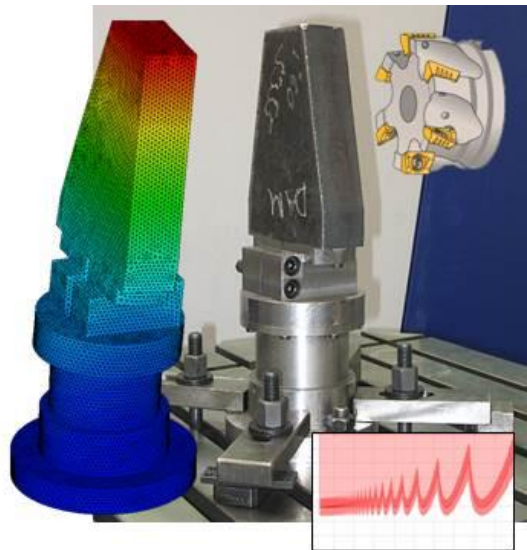
- Ing. Petr Kolář, Ph.D. a kol. (ČVUT v Praze)

Vazba tématu na SVA

- U03 Zvyšování hospodárnosti
- U04 Zvyšování výrobního výkonu
- U05 Zvyšování využitelnosti strojů
- U07 Zvyšování jakosti dosahovaných povrchů
- U10 Zvyšování inteligence strojů

Komentář k aktualizaci

- Téma matematických modelů pro simulaci obrábění je detailně popsáno v T29. Jedná se však o modely komplexní a časově náročné pro výpočet. 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, včetně, 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 záležitostí 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 krytíváním) a dále fyzikální realizovatelností měření (na pohybujičím se stroji s rotujícími částmi nelze mnoho běžných metod použít) [zkušenosti pracovníků Zkušební laboratoře RCMT]. 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 vztupných 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 využití 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 případě.
- 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. al: 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 do roku 2019 řešeno především v rámci WP1 projektu CKSVT, který řeší ČVUT v Praze s oborovými firmami. Od roku 2020 je téma obsaženo ve Výzkumném záměru 4 Produktivní výroba v projektu DMS SVTPS, kde opět probíhá spolupráce firem a univerzit v této oblasti.

Cíle a praktické výstupy pro obor/průmysl

- Vývoj jednoduchého modelu (digitálního dvojčete) 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 včetně, tak aby stroj mohl co nejlépe splňovat potřeby ideálního řezného procesu pro příslušné operace.

- Příprava a modifikace 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).
- Sjednocující 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 (viz T10). Výsledkem by měla 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

- RCMT; výrobci strojů nabízející zákazníkům odladěné technologie

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

Navrhovatel

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

Vazba tématu na SVA

- U01 Zvyšování a zajištění přesnosti
- U03 Zvyšování hospodárnosti
- U04 Zvyšování výrobního výkonu
- U05 Zvyšování využitelnosti strojů
- U07 Zvyšování jakosti dosahovaných povrchů
- U10 Zvyšování inteligence strojů



Komentář k aktualizaci

- Téma je zaměřené na diagnostické metody při analýze a ladění řezného procesu, které jsou realizovány většinou zkušenými specialisty. Byl proveden update o automatické postupy.
- Automatický monitoring stroje a procesu byl součástí T50. Téma T50 bylo zrušeno zaintegrováním do tématu (T57) Inteligentní obráběcí stroje.
- Stávající podoba tématu T10 tedy zaměřena na zjednodušené, ale snadno použitelné operační postupy v oblasti identifikace dynamických vlastností stroje, nástroje a obrobku.

Stručný popis stavu problematiky ve světě

- Vzájemná interakce prvků soustavy stroj-nástroj-obrobek (vč. upínacího systému) daná jejich dynamickými vlastnostmi může být limitem pro dostatečně produktivní obrábění (zejména 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. Alternativně lze uvažovat nasazení přídavných tlumičů (viz T24). Při předběžné znalosti vlastností stroje, upnutého obrobku a konkrétních nástrojů (např. z předchozích měření nebo ze simulačních modelů) lze při přípravě technologie 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 poměrně dobře popsána. Identifikace modálních parametrů je ovšem prováděna klasickým způsobem, tj. pomocí modálního kladiva nebo 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 identifikace parametru tlumení. Modely pracují jen s více či méně přesně odhadnutými hodnotami. Tlumení během obrábění se může měnit v závislosti na řadě parametrů 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. Lepší pochopení fenoménu tlumení může mít přesah v návrhu tlumených struktur i pasivních tlumicích prvků v oboru obráběcích strojů (blíže viz T24).

Současný způsob řešení problematiky v ČR

- Do roku 2019 jsou tyto metody rozvíjeny částečně v rámci řešení WP4 projektu CK SVT ve spolupráci RCMT ČVUT v Praze a výrobců obráběcích strojů. Od roku 2020 je téma obsaženo ve Výzkumném záměru 4 Produktivní výroba v projektu DMS SVTPS, kde opět probíhá spolupráce firem a univerzit v této oblasti.

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 technik, jejichž výstup může být informací pro obsluhu stroje nebo jiný reakční automatický systém.
- 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. Alternativou je využít informace z levných senzorů jako vstup pro řídicí systém nebo jiné automatické systémy a změnit parametry řezného procesu.
- 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. Ev. by byl proveden automatický zásah na základě matematického modelu (tzv. digitálního dvojčete). V tom případě 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 sensoriky bez nároků na vedení kabeláže konstrukcí stroje. Aplikace bezdotykových čidel umožňuje měření na těžko dostupných místech případně tenkostěnných obrobkách. Další oblastí je použití akustických senzorů pro použití v oblasti identifikace strukturálních parametrů (zvláště tenkostěnných obrobků).
- Testy na technologicky charakteristických obrobkách – 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 i EMO, největší potenciál pro tvorbu přidané hodnoty a zvýšení konkurenčního odstavu od low-cost výrobců je v zákaznické přípravě technologií a perfektní porozumění vlastnímu obráběcímu procesu. 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

- RCMT; výrobci strojů nabízející zákazníkům odladěné technologie; uživatelé výrobních strojů.

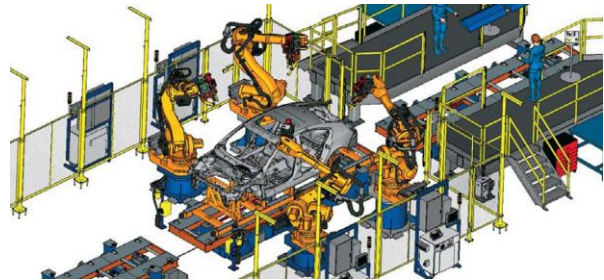
1.3.3. (T104) Simulace výrobních procesů

Navrhovatel

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

Vazba tématu na SVA

- U03 Zvyšování hospodárnosti
- U05 Zvyšování využitelnosti strojů
- U08 Zkracování doby dodání strojů
- U09 Automatizace strojů a výroby
- U11 Snižování negativních dopadů na životní prostředí - Ecodesign
- U12 Zvyšování důvěryhodnosti
- VaV metod pro virtuální zprovoznění strojů a robotizovaných výrobních systémů. Systémy pro monitorování, průběhu výroby, výrobních časů a využití strojů a nástrojů, systémy evidence procesů nad obrobkem.



Komentář k aktualizaci

- Text byl aktualizován s přihlédnutím k výsledkům průzkumu nejperspektivnějších dílčích témat výzkumu a vývoje do roku 2025 a úkolům strategie oboru SVT 2030.

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, virtuální zprovoznění stroje a výrobního systému 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, ProcessSimulate od téže firmy, Simproces od společnosti CACI nebo např. Robot Studio od ABB. Obecně se tyto a další software řadí do skupin CIM (Computer-Integrated Manufacturing) nebo slouží pro simulaci naprogramovaných funkcí stroje nebo výrobní buňky pro jejich virtuální zprovoznění. Na základě výsledků těchto simulací je možné navrhovat zlepšení vedoucí k úsporám (času, energií apod.). Simulace a virtuální zprovoznění je v tomto případě velmi efektivní a finančně málo nákladné řešení v porovnání s metodou pokus – omyl přímo při zavádění nové výroby nebo úprav výrobních plánů.
- Další možností 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. Dále 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 výše zmíněný ProcessSimulate od firmy Siemens. Další 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 VUT v Brně, 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.

Cíle a praktické výstupy pro obor/průmysl

- Vývoj postupů pro efektivní simulaci strojů a výrobních systémů.
- Vývoj postupů pro efektivní virtuální zprovoznění strojů a výrobních systémů.
- Verifikace vyvinutých postupů v laboratorních podmínkách na zkušebních standech.
- Validace verifikovaných postupů na průmyslových aplikacích.
- Zavedení validovaných postupů do průmyslové praxe u výrobců strojů.

Vlastní odborné zhodnocení přínosu tématu pro obor a průmysl v ČR

- Virtuální zprovoznění 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 workshopech uživatelů a výrobců softwarových nástrojů pro simulaci výrobních systémů a zařízení.
- Implementace moderních přístupů průmyslového inženýrství do řešení simulačních modelů.
- Testování vyvíjených postupů na zkušebních standech.
- Realizace parciálních aplikací na strojích nebo výrobních linkách průmyslových partnerů.

Doporučený řešitel

- ÚVSSR, FSI VUT v Brně; RCMT; uživatelé obráběcích strojů s rozsáhlou výrobní základnou

1.4. NC programování

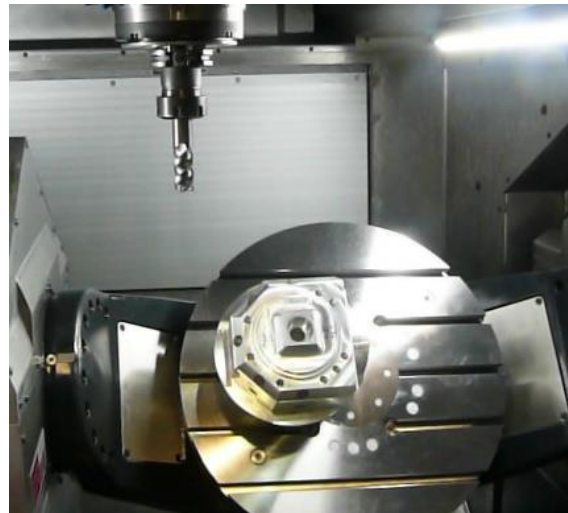
1.4.1. (T11) Metody tvorby postprocesorů pro víceosé a multifunkční NC stroje

Navrhovatel

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

Vazba tématu na SVA

- U01 Zvyšování a zajištění přesnosti
- U03 Zvyšování hospodárnosti
- U04 Zvyšování výrobního výkonu)
- 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 tématu je doplněno specifickými technologickými funkcemi, které mohou být v postprocesorech obsaženy. Z hlediska funkcionality je to významné rozšíření tématu. Dále doplněno o postprocesory pro hybridní stroje a možnosti vizualizace pohybů stroje a celkové funkcionality NC programu jeho odbavením v předvýrobní fázi.

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 stroje pro hybridní technologie představuje náročný úkol; ten může být řešen alternativně pomocí konstruktora (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 konstruktorsků 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.

- Vedle tvorby samotných postprocesorů je důležitá také možnost vizualizace odbavení NC programu v předvýrobní fázi prostřednictvím tzv. kinematického modelu stroje. Vizualizace probíhá na úrovni pohybů stroje a správnosti odbavení konkrétních technologických cyklů a vyloučení případných kolizí mezi nástrojem, strojem, obrobkem a upínacími prvky.
- Důležitou oblastí řešení, ať již samostatně nebo jako součást postprocesoru, je vývoj a použití dílčích softwarových modulů, které vizualizují např. využití efektivního průměru kulového nebo toroidního nástroje, plynulost rozložení posuvové rychlosti podél dráhy nástroje nebo hustotu lineárních úseků. Všechny tyto funkce umožňují zlepšit proces obrábění ještě v předvýrobní fázi a tím uspořit disponibilní čas stroje pro výrobu a také zajistit dosažení požadované kvality povrchu často ve spojení s vyšší produktivitou.
- 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 užité 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&by K.: Inverse kinematics of five-axis machines near singular configurations, (International Journal of Machine Tools & Manufacture)]. Pro kombinaci CAM systému CATIA a řídicího

systemu 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 a v projektu DMS-SVTPS, a to 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 užité 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 užité 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.
- Simulační model stroje a jednotlivé softwarové moduly, jako součást postprocesoru pro možnost dokonalejší vizualizace průběhu a výsledku obrábění v předvýrobní fázi.

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 součástí. 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

- RCMT; 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.).

1.5. Nekonvenční obrábění

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

Navrhovatel

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

Vazba tématu na SVA

- U03 Zvyšování hospodárnosti
- U06 Zvyšování multifunkčnosti, modularity a konfigurovatelnosti strojů

Komentář k aktualizaci

- Téma bylo aktualizováno vzhledem k aktuálnímu stavu techniky.

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 běžných, ušlechtilých i drahých kovů. Na vzestupu jsou hlavně kovové 3D tiskárny, které se využívají hlavně ve formářenském a medicínském průmyslu.



Stručný popis stavu problematiky ve světě

- V ČR nejsou vyvíjeny původní technologie. Neaktivnější jsou hi-tech výrobci komponentů, např. firma Honeywell při aplikaci 3D tisku pro výrobu součástí leteckých motorů. Vývoj je realizován 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 DLMS. (Výběrové spékání 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 sérií odlitků. Přímou vytištěné 3D modely z ABS se zaformují pomocí keramické břechky a ostříva. 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 větších 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.
- Kovový 3D tisk je rozhodně nejperspektivnější 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 DLMS (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 tištěných výrobků. Další metodou kovového 3D tisku je metoda LDS. Jde o postupné vyvařování požadovaného dílce většinou pomocí laserového paprsku a kovového prášku nebo v případě drátu je tato metoda označována jako WAAM. Tyto metody se postupně začínají objevovat na trhu buď sami o sobě nebo v rámci hybridních [EMO2017].
- 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 se zabývat stavbou hybridních strojů s integrací aditivní technologie 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 technologie 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 zásoby polotovarů a nejsou potřeba žádné řezné nástroje jako tomu je u konvenčních CNC strojů.

Způsob dosažení cílů

- Detailní studium již vyvinutých principů tisků a zvyšování jejich parametrů.
- Vývoj hybridních výrobních strojů s plnou integrací aditivní technologie.
- Aplikace již stávajících technologií 3D tisků v praxi.
- Vývoj technologických postupů především pro kovové 3D tisky.
- Vývoj simulačních nástrojů pro analýzu vlivu teplotního ovlivnění výrobku na jeho rozměrovou přesnost. Optimalizace technologických postupů.

Doporučený řešitel

- RCMT; 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

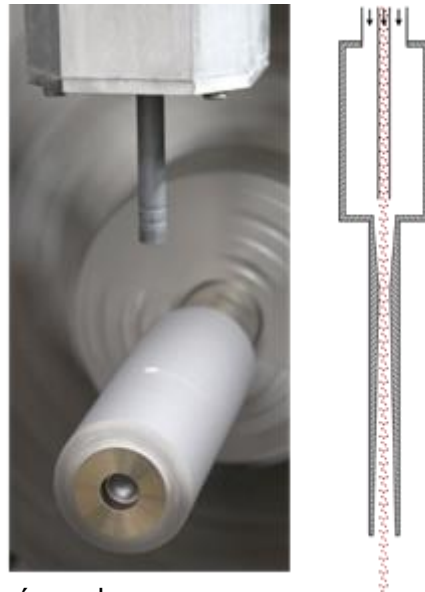
- U03 Zvyšování hospodárnosti
- U06 Zvyšování multifunkčnosti, modularity a konfigurovatelnosti strojů

Komentář k aktualizaci

- Byl aktualizován stav techniky.

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 reznou 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 nekonvenčních technologií s obráběcím strojem se naráží na řadu problémů, 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 paprsku 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 závit.

- Kombinovat se dají i jednotlivé nekonvenční technologie mezi sebou. Již je velmi známý princip stroje kombinujícího plazmové 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 aditivní technologií jako např. WAAM, LDS, Cold Spray, plazmové navařování prášku, atd. Nejprve dojde k vytvoření základního objemu materiálu najednou a následně k obrábění funkčních ploch nebo k vytvoření vrstvy základního materiálu, která je obrobena před nanesením další vrstvi. Vše probíhá v rámci jednoho výrobního procesu. Tato technologie je zvláště výhodná při výrobě tenkostěnných a tvarově složitých obrobků, kdy při konvenčním způsobu obrábění dochází k velkému odběru materiálu z výchozího polotovaru nebo kdy je nutné vytvořit např. uzavřené dutiny nebo chladicí kanály konvenčním obráběním nedosažitelné. [EMO 2017].

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 RCMT 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 RCMT a Kovosvit MAS nenavázal další vývoj ani komerční aktivity.
- Vývoj hybridních strojů kombinujících třískové obrábění s aditivní technologií je v současné době rozvíjen v RCMT ČVUT v Praze.

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 obrobenej 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 nekonvenčních 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.

- Rozvoj technologií využitelných v hybridních strojích kombinujících třískové obrábění s aditivní technologií.

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 výrobcí 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.
- Vývoj řešení plné integrace aditivních technologií jako například WAAM, LDS, Cold Spray nebo plazmové navařování do obráběcího stroje. Vývoj technologických postupů, aditivních cyklů v řídicím systému stroje, postprocesorů, CAM nástrojů.
- Celkem cca 3 lidé v oblasti výzkumu (pro experimenty a měření) + 3 lidé ze spolupracujících podniků pro konkrétní ověřovací testy.

Doporučený řešitel

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

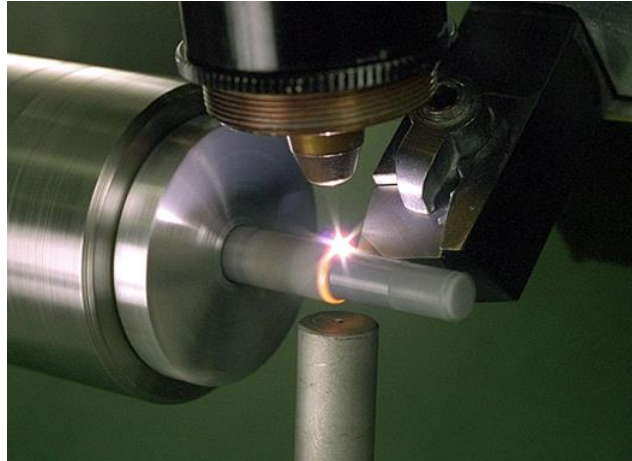
1.5.3. (T16) Výzkum laserových technologií a hybridních technologií využívajících kombinace laseru a třískového obrábění

Navrhovatel

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

Vazba tématu na SVA

- U02 Zvyšování spolehlivosti
- U04 Zvyšování výrobního výkonu
- U06 Zvyšování multifunkčnosti, modularity a konfigurovatelnosti strojů
- Laserové technologie (gravírování, mikroobrábění, texturování, spékání, řezání, kalení, ohřev) a jejich kombinace s třískovými technologiemi pro vyšší produktivitu a nižší výrobní náklady.



Komentář k aktualizaci

- Téma bylo rozšířeno i na téma hybridních technologií, tj. na kombinaci laserových a konvenčních třískových technologií v jednom výrobním stroji. Doplněno o možnosti kombinace technologií a jejich integraci do obráběcího stroje.

Stručný popis stavu problematiky ve světě

- Výzkum a vývoj progresivních laserových technologií 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 špičce 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 obrátu. 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 nebo kladení materiálu laserem z drátu. Z pohledu ekonomické návratnosti a ekologického významu zatím nelze hovořit o zásadně pozitivním dopadu. Významu tyto technologie nabývají především tam, kde nejsou dostupné a efektivní jiné technologie pro výrobu dílce.

- Hybridní technologie kombinující laserové technologie a třískové obrábění jsou jedním z hlavních vývojových směrů tvorby a zpracování dílců ze specifických materiálů a specifické konstrukce a použití. Hybridní technologie jsou realizovány na jednom výrobním zařízení, a to především v podobě vrstvení materiálu laserem a jeho následným obrobením, kombinace gravírování nebo řezání laserem a obrábění a nebo také využití laseru pro předeřev jinak velmi obtížně obrobitelného materiálu řezným nástrojem. Právě z důvodu rostoucího objemu využití specifických konstrukčních materiálů a tvarově komplikovaného designu dílců mají tato technologická řešení potenciál dále zefektivňovat výrobní procesy. Takového hybridní zařízení má ve svém portfoliu již většina předních světových výrobců obráběcích strojů.

Současný způsob řešení problematiky v ČR

- Vývoj laserových technologií je v současné době realizován ve VUTS, a.s., RCMT ČVUT v Praze, ale také ve firmě Hofmeister s.r.o. (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 kompletního opracování těžkoobrobitelných materiálů a tvarově složitých dílců.
- Náhrada dílčích neefektivních obráběcích operací přesnou, produktivní a efektivní laserovou technologií.
- 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 nebo jeho kombinací s třískovým obráběním, tzn. formulovat podmínky, za kterých lze optimálně použít obě 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 rezivosti 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 stříhání 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 mikroobráběním 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). Bude dosaženo 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 přibývá.

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.
- Budou získány znalosti o procesech důležité pro konstrukci hybridních výrobních zařízení. Tato zařízení umožní kompletní výrobu materiálově, tvarově, rozměrově, ale i jinak technicky složitých dílců v jednom procesu na jednom výrobním zařízení. Efektivní výrobní proces na základně vhodných doporučených parametrů procesů.

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 a podniky: RCMT, VUTS, a.s., Hofmeister, s.r.o., 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

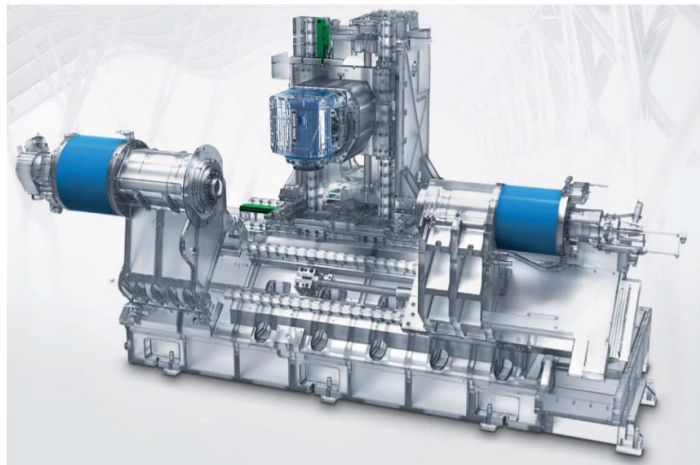
- Ing. Petr Kolář, Ph.D., Ing. Jan Smolík, Ph.D. a kol. (ČVUT v Praze)

Vazba tématu na SVA

- U01 Zvyšování a zajištění přesnosti
- U02 Zvyšování spolehlivosti
- U03 Zvyšování hospodárnosti
- U06 Zvyšování multifunkčnosti, modularity a konfigurovatelnosti strojů

Komentář k aktualizaci

- Téma bylo aktualizováno. Protože se nezměnila jeho významnost, nedošlo k zásadním změnám textu.



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 a rozšiřování jejich technologických možností: frézovací vřetena se zpevněným rotorem pro práci stacionárními nástroji, vysokootáčkové rotační stoly pro karuselování (ty jsou dnes velkým omezením pro rozvoj soustružení na frézovacích strojích) [EMO 2011, EMO2013], vysokootáčkové mechanické 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, které vedou obecně na vyšší poddajnost 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, integrace 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 nevyváženek omezující pracovní otáčky stolu. Cílem by bylo vyvinout paletu s integrovaným vyvažovacím mechanismem a automatickou detekcí nevyváhy.
- Integrace specifických technologií obrábění nástroji s definovanou geometrií břitů: hluboké vrtání a vyvrtávání, výroba drážkování a ozubení.
- Integrace technologie broušení do soustružnických a frézovacích strojů (soustružnicko-broušicích resp. frézovací-broušicích multifunkčních strojů). 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

- RCMT; výrobci multifunkčních strojů (např. TAJMAC-ZPS, TOS Kuřim, Kovošvit 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).

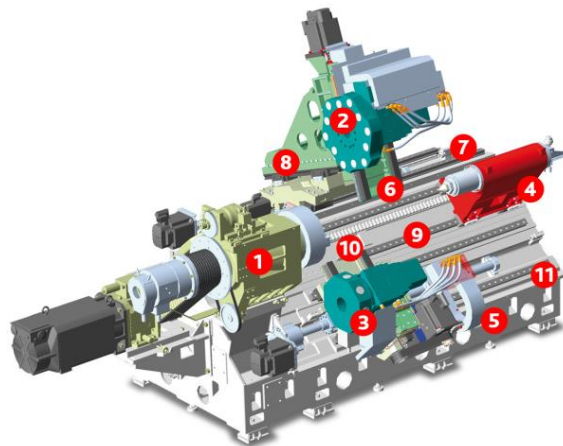
2.1.2. (T18) Modulární stroje

Navrhovatel

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

Vazba tématu na SVA

- U01 Zvyšování a zajištění přesnosti
- U03 Zvyšování hospodárnosti
- U04 Zvyšování výrobního výkonu
- U05 Zvyšování využitelnosti strojů
- U06 Zvyšování multifunkčnosti, modularity a konfigurovatelnosti strojů
- U08 Zkracování doby dodání strojů
- U10 Zvyšování inteligence strojů



Komentář k aktualizaci

- Aktualizován text. Změněn název, upraven obsah – zejména proto, že rekonfigurovatelnost je v současné době řešena zejména 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 nabídl multifunkční stroje. Koncepce strojů s externími moduly (c) je v posledních letech ožívána 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 obchodní 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 konkurenceschopnosti 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

- RCMT; ekonomické ústavy (např. ČVUT FS - Ú 12138; VŠE FM); výrobci strojů (obecně); výrobci komponent a univerzálních konstrukčních celků; uživatelé výrobních strojů (obecně).

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

Navrhovatel

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

Vazba tématu na SVA

- U01 Zvyšování a zajištění přesnosti
- U03 Zvyšování hospodárnosti
- U04 Zvyšování výrobního výkonu

Komentář k aktualizaci

- Téma bylo upraveno dle aktuálního stavu řešení.



Stručný popis stavu problematiky ve světě

- Nekonenční uspořádání strojů není v oboru výrobní techniky příliš rozšířené. Představitelem nekonenčního 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 nekonenčním uspořádáním lze také zařadit stroje s paralelní kinematikou [EMO 2013, EMO 2015, EMO 2017] a stroje s paralelní redundantní kinematikou, např. SLIDING STAR (ČVUT, FS, Ú12105). Mezi nekonenční kinematiky pro obrábění lze počítat i roboty se sériovou kinematickou strukturou [EMO 2015, EMO 2017].
- 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 2017]. V literatuře a ve formě prototypů se na výstavách objevují pohony využívající nekonenční 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 nekonenční 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 - Užité vzor]. Jako další příklad může být lineární motor s integrovaným hydrostatickým vedením.

Současný způsob řešení problematiky v ČR

- Nekonenční 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 v RCMT 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

- Nekonenční 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

- RCMT; ústavy zabývající se mechanikou, mechatronikou a řízením (např. ČVUT FS – Ú12105, UTIA AVČR); matematické ústavy (např. ČVUT FS – Ú12101, 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. (ČVUT v Praze)

Vazba tématu na SVA

- U03 Zvyšování hospodárnosti
- U04 Zvyšování výrobního výkonu
- U05 Zvyšování využitelnosti strojů
- U06 Zvyšování multifunkčnosti, modularity a konfigurovatelnosti strojů
- U10 Zvyšování inteligence strojů
- U11 Snižování negativních dopadů na životní prostředí – Ecodesign



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 [světové veletrhy EMO, IMTS, JIMTOF]. 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; 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; 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 vřetení nebo v revolverové hlavě.
- Významným prvkem ovlivňujícím rozšiřování počtu nástrojových skupin na stroji je řídicí systém. Zásadním bodem je rozhodnutí, zda ŘS bude jednobáňový (všechny pohybové osy patří jednomu stroji) nebo vícebáňový (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. 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, DMG Mori aj.]. Jedná se však o veřejně nedostupné výsledky firemního vývoje.
- Širokým tématem při obrábění více nástroji je také interakce nástrojů a obrobku. Budící řezné síly mohou kmity obrobku buď vzájemně zesilovat, nebo naopak tlumit. Někdy tato interakce může znemožnit paralelní 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 zpeřifický 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 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 konkrétních typech strojů a obrobků (např. vícevřetenové automaty, vícesuportové soustruhy, frézovací stroje s více vřeteny). Vazba na vývoj virtuálního modelu obráběcího stroje a inprocesní identifikace dynamického chování soustavy (vazba na T10).

Doporučený řešitel

- RCMT; 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.

2.1.5. (T62) Technický a funkční design strojů (vč. ergonomie)

Navrhovatel

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

Vazba tématu na SVA

- U12 Zvyšování důvěryhodnosti
- Kvalitní design a ergonomie strojů včetně automatizace a software s uplatněním jednotného vizuálního stylu firmy - Projev komplexní kvality stroje s uživatelsky a ergonomicky komfortní úrovní komunikace stroj - obsluha.



Komentář k aktualizaci

- Téma je zpracováno jako nové.

Stručný popis stavu problematiky ve světě

- V silné konkurenci nejen velkých nadnárodních firem je dobrý průmyslový design velmi účinným prostředkem pro prosazení se na trhu, odlišení se od konkurenčních výrobků a vytvoření nezaměnitelné podoby strojů jako součásti image firmy. Výrobci strojů si tyto významy designu velmi dobře uvědomují a uvádí na trh stroje, které procházejí vývojem jejich designéřského řešení.
- Kvalitní design je výrazem komplexního přístupu k návrhu a konstrukci a u zákazníka podporuje dojem důvěry v celkové kvality stroje. Dobrý design musí být ovšem samozřejmě další přidanou hodnotou celkové úrovně stroje, nesmí chybějící funkční kvality efektním zevnějškem jen nahrazovat.
- Součástí řešení dobrého designu strojů je i kvalitní řešení ergonomie ovládání stroje a kvality rozhraní uživatel/operátor – stroj. Standardem v CNC ovládání strojů se stávají nadstavbové systémy CNC řídicích systémů s velkoformátovými dotykovými obrazovkami a ergonomicky promyšleným způsobem zprostředkování informací, které potřebuje obsluha stroje k účinnému řízení stroje.
- Mnohé zkušenosti ukazují, že firmy, které integrují do vývoje průmyslový design, dosahují vyšších zisků a obrátu. Například firma Gildemeister provedla v roce 2003 cenově neutrální změny designu u většiny ze svých frézovacích a soustružnických center. Podnik mohl následně dosáhnout zvýšení cen o dvě procenta. Pokud by naopak k redesignu krytování nedošlo, ve stejném časovém období by musela firma počítat s cenovým propadem o pět procent [BEAUJEAN, P. Emotionale Produktgestaltung – Wert der wahrgenommenen Qualität. In: BRECHER, C. et al. Wettbewerbsfaktor Produktionstechnik. Aachen: AWK Aachener Werkzeugmaschinen-Kolloquium, 2011. ISBN 978-3-8440-0087-0]

Současný způsob řešení problematiky v ČR

- Výrobci výrobní techniky v ČR si význam dobrého designu strojů uvědomují a návrhům krytování nových stroje se snaží vtisknout vlastní charakter.
- V některých případech vznikají kvalitní řešení, vyvinutá ve spolupráci s designéřem, obvykle externím.

- Slabinou uplatnění designu je u domácích výrobců OS chybějící systematické řešení a uplatňování jednotného stylu jak na úrovni designu strojů, tak vizuální reprezentace a marketingu firem. Mnohá řešení dobrého designu strojů zůstávají osamocenými pokusy, které nenašly pokračování a rozvoj do celých výrobních řad.
- Design krytování strojů je specifickou disciplínou, vyžadující vysokou míru pochopení funkčních, ergonomických, provozních a bezpečnostních požadavků a skloubení tvarových vizí s možnostmi konstrukčního a technologického zpracování krytování strojů. Dlouhodobě se systematicky designu krytování strojů a zařízení věnuje v ČR jen několik málo návrhářů, nebo pracovišť průmyslového designu.

Cíle a praktické výstupy pro obor/průmysl

- Specifické *funkce* designu strojů:
 - Tvorba pracovního prostředí
 - Ovlivnění psychologie práce a pracovního výkonu obsluhy
 - Vytvoření pocitu jistoty vztahu člověk – stroj
- Atributy dobrého designu:
 - Měřítko hmot, proporce
 - Respektování ergonomických zásad
 - Měřítko prostoru rozhraní člověk – stroj
 - Přizpůsobení tvaru stroje bezpečnému pohybu obsluhy v blízkosti stroje
 - Komunikace obsluhy se strojem, řešení ovládacích prvků
 - Tvarově přehledná forma je vyjádření funkčních kvalit stroje
- Nepřímé *funkce* designu strojů
 - Dobrý design zvyšuje u zákazníka dojem hodnoty stroje
 - Dobrý design a ergonomie spolurozhoduje o výběru stroje zákazníkem
 - Charakteristický styl pomáhá zviditelnění výrobce a jeho lepšího umístění na trhu
- Ergonomické kvality dobrého designu naplňuje krytování stroje i snižováním hluku a emise vibrací do pracovního prostředí.

Vlastní odborné zhodnocení přínosu tématu pro obor a průmysl v ČR

- V ČR existuje silná tradice spolupráce výrobců OS s designéry při navrhování designu strojů. Význam dobrého designu v oblasti výrobní techniky je nezpochybnitelný. Dobrý design by se měl stát standardní součástí vývoje strojů.
- Dobrý design nemusí být drahý, jeho předpokladem je zahrnutí designéra do vývojového týmu a spolupráce až do vzniku finálního konstrukčního návrhu.

Způsob dosažení cílů

- Systematická péče o cílené uplatnění designu v celém výrobním portfoliu firem včetně jednotného vizuálního stylu.
- Zahrnutí designéra do vývojového týmu již ve fázi tvorby koncepce řešení krytování stroje.
- Proces zavádění a implementace designu v praxi firmy řídí jeden vedoucí pracovník s kompetencí prosazovat řešení designu v širších souvislostech a propojovat oddělení vývoje, marketingu, obchodu.
- Využití VR pro ergonomické studie ovládání a používání strojů (řešení ovládacích prvků, přístupů do prostoru stroje apod.)
- Vytvoření ergonomické laboratoře pro výzkum způsobu ovládání stroje, umístění ovládacích prvků, přístupů do stroje.

- Možnosti využití nekonvenčních materiálů ve stavbě krytování (lehké sendvičové materiály, voštiny, kompozitní materiály, plexi, apod.)

Doporučený řešitel

- Specializované pracoviště designu a designéři, Ú12135.

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

- U01 Zvyšování a zajištění přesnosti
- U02 Zvyšování spolehlivosti
- U04 Zvyšování výrobního výkonu

Komentář k aktualizaci

- Téma je aktuální.



Stručný popis stavu problematiky ve světě

- Rozšiřování technologických možností komponent strojů (lineárních a rotačních ložisek, komponent pohybových os, motorů, apod.) a zvyšování jejich užitečných 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 vnáší do frekvenčního spektra proudů ve vinutí vyšší harmonické složky, které se dle Parsevalovy věty podílejí na nežádoucím oteplování motoru a vnáší 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 šikrtící mezery HS kapes pro kompenzace nevývah pohybových os a teplotních deformací nosné struktury, případně pro odstranění výrobních odchylek.
- 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 řídicích 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 pracovníků + 3 pracovníci ze zapojených podniků.

Doporučený řešitel

- RCMT; ústavy zabývající se mechanikou, mechatronikou a řízením (např. ČVUT FS – Ú12105, UTIA AVČR); matematické ústavy (např. ČVUT FS – Ú12101, 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

- doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D., Ing. et Dipl. Ing. Michal Holub, Ph.D. a kol. (VUT v Brně)

Vazba tématu na SVA

- U01 Zvyšování a zajištění přesnosti
- Zvyšování přesnosti samotné stavby stroje (přesnost dílců, komponentů a zejména montáže). Velmi přesné komponenty a prvky vedení a pohonů, metodický postup efektivní stavby stroje ovlivňující jeho výslednou geometrickou a pracovní přesnost.



Komentář k aktualizaci

- Text byl aktualizován s přihlédnutím k výsledkům průzkumu nejperspektivnějších dílčích témat výzkumu a vývoje do roku 2025 a úkolům strategie oboru SVT 2030.

Stručný popis stavu problematiky ve světě

- Geometrické chyby dílů obráběcího stroje - zvyšování přesnosti samotné stavby stroje výrazně ovlivňuje výslednou geometrickou přesnost stroje a budoucí úspěšnost kompenzací odchylek za provozu stroje jeho řídicím systémem. Kompenzace geometrických chyb v dnešní době umožňuje korigovat jak translační, tak i úhlové odchylky pomocí volumetrických kompenzací. K tomuto účelu je možné využívat různé postupy analyzující měřené a predikované chyby konkrétního stroje. Výsledná geometrická a pracovní přesnost stroje 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 výzkumné téma T46 Kompenzace nepřesností víceosých frézovacích center.
- Výroba tvarově složitých součástí požaduje vysoce přesné obráběcí stroje s dostatečně tuhou nosnou strukturou a řídicím systémem způsobilým pro zavádění volumetrických kompenzací. 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 včetně 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. [Zhong, Xuemin; Liu, Hongqi; Mao, Xinyong; et al.: Influence and error transfer in assembly process of geometric errors of a translational axis on volumetric error in machine tools, MEASUREMENT, Volume: 140, Pages: 450-461, Published: JUL 2019] 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. Pomocí volumetrických kompenzací lze přesnost provozovaného stroje zvýšit v průměru o 50% (snížit geometrické odchylky). Boj o zákazníky vede výrobce k hledání optima mezi vysoce přesnou stavbou stroje s minimálními nároky na kompenzaci chyb a dostatečně přesnou stavbou stroje s vyššími nároky na kompenzace chyb. Významnou roli zde hraje vývoj metodických postupů rychlého proměření stroje pro zavedení volumetrických kompenzací s následným vývojem smart aplikací umožňujících upozornit obsluhu stroje na potřebu včasného zavedení nových kompenzací.

Současný způsob řešení problematiky v ČR

- Zvyšování přesnosti strojů při montáži jako základ celkové provozní přesnosti stroje je v ČR stále akcentováno. Systematicky byla tato problematika rozvíjena i např. v projektu TAČR Alfa Využití progresivních technologií pro efektivní stavbu obráběcích strojů (VUT v Brně, INTEMAC, Tajmac-ZPS, TOS Kuřim, Škoda Machine Tool, TOSHULIN). Roste vliv nových měřidel, zejména 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, zejména u nasazení nových materiálů pro nosné části obráběcích strojů („betony“).
- Vývoj přístupů umožňujících zkrácení doby montáže při zachování potřebné přesnosti stavby stroje.
- Využití umělého tepelného stárnutí materiálů 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).
- Vývoj metodických postupů umožňujících proměření stavu stroje a získávání dat pro volumetrickou kompenzaci stroje v závislosti na jeho kinematické struktuře.

Vlastní odborné zhodnocení přínosu tématu pro obor a průmysl v ČR

- Vyšší přesnost dílců, komponent a zefektivnění samotné montáže vede ke snižování nákladů na odladění stroje po montáži. Bude efektivnější nastavit potřebné kompenzace v řídicím systému stroje.

Způsob dosažení cílů

- Návrh nových konstrukčních skupin ve spolupráci s výrobcí 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“. Výsledky převážně založené na dlouhodobých zkouškách. Analýza vlivu montáže na přesnost celého stroje.
- Optimalizace rozměrových obvodů, volba typu a umístění odměřování na stroji, konstrukční úpravy pro možnost zefektivnění výsledků kompenzace geometrických odchylek.
- Výzkum časových změn v přesnosti stroje z důvodu stárnutí materiálu a opotřebení dílů a komponent. Výsledky převážně založené na dlouhodobých zkouškách.
- Studie vztahu získaných užitečných vlastností a nákladů spojených se zvýšením přesnosti stavby stroje.
- Aplikace modelů volumetrické přesnosti se zahrnutím vlivu poddajnosti nosné struktury stroje a jeho tepelného zatěžování.
- Nové metody pro postup a kontrolu přesnosti montáže stěžejních dílců obráběcích strojů. Využití moderních metod prostorového měření na bázi optických metod měření vzdálenosti pomocí trackovacího laserového paprsku.

Doporučený řešitel

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

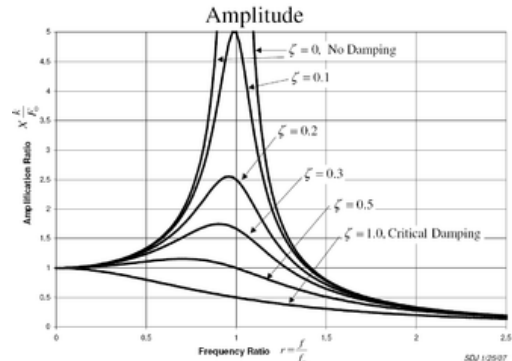
2.2.3. (T24) Konstrukce se sníženou dynamickou poddajností

Navrhovatel

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

Vazba tématu na SVA

- U01 Zvyšování a zajištění přesnosti
- U03 Zvyšování hospodárnosti
- U04 Zvyšování výrobního výkonu
- U05 Zvyšování využitelnosti strojů
- U07 Zvyšování jakosti dosahovaných povrchů



Komentář k aktualizaci

- Téma bylo aktualizováno. Specifický parametr „tlumení“ je nahrazen obecnější názvem "snížení dynamické poddajnosti". Téma bylo rozšířeno vliv lehké stavby a laděné pasivní tlumiče. Dále proběhlo zaintegrování tématu (T25) Nekonenční materiály pro obráběcí stroje, které bylo zrušeno jako samostatné.

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 směodatnou 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.
- Výzkum v RCMT prokazuje výrazný vliv spojů (pevných i pohyblivých) těles nosné struktury [Novotný et al: Keynote přednáška na konferenci HSM 2018] na hodnoty tlumení celé struktury. Hodnoty tlumení společně se statickou tuhostí struktury následně ovlivňují velikost dynamické poddajnosti, kterou se snažíme minimalizovat.
- V ČR jsou nejdále v poloprovozních podmínkách aplikovány postupy přídavného mechatronického tlumení vibrací pomocí aktivních členů [Novotný 2018]. 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 praktické se 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. Rozšířeným řešením jsou laděné pasivní tlumiče (tuned mass dampers), které umožňují v omezeném rozsahu nastavit frekvenci kmitů, které tlumí.
- Významným prvkem ovlivňujícím dynamickou poddajnost je hmotnost struktury. Optimálnímu návrhu nosných struktur pro dosažení cílové statické tuhosti s minimalizovanou hmotností strukturálního materiálu se zabývají týmy RCMT ČVUT

v Praze [KOLÁŘ et al. An integrated approach to the development of machine tool structural parts [online]. MM Science Journal. 2012, 0(special IS), s. 1-7. ISSN 1805-0476; Kolar P et al Development methods for high performance machine tools. 2. Wiener Produktionstechnik Kongress. 2014, Wien: IFT TU Vienna] a KKS ZČU v Plzni. Do strukturálních optimalizací vstupují kromě tvaru (topologie) dílce také materiálové vlastnosti.

- Využívání nekonvenčních materiálů v této oblasti je ze dvou důvodů: pomocí vláknových kompozitů je možno snižovat hotnost struktury; vláknové i kompozitové materiály mají vyšší materiálové tlumení. Vhodnou aplikací těchto materiálů do kompozitních nebo hybridních (konvenční a nekonvenční materiál) konstrukcí je možno snížit dynamickou poddajnost truktury jako výsledek snížení strukturální hmotnosti a vyššího materiálového tlumení materiálu.
- 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 vyvíjelo jako možná cesta pro snížení hmotnosti pohybových os při zachování vysoké statické tuhosti. Aplikace vláknových kompozitů jsou nabízeny zejména pro rotační komponenty s vysokými nároky na dynamické chování, například hřídele elektrovřeten, náhonové hřídele, upínače soustruhů, případně pro nástroje – broušící 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. [EMO 2017]
- 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/Superlight, tvořené tenkostěnnými svařenci vyplněnými polymerbetonem nebo jiným lehčím materiálem. RCMT otestovalo řadu řešení v této oblasti, zejména kombinaci ocel-Al pěna a ocel-částicový kompozit s pryskyřičnou maticí. 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 rozhraní obou materiálů. [výstavy EMO]

Současný způsob řešení problematiky v ČR

- Téma tlumení resp. nekonvenčních materiálů je do roku 2019 systematicky řešeno ve WP4, resp. WP7 projektu CK SVT, který je řešen ČVUT v Praze a oborovými firmami. Od roku 2020 jsou obě témata obsažena ve Výzkumném záměru 4 Produktivní výroba v projektu DMS SVTPS, kde opět probíhá spolupráce firem a univerzit v této oblasti.

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, tlumících výplní (např. ponechání jader v odlitcích, hybridní struktury 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.
- Optimalizační výpočtové metody pro snížení hmotnosti struktur při zachování statické tuhosti návrhem vhodné topologie dílce a vhodným využitím vlastností uplatněného strukturálního materiálu. Snižování hmotnosti nosných dílců pohybových os OS při zachování vysoké statické tuhosti. S úsporou hmotnosti souvisí možnost použití komponent pohonů o nižších výkonových parametrech a snížení množství spotřebované elektrické energie. Snížení spotřeby energií při obrábění je jedním z nejdůležitějších parametrů při posuzování eco-designu.
- 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 elektrovřeten 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

- 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.
- 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

- Vývoj vlastní metodiky pro experimentální stanovení materiálového tlumení vzorků. Využití modelových případů a etalonů.
- Vývoj postupů pro matematický popis tlumení ve struktuře (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 pasivních a aktivních tlumících členů. (praktická měření, náklady na materiál a komponenty experimentálních zařízení, náklady na senzorku). Výzkum možností využití přídatných 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.
- 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.
- 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. Výroba vhodných prototypů reálných dílců a jejich verifikační zkoušky na prototypch strojů.
- Celkem 3 výzkumní pracovníci + 2 pracovníci z každého zapojeného podniku.

Doporučený řešitel

- RCMT; Zkušebna VUOS; ústavy zabývající se mechanikou, mechatronikou a řízením (např. ČVUT FS - Ú 12 105); 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)

2.2.4. (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

- U01 Zvyšování a zajištění přesnosti
- U04 Zvyšování výrobního výkonu
- U07 Zvyšování jakosti dosahovaných povrchů

Komentář k aktualizaci

- Text byl 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). [EMO 2015, EMO 2017]
- 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 pěnamí. RCMT získal v minulých letech v rámci projektu 1.2.2 zkušenosti s konstrukcí a výrobou hybridního stojanu stroje, tvořeného ocelovým svařencem s vlepanými 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). V poslední době jsou rozvíjeny metody přímého vyplnění dutit strukturálních částí strojů dvěma základními typy hmot, které se vyznačují přínosem ke zvýšení tuhosti statických částí stroje a přínosem ke zvýšení tlumení u pohyblivých částí stroje. [Výzkumné zprávy v rámci WP07 CK SVT, RCMT]
- 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., RCMT, EMO 2017] Dále jsou k dispozici kompozitní tělesa nástrojů a nástrojové držáky se sníženou hmotností a zvýšeným tlumením, hřídele vřeten s nízkou hmotností a nulovou teplotní roztažností, mimo náhonové hřídele také hřídelové spojky. [EMO2019]

- Ve stadiu 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 materiálů systematicky řeší firma DAM ve spolupráci s RCMT 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 vlepaných insertů a mechanických kotvicích 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 prototypch 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

- RCMT; ústavy zabývající se mechanikou, mechatronikou a řízením (např. ČVUT FS – Ú12105, UTIA AVČR); ekonomické ústavy (např. ČVUT FS – Ú12138; 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.

2.2.5. (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 sensorika 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 přídatná. Dnešní přídatná brousící 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 sensorikou, která zajistí správnou detekci kontaktu nástroje s obrobkem a předejde destrukci nástroje při najíždění kusu [Marposs].

Současný způsob řešení problematiky v ČR

- Přídatná 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 přídatného 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

- RCMT; 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

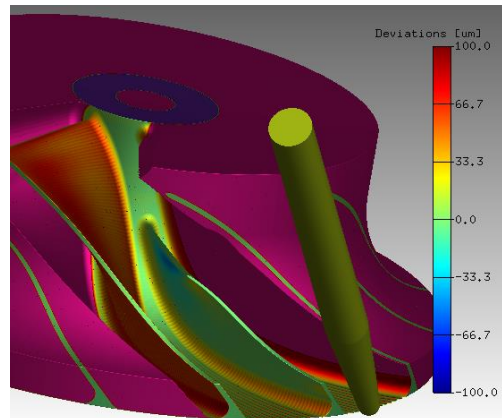
2.3.1. (T29) Modely pro virtuální testování a optimalizace NC obrábění

Navrhovatel

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

Vazba tématu na SVA

- U01 Zvyšování a zajištění přesnosti
- U03 Zvyšování hospodárnosti
- U07 Zvyšování jakosti dosahovaných povrchů
- Zvyšování přesnosti strojů a práce strojů s využitím digitálních dvojčat strojů a technologického procesu.
- Zvyšování hospodárnosti - Minimalizace jednotkových nákladů na strojích, minimalizace vedlejších časů, minimalizace nákladů na obsluhu, minimalizace nákladů na samotnou výrobu strojů a minimalizace nákladů na jejich provoz.
- Zvyšování jakosti dosahovaných povrchů - Především zvyšování jakosti obráběných a tvářených povrchů, cílené pozitivní ovlivňování vlnitosti, drsnosti, vzhledu a dalších charakteristik integrity povrchů.
- Nabídka eliminace počtu operací s možností dosahování finálních povrchů v menším počtu kroků a operací.



Komentář k aktualizaci

- Téma bylo kompletně přepracováno a zaměřeno na testování a optimalizace NC obrábění s využitím digitálních dvojčat strojů a procesů. Integrována jsou původní témata T12 a T13.

Stručný popis stavu problematiky ve světě

- Základní simulace a verifikace dráhy nástroje při programování CNC strojů je nedílnou součástí každého CAM systému. S těmito systémy lze navrhovat různé strategie dráhy a vedení nástroje, provádět simulace reálného úběr materiálu z obrobku a současně kontrolovat možné kolize mezi nástrojem a obrobkem a upínacími prvky již během přípravy řídicích partprogramů. Tyto simulace se ovšem odehrávají na úrovni CL dat, resp. vnitřních dat CAM systému. Nezohledňují tak reálné dynamické chování systému stroje a procesu obrábění, díky čemuž nejsou výsledky simulací dostatečně spolehlivé a věrohodné zejména v případech složitých 5osých technologií.
- Verifikace NC programů a strategií při výrobě tvarově náročných dílců nebo při výrobě na strojích se složitou kinematikou (soustružnické automaty, multifunkční stroje) je nezbytně nutná. Na verifikaci je kladen velký důraz nejen od zákazníků, ale i od vlastních technologií na verifikaci NC programu před vlastním seřízením stroje.
- Pokročilejší úroveň kontroly NC programů představují simulace v CAM systémech, využívající virtuálních modelů kinematik obráběcích strojů. Simulace na této úrovni umožňují analyzovat a kontrolovat řídicí programy v kontextu pohybů kompletního obráběcího stroje. Nasazení kinematických modelů 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.

- V některých CAM systémech (např. NX CAM) lze pro zpřesnění simulací odbavení NC programu použít jako opci zjednodušenou náhradu interpolátoru CNC řídicího systému. Pomocí základní volby limitů osových zrychlení umožňuje náhrada interpolátoru počítat realističtější průběhy posuvových rychlostí a zpřesnit díky tomu časové studie obrábění.
- Na vyšší úrovni simulací NC programů se využívají skutečná jádra řídicího CNC systému (např. Siemens VNCK, nebo Heidenhain iTNC). Je tím dosaženo 100% shody skutečných časů obrábění se simulací a realistických průběhů posuvové rychlosti nástroje.
- Nejúplnější výsledky kontroly NC obrábění nabízejí virtuální modely strojů a procesů (digitální dvojčata) s kompletní reprezentací CNC řídicího systému, řízení pohonů, s modely dynamického chování mechanické stavby pohonů a připojené nosné struktury stroje a se zahrnutím modelu úběru materiálu [Altintas, Y., et al.: Virtual process systems for part machining operations. Annals of CIRP Vol. 63, Issue 2, 2014, pp. 585-605].
- Na trhu jsou k dispozici některé specializované softwary pro zdokonalenou kontrolu a optimalizace NC programů, z nichž lze jmenovat např. Vericut, MachineWorks, Eureka, NCBRAIN, ICAM. Tato programová řešení umožňují provádět simulace a anikolizní kontrolu NC programů se zjednodušenými náhradami interpolátoru CNC. Nabízejí rovněž různou úroveň optimalizačních nástrojů, zaměřených zejména na optimalizace posuvových rychlostí podle nepřímého hodnocení zatížení nástroje, nebo minimalizaci časů pohybu nástroje mimo řez. Funkčnosti uvedených programových řešení jsou ovšem omezeny použitím jen zjednodušených modelů stroje a procesu obrábění, díky čemuž nedosahují jejich výstupy optimálních výsledků.
- Rozvíjeny jsou modely pro realistickou predikci a vizualizaci topografie obrobeného povrchu v simulacích 3-osého i 5-osého obrábění [S. Ehsan Layegh K, Lazoglu, I.: 3D surface topography analysis in 5-axis ball-end milling. Annals of CIRP Vol. 66, Issue 1, 2017, pp. 133 – 136], [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 je v současné době řešeno především v rámci WP01 a WP02 projektu CK SVT řešeného ČVUT v Praze a oborovými firmami, ve výzkumném záměru VZ5 „Digital Twin“ projektu OP VVV DMS SVTPS a v dílčím projektu DP3 „Digitální dvojče stroje a technologie“ NCK Strojírenství. Aktivity jsou zaměřené na verifikaci a optimalizaci NC kódu s využitím digitálních dvojčat obráběcího stroje a procesu obrábění.

Cíle a praktické výstupy pro obor/průmysl

- Hlavní přínosy pro praxi virtuálního testování a optimalizace NC programů vyplývají z využití simulačních virtuálních modelů – digitálních dvojčat stroje a procesu. Podle cílů verifikačních a optimalizačních úloh lze volit různou úroveň komplexnosti virtuálních modelů s možností integrace reprezentace skutečného CNC interpolátoru, propojeného virtuálního modelu mechaniky pohonů a nosné stavby stroje včetně řízení pohonů a detailní simulace úběru materiálu při obrábění.
- 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.
- Realistické časové studie víceosého NC obrábění.
- Vizualizace průběhů technologických parametrů při úběru materiálu – skutečné posuvové rychlosti podél dráhy nástroje, objem odebíraného materiálu, plocha opásání nástroje, silové zatížení nástroje, momentové zatížení vřetene. Grafická reprezentace oblastí

s kritickým průběhem sledovaných parametrů umožní technologovi zhodnotit navržené strategie dráhy nástroje, nebo volby řezných podmínek a navrhnout vhodné úpravy.

- Realistická vizualizace chyb skutečné dráhy nástroje a topografie povrchu (scallop) je významným přínosem v porovnání s dostupnými výstupy komerčních programů. Zvláště přínosná je vizualizace odchylek skutečné dráhy nástroje v případech, kdy není při tvorbě NC programu využito funkce Tool Center Point. Díky možnosti výpočtu skutečného průběhu scallop na složitých tvarových plochách je možno předejít obrobení ploch s nevyhovující jakostí a drsností.
- Analýza vlivu chyb spojitosti napojování ploch v CAD modelech obrobků na chyby rozložení CL dat a chyby interpolace žádaných drah nástroje. Pomocí vlastních vizualizačních nástrojů je možno testovat přínosy oprav CAD modelu obrobků.
- 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.
- Výzkum a vizualizace kvality rozložení CL dat a dopad kvality CL dat na chyby interpolace v CNC řídicím systému. Vizualizace reverzačních pohybů nástroje při 5osém obrábění a odhalení možných souvislostí reverzace pohybu nástroje a chyb obrobeného povrchu.
- Výzkum vlivu nastavení parametrů interpolátoru CNC a parametrů regulace pohonů na chyby obrábění a účinné optimalizace volby nastavení parametrů s využitím virtuálního modelu stroje podle kritérií času, přesnosti, nebo jakosti obrobených ploch.
- Zkracování času obrábění minimalizací doby pohybu nástroje mimo řez úpravou drah přejezdů nástroje mezi řezy a automatizovaným uplatnění vyšších posuvových rychlostí v částech dráhy nástroje mimo řez. Aplikace uvedených strategií umožňují zkrácení časů obrábění zejména na tvarových dílcích typu forem až o desítky procent. Implementace strategií a algoritmů pro optimalizace NC programů do vlastního SW řešení.
- Strategie pro automatizované změny otáček a posuvových rychlostí při obrábění tvarových ploch tvarovými nástroji podle kritéria dodržení řezné rychlosti díky znalosti skutečného bodu dotyku nástroje. Uvedená strategie umožňuje zkrácení časů obrábění až o desítky procent. Implementována může být do postprocesoru stroje, nebo do vlastního SW řešení.
- Volba vhodných strategií obrábění a vhodné geometrie 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.

Vlastní odborné zhodnocení přínosu tématu pro obor a průmysl v ČR

- Zdokonalená kontrola a optimalizace strategií NC obrábění je jedním z hlavních přínosů rozvoje technik virtuálního modelování strojů a procesů obrábění. Vlastní vývoj v této oblasti v ČR je prestižní záležitostí, jejíž přínos spočívá zejména v původnosti získaných výsledků a schopnosti nabízet využití vyvíjených nástrojů a modelů i uživatelům z řad výrobců a uživatelů strojů.
- Vyvíjeny jsou specifické nástroje pro detailní vizualizace úběru materiálu a výsledného obrobeného povrchu s vyhodnocením chyb obrábění a řady technologických parametrů. Tyto nástroje umožní technologům efektivně hodnotit a volit optimalizace na úrovni strategie drah nástroje, volby řezných podmínek.

- Využití modelů pro simulace virtuálního obrábění přináší významnou redukci nejistot výsledků obrábění a úsporu času a nákladů při odlaďování technologie obrábění úvodních kusů každé 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.
- 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 je řízená míra kvality a přesnosti obrobků vzhledem k času obrábění prostřednictvím vícekriteriální optimalizace NC kódu.

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
- Vývoj a verifikace postupů propojení skutečných CNC řídicích systémů (virtuální jádro řídicího systému Siemens 840D – VNCK, resp. Heidenhain iTNC640 – VirtualTNC) s propojeným modelem pohonů a mechanické stavby stroje.
- Rozvoj vlastního SW řešení a jejich příprava pro různé úrovně virtuálního modelu stroje a procesu obrábění (digitální dvojčata) s detailní 3D vizualizací obrobeného povrchu, efektivním vyhodnocením dynamických a celkových chyb obrábění a kontrolou kolizních stavů.
- Vývoj a implementace vybraných vlastních strategií verifikace a optimalizace NC programů jako SW modulů do prostředí standardních CAM systémů, zejm. NX CAM.
- Rozvoj strategií a algoritmů pro optimalizace NC programů s cílem minimalizace časů obrábění řízením posuvových rychlostí a úpravou drah nástroje mimo řez.
- Aplikace matematického aparátu polynomiálních interpolací a vícekriteriální optimalizace.
- Rozšiřování zpřesněných modelů řezných sil pro soustružení a frézování pro vybrané materiály.
- Verifikace matematického modelu pro simulace průběhu řezných sil při tvarovém obrábění.
- Vazba na vyšší typy NC postprocesorů (T11)
- Celkem cca 5 – 6 výzkumných pracovníků a 1 – 2 ze spolupracujících podniků.

Doporučený řešitel

- Ú12135; ústavy zabývající se mechanikou, mechatronikou a řízením (např. ČVUT FS – Ú12105, UTIA AVČR); matematické ústavy (např. ČVUT FS – Ú12101, UK MFF, MU AVČR); výrobci strojů nabízející zákazníkům odlaďené technologie; firmy zabývající se vývojem software; uživatelé strojů zabývající se výrobou tvarově složitých dílů; firmy využívající víceosá či multiprofesní (soustružnicko/frézovací) obráběcí centra.

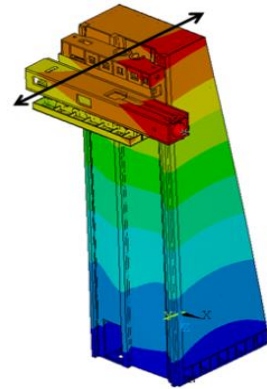
2.3.2. (T31) Modely mechanické stavby OS pro analýzy strukturálních vlastností a optimalizační úlohy

Navrhovatel

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

Vazba tématu na SVA

- U01 Zvyšování a zajištění přesnosti
- U04 Zvyšování výrobního výkonu
- U06 Zvyšování multifunkčnosti, modularity a konfigurovatelnosti strojů
- 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 přepracováno, integrováno bylo původní téma 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 teplotních 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].
- Zpřesněný výzkum dynamických vlastností mechanické stavby strojů ve vazbě na dynamiku řízení pohonů a tudíž přesnost dráhového řízení a dosažitelnou jakost obroběných povrchů je prováděn pomocí propojených modelů mechaniky pohonů, nosné stavby stroje a modelu řízení pohonů. [Altintas Y, Brecher C, Weck M, Witt S (2005) Virtual Machine Tool. CIRP Annals 54(2):115–138.]
- Propojené modely mechaniky pohonu a nosné struktury stroje jsou nezbytné pro optimalizovaný návrh kinematického uspořádání pohonu s kuličkovým šroubem a volby komponent. Pouze pomocí propojených modelů lze navrhnout mechanickou stavbu pohonu tak, aby bylo dosaženo vyvážených dynamických vlastností celé soustavy s ohledem na poddajnost nosné struktury stroje a návrh mechanické stavby pohonu nebyl předimenzován, nebo poddimenzován.
- Propojené modely pohonů a nosné stavby stroje jsou účinným nástrojem pro analýzu slabých míst a komponent soustavy pohon – nosná struktura. Pomocí propojených modelů lze identifikovat příspěvky jednotlivých komponent k celkové dynamické poddajnosti a predikovat dosažitelné zesílení polohového regulátoru K_v . Hodnota K_v reprezentuje kvalitu řízení pohonů, její maximalizace je ovšem podřízena limitům dynamických vlastností provázaného systému mechaniky pohonů a nosné struktury stroje.
- Pro komplexní analýzy strukturálních vlastností velkých strojů s významnější nehomogenitou rozložení statické a dynamické tuhosti v místě nástroje v pracovním prostoru stroje jsou vyvíjena řešení přeladitelných modelů na principu soustav mnoha

poddajných těles (Flexible multi-body systems; FlexMBS) [Law M. POSITION-DEPENDENT DYNAMICS AND STABILITY OF MACHINE TOOLS. Dissertation thesis, UBC, Vancouver 2013]

- Specifickou oblastí využití výpočtových modelů mnoha těles jsou analýzy vhodnosti a míry neoptimality volby komponent ve stavbě strojů. 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]
- Teplotně-mechanické modely OS, založené na metodě MKP, jsou vhodným nástrojem pro optimalizaci mechanické stavby OS z hlediska jejího teplotního chování a teplotních deformací. Klíčový problém MKP modelů 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].

Současný způsob řešení problematiky v ČR

- Téma správné přípravy modelů strojů je rozvíjeno v rámci WP01 a WP03 projektu CK SVT řešeného ČVUT v Praze společně s oborovými firmami. Rozvíjeno je v projektu NCK Strojřemství.

Cíle a praktické výstupy pro obor/průmysl

- Optimální návrh mechanické stavby pohonů s kuličkovým šroubem ve vazbě na dynamické vlastnosti připojené nosné struktury stroje.
- Analýzy rozložení statické a dynamické tuhosti v pracovním prostoru stroje.
- Analýzy limitů výkonnosti obrábění v pracovním prostoru stroje.
- Analýzy teplotně-mechanického chování nosných struktur.
- 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 skupin) 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.
- 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 zabývajících se teplotně-mechanickými analýzami.
- Celkem cca 4 – 5 výzkumných pracovníků a 1 – 2 ze spolupracujících podniků.

Doporučený řešitel

- RCMT; matematické ústavy (např. ČVUT FS – Ú12101, UK MFF, MU AVČR); výrobci strojů (TOS Varnsdorf, Tajmac – ZPS, Strojírna TYC, TOS Kuřim, Kovosvit MAS, TOSHULIN a další)

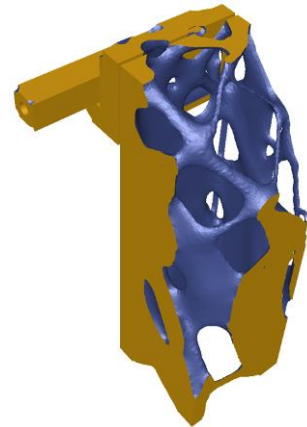
2.3.3. (T32) Moderní výpočtové a návrhové postupy nosných struktur a pohonů

Navrhovatel

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

Vazba tématu na SVA

- U01 Zvyšování a zajištění přesnosti
- U04 Zvyšování výrobního výkonu
- U07 Zvyšování jakosti dosahovaných povrchů
- Zvyšování a zajištění přesnosti - Především zvyšování geometrické přesnosti práce strojů a geometrické a rozměrové přesnosti zpracovovaných dílců
- Zlepšování teplotní stability strojů a homogenity statické a dynamické tuhosti v pracovním prostoru.
- Zvyšování výrobního výkonu - Je třeba zvyšovat výkon samotných strojů pro příslušné operace ale také výkon nástrojů a související automatizace a kontroly. Cílem je výkonnost celé výrobní buňky nebo systému.
- Zvyšování jakosti dosahovaných povrchů - Především zvyšování jakosti obráběných a tvářených povrchů, cílené pozitivní ovlivňování vlnitosti, drsnosti, vzhledu a dalších charakteristik integrity povrchů.



Komentář k aktualizaci

- Téma bylo rozšířeno a přepracováno, aby odpovídalo aktuálním postupům využití výpočtových modelů pro optimalizace nosných struktur. Integrováno je původně samostatně téma T26.

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.
- Pro návrh struktur jsou stále častěji využívány optimalizační metody, 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.
- K optimalizacím návrhů nosných struktur je přistupováno dvěma základními přístupy. Ve vazbě na požadované procesní a technologické využití stroje mohou být optimalizační kritéria definována pomocí nepřímých parametrů, kterými jsou statická tuhost a modální vlastnosti, případně dynamická tuhost. Tyto parametry mohou být následně na základě znalosti technologického využití stroje a jeho zatížení procesními silami přepočítány na přímé parametry přesnosti obrábění, nebo výkonnosti. Druhý přístup spočívá v definici cílových kritérií s využitím přímých parametrů, např. výkonnosti obrábění, přesnosti, nebo jakosti obrobků. Postupy optimalizace s využitím přímých kritérií vyžadují ovšem dobře zvolený rozsah příkladů technologického využití stroje, aby vniklý návrh umožňoval širší využití stroje [ZULAIKA, Juan Jose, CAMPA, Francisco, J. a LOPEZ DE

LACALLE, Luis Norberto. An integrated process-machine approach for designing productive and lightweight milling machines. In: International Journal of Machine Tools and Manufacture. 2011, 51(7-8) 591-604.

- Rozšířené strategie strukturálních optimalizací využívají obvykle kombinace postupů topologické a parametrické optimalizace. Výpočty topologické optimalizace hledají pro dané okrajové podmínky a zátěžné stavy optimální rozmístění materiálu v definovaném návrhovém prostoru při daném požadavku redukce hmotnosti. Na základě topologické optimalizace je návrh rozložení materiálu interpretován do vyrobitelné struktury (odlitek, svařenec) a je možno provádět navazující parametrickou optimalizaci s parametry vnějších rozměrů, nebo tloušťek stěn a žeber. K výpočtům topologické a parametrické optimalizace je k dispozici řada specializovaných komerčních programů (např. TOSCA, OptiStruct, OptiSlang, Optimus)
- Rozšiřování množství optimalizačních 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 High 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].
- Využití nekonvenčních materiálů ve stavbě nosných struktur strojů vyžaduje v některých případech použití specifických modelových reprezentací. 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.
- 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.
- 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, RCMT], [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 WP03 projektu CK SVT řešeného ČVUT v Praze společně s oborovými firmami. Modelování a aplikace nekonvenčních materiálů je rozvíjeno ve WP07 CK SVT. Tém je nově rozvíjeno v projektech DMS SVTPS a NCK Strojírnoství.

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 vícekritériálních 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 postupy a strategie 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.).
- Návrhy optimalizovaných struktur strojů podle kritérií strukturálních vlastností, procesního a výkonového využití, teplotně strukturálního chování.
- Lightweight design - snižování hmotnosti při zachování požadovaných strukturálních, teplotně-mechanických vlastností a výkonového využití OS.
- Vývoj výpočtových modelů pro výzkum strukturálních a teplotně mechanických dějů na spojovacích rozhraních nekonvenčních materiálů a jejich verifikace.
- Metodiky efektivního návrhu vysoce-tuhých komponent z nekonvenčních materiálů při konstrukci stroje. Výzkum příspěvku tlumení jednotlivých komponent na tlumení stroje a výzkum vhodných matematických modelů.
- 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 statistické 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 podíl 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.
- Zvýšení produktivity, přesnosti a jakosti na obrobku jsou přirozeným záměrem výrobců OS. Jedna z cest jak tyto parametry zkvalitnit je ve vhodné aplikaci 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

- Vývoj optimalizačních postupů ve vazbě 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.).
- Aplikace matematických metod (pareto-optimalizace, parametrické výpočty, stochastické metody, analytické metody) se standardně používanými výpočtovými postupy (MKP analýza, topologická optimalizace).
- Integrace modelů výpočtů směrové dynamické poddajnosti v místě nástroje a modelů stability obrábění do návrhových a optimalizačních algoritmů.
- Analýza materiálových, geometrických a dalších nejistot v matematických modelech strojů. Kvantifikace vlivu nejistot na sledované vlastnosti modelu.
- 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.
- Řešitelské kapacity u výzkumných institucí: cca 2 až 4 plné úvazky

Doporučený řešitel

- RCMT; ústavy zabývající se mechanikou, mechatronikou a řízením (např. ČVUT FS – Ú12105, UTIA AVČR); matematické ústavy (např. ČVUT FS – Ú12101, 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.

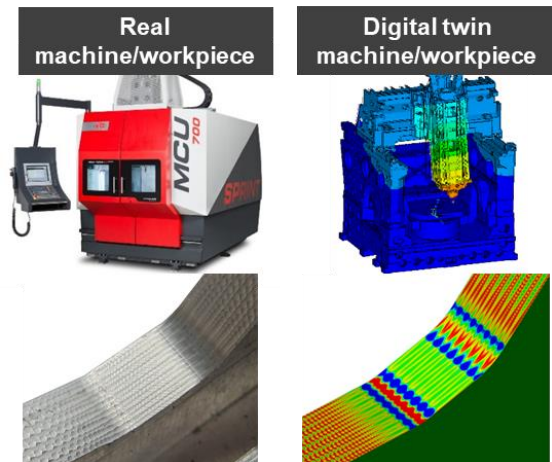
2.3.4. (T64) Digitální dvojče procesu, stroje a systému

Navrhovatel

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

Vazba tématu na SVA

- U01 Zvyšování a zajištění přesnosti
- U02 Zvyšování spolehlivosti
- U04 Zvyšování výrobního výkonu
- U07 Zvyšování jakosti dosahovaných povrchů
- U09 Automatizace strojů a výroby
- U10 Zvyšování inteligence
- Zvyšování přesnosti strojů a práce strojů s využitím digitálních dvojčat strojů a technologického procesu.
- Nabídka autonomního sběru dat o výrobku a vyhodnocování parametrů cp a cpk popisujících způsobilost výrobního procesu.
- Zvyšování výrobního výkonu - Je třeba zvyšovat výkon samotných strojů pro příslušné operace ale také výkon nástrojů a související automatizace a kontroly. Cílem je výkonnost celé výrobní buňky nebo systému.
- Zvyšování jakosti dosahovaných povrchů - Především zvyšování jakosti obráběných a tvářených povrchů, cílené pozitivní ovlivňování vlnitosti, drsnosti, vzhledu a dalších charakteristik integrity povrchů.
- Autonomní provoz - Příprava strojů pro dlouhodobý autonomní provoz pro výrobu s vysokým stupněm automatizace a bezobslužnosti.
- Nabídka inteligentních systémů zpracování a vyhodnocení signálů a dat se zaměřením na maximalizaci spolehlivosti a výkonu. Řešení sdílení znalosti mezi více stroji a výrobními buňkami.



Komentář k aktualizaci

- Téma je zpracováno jako nové. Vychází z původního tématu „Virtuální modely strojů a obrábění“

Stručný popis stavu problematiky ve světě

- Koncept digitálního dvojčete (DT) zahrnuje tři hlavní části: a) fyzikální produkty v reálném prostoru, b) virtuální produkty ve virtuálním prostoru a c) spojení dat a informací, které svazuje virtuální a skutečné produkty dohromady. Během posledního desetiletí se enormně zvýšilo množství, rozsah a věrohodnost informací jak na straně skutečných, tak virtuálních produktů. Na virtuální straně se průběžně zdokonalují informace, které jsou k dispozici. Rozšiřuje se popis charakteristik chování systémů, umožňující nejen vizualizaci produktů, ale také testování jejich funkčnosti a výkonnosti [M. Grieves: *Digital twin: Manufacturing excellence through virtual factory replication*, White paper, 2014].
- Ústředním aspektem DT je schopnost poskytovat různé informace v jednotném formátu. Digitální dvojčata jsou více než jen data, zahrnují algoritmy, které popisují jejich skutečný protějšek a rozhodují o akci ve výrobním systému na základě těchto zpracovaných dat [Werner Kritzinger et al.: *Digital Twin in manufacturing: A categorical literature review and classification*, IFAC PapersOnLine 51-11 (2018), pp. 1016–1022].

- Existují možnosti tvorby zjednodušených („lehkých“) verzí virtuálních modelů. Modely mohou zahrnovat v závislosti na požadované aplikaci pouze vybrané charakteristiky a parametry, což významně snižuje rozměr modelů, dovoluje jejich rychlejší přípravu a rychlé simulace. Lehké virtuální modely představují také výhodu podstatně snížených nároků na čas a náklady pro digitální komunikaci mezi modely, nebo mezi skutečnými a virtuálními systémy. To umožňuje porozumět v kratším čase projevům chování systémů a prohloubit pochopení probíhajících změn.
- V oblasti výroby DT zahrnuje virtuální reprezentaci výrobního systému, schopné běžet na různých simulačních modelech. DT je charakterizováno synchronizací virtuálního a reálného systému díky snímaným datům a připojeným inteligentním zařízením, matematickým modelům a zpracování dat v reálném čase. Aktuální role v rámci výrobních systémů Industry 4.0 spočívá ve využití funkčnosti DT pro předvídání a optimalizaci chování výrobního systému v každé fázi životního cyklu v reálném čase [Negri, Elisa; Fumagalli, Luca; Macchi, Marco: *A Review of the Roles of Digital Twin in CPS-based Production Systems*. In *Procedia Manufacturing*, 11, 2017, pp. 939–948].
- Vzhledem k rozdílné povaze a různým úrovním integrace konceptů DT se rozsah technologií potřebných pro realizaci značně liší. Často uvedené technologie zahrnují simulační metody, komunikační protokoly (např. OPC-UA, MQTT, atd.) a další technologie, které jsou běžně popsány jako základní technologie Industry 4.0 (Internet věcí, cloud computing, velká data atd.).
- Jádrem DT výrobních systémů je virtuální model stroje, nástroje a procesu. Plné modely zahrnují CNC interpolátor stroje, řízení pohonů pohybových os s propojeným modelem mechanické stavby pohonů a nosné struktury stroje a reprezentaci procesu obrábění. Modely slouží k věrohodným predikcím výsledků obrábění s možností analýzy zdrojů chyb obrábění v řetězci CAM – CNC – pohony stroje – mechanická stavba stroje – řezný proces se silovou interakcí mezi nástrojem a obrobkem, nebo mohou poskytovat data pro jejich analýzu a porovnání s daty získanými na stroji. Součástí virtuálních modelů jsou detailní vizualizace výsledků obrábění.

Současný způsob řešení problematiky v ČR

- Téma je v současné době řešeno především v rámci WP01 projektu CK SVT řešeného ČVUT v Praze a oborovými firmami, ve výzkumném záměru VZ5 „Digital Twin“ projektu OP VVV DMS SVTPS a v dílčím projektu DP3 „Digitální dvojče stroje a technologie“ NCK Strojirentství. Aktivity jsou zaměřené na verifikaci a optimalizaci NC kódu s využitím digitálních dvojčat obráběcího stroje a procesu obrábění.

Cíle a praktické výstupy pro obor/průmysl

- Zvýšení spolehlivosti reálných procesů a možnost jejich adaptivního řízení díky využití DT, v němž probíhá sběr dat na stroji a jejich porovnání a analýza s daty získanými z virtuálního modelu. Monitorování stavu zatížení stroje, identifikace stavu řezného procesu s detekcí vzniku nadměrných vibrací (vynucené, nebo samobuzené kmitání), detekce opotřebení nástroje, obrábění poddajných dílců, optimalizace volby strategií obrábění a volby řezných podmínek.
- 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. Předěje 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.
- Virtuální model stroje umožňuje věrohodně testovat alternativní způsoby řízení pohonů a optimalizace dráhového řízení.

- Virtuální model stroje a obrábění se zahrnutím verifikovaného modelu stability řezného procesu umožňuje aplikace pro optimalizaci dráhového řízení a řezných podmínek pro maximalizaci úběru materiálu, zkracování času obrábění, zvýšení jakosti a přesnosti obrobení, nebo zvýšení živostnosti nástroje a umožní ladit technologii obrábění.
- Prostřednictvím virtuálního modelu stroje, jako volitelného doplňku při koupi stroje, může výrobce strojů nabízet pokročilou zákaznickou podporu v přípravě a optimalizaci technologií obrábění. Simulace virtuálního obrábění se mohou stát účinným podpůrným nástrojem technické podpory obchodu pro nabídky vhodných typů strojů podle požadavků zákazníků.

Vlastní odborné zhodnocení přínosu tématu pro obor a průmysl v ČR

- Téma digitálních dvojčat strojů a procesů je možno považovat svým komplexním záběrem 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.
- 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. Aktivity na poli virtuálního modelování se na půdě ČVUT FS, Ú12135 a RCMT zaměřují na vývoj funkčnosti systému pro analýzy chování a výsledků obrábění v řetězci CAM – CNC – pohony stroje – mechanická stavba stroje – řezný proces se silovou interakcí mezi nástrojem a obrobkem.
- Vývoj původních SW nástrojů pro zdokonalenou virtuální analýzu a kontrolu výsledků obrábění v parametrech kvality, přesnosti a času obrábění s důrazem na věrohodné hodnocení virtuálního obrobku.

Způsob dosažení cílů

- Výzkum a vývoj postupů pro zpracování a analýzy velkých dat sbíraných z reálného procesu a virtuálního modelu pro vyhodnocení stavu reálného procesu a možnosti jeho adaptivního řízení. Využití postupů strojového učení a umělé inteligence.
- Vývoj a verifikace řešení komunikace pomocí protokolu OPC-UA.
- Výzkum a vývoj strategií pro možnosti adaptivních zásahů do řízení reálných procesů na základě výstupů DT.
- Výzkum a vývoj prostředků senzoriky stroje a procesu pro sběr procesních dat.
- Vývoj původních postupů pro zvýšení spolehlivosti výsledků obrábění náročných tvarových dílců a dílců se zvýšenou poddajností s využitím DT stroje a procesu. Vývoj a verifikace modelů silové interakce poddaného nástroje a obrobku.
- Výzkum zdokonalených modelů stability obrábění a transientního přechodu do nestability, nebo zvýšené úrovně vibrací s negativními dopady na jakost obrobených povrchů.
- 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.
- Výzkum a 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.
- Celkem cca 5 – 6 výzkumných pracovníků a 1 – 2 ze spolupracujících podniků.

Doporučený řešitel

- Ú12135; ústavy zabývající se mechanikou, mechatronikou a řízením (např. ČVUT FS – Ú12105, UTIA AVČR); matematické ústavy (např. ČVUT FS – Ú12101, UK MFF, MU AVČR); výrobci strojů nabízející zákazníkům odladěné technologie; firmy zabývající se vývojem software; uživatelé strojů zabývající se výrobou tvarově složitých dílů; firmy využívající víceosá či multiprofesní (soustružnicko/frézovací) obráběcí centra.

2.4. Ecodesign

2.4.1. (T33) Snižování energetické náročnosti obráběcích strojů

Navrhovatel

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

Vazba tématu na SVA

- U03 Zvyšování hospodárnosti
- U06 Zvyšování multifunkčnosti, modularity a konfigurovatelnosti strojů
- U11 Snižování negativních dopadů na životní prostředí – Ecodesign
- U12 Zvyšování důvěryhodnosti



Komentář k aktualizaci

- Téma bylo doplněno dle poznatků získaných předchozími pracemi. Do tématu T33 byla zaintegrovaná témata (T103) Optimálně navržené a provozované periférie strojů a (T34) Ecodesign – další environmentální aspekty výroby, provozu a likvidace obráběcích strojů, která tím zanikla.

Stručný popis stavu problematiky ve světě

- Význam energetické efektivity výrobních strojů roste. Již od roku 2013 lze na světových výstavách v čele s EMO vidět zřejmou snahu 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 užité 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 kontinuálně 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.
- Dlouhodobým cílem Evropské unie je snižování zátěže životního prostředí a trvale udržitelný rozvoj. Pro ekodesign energetických spotřebičů byla za tímto účelem přijata směrnice 2005/32/EC.
- Standardní analýzou dopadu na životní prostředí je tzv. LCA analýza (Life Cycle Assessment), 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 strojů. Z provedených analýz vyplynulo, že z hlediska produkce škodlivých efektů je nejdůležitější fáze užití stroje, ve které dominuje faktor spotřebované energie.

- 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 užité vlastnosti stroje. Nejzajímavější z pohledu potenciálních 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 stlačeným vzduchem; hospodaření s řeznou emulzí; energeticky úsporné okruhy hydrauliky; vhodně zvolené a dimenzované chlazené stroje.
- 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.
 - [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/Machine_tools_VA_20Oct09.pdf]
 - [Schichke K., Energy-Using Product Group Analysis, Lot 5: Machine tools and related machinery, 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, Kovošvit MAS a Tajmac-ZPS. V současné době (do roku 2019) 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 produkováných v ČR s možností jejího zobecnění, ověřování metodiky u výrobců OS i u koncových zákazníků, implementace navržené metodiky v průmyslu.
- 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 materiálů 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.
- Zlepšení znalostí o správném dimenzování, výběru a provozu periférií OS.
- Známé energetické profily jednotlivých komponent (chlazení, čerpadla, hydraulika), transparentní spolupráce s výrobcí 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 řezného 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.
- 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 měřících technologií, instalace na strojích, měření, statistické zpracování, stanovení histogramů energetické spotřeby.
- Studium legislativy EU a samoregulačních iniciativ oboru. Zajištění dobré informovanosti českých výrobců OS a spolupráce při přípravě výroby na nadcházející legislativní kroky EU.
- Návrh technických cest k řešení modifikací PLC programů (energy management) a úprav elektroprojektů s cílem snížení energetické náročnosti zařízení
- 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
- Definování strategických postupů pro postupné uvolňování inovací a úsporných opatření a tím udržování dobrého postavení vůči konkurenci.
- Výzkum správného dimenzování, výběru a provozu periférií OS.
- Stanovení energetických profilů jednotlivých komponent (chlazení, čerpadla, hydraulika), transparentní spolupráce s výrobcí 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.
- 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

- RCMT; 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)

2.5. 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

- U02 Zvyšování spolehlivosti
- U03 Zvyšování hospodárnosti

Komentář k aktualizaci

- Téma je stále aktuální. Texty byly mírně doplněny.

Stručný popis stavu problematiky ve světě

- Bezpečnost, spolehlivost a kvalita jsou klíčovými konkurenčními faktory 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 nasazením pokročilých technik a technologií již v předvýrobních etapách vzniku strojního zařízení. Analyzuje se celý životní cyklus strojního zařízení a predikují se možné problémy. Použití zde lze např. metody FMEA (Failure Mode and Effects Analysis), FTA (Fault Tree Analysis) apod. [Fleischer, Schopp: Sustainable Machine Tool Reliability based on Condition Diagnosis and Prognosis. Advances in Life Cycle Engineering for Sustainable Manufacturing Businesses. Proceedings of 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.



- V současné době jsou rozvíjeny techniky pro sběr, správu a analýzu dat v rámci konceptu BigData, k predikci poruch na základě online sbíraných a historických dat jsou využívány neuronové sítě. V současné době toto řešení prediktivní diagnostiky není příliš rozšířené. Vazba na téma BigData a AI pro zlepšení spolehlivosti strojů.
- 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 instruvané 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 asijsí 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

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

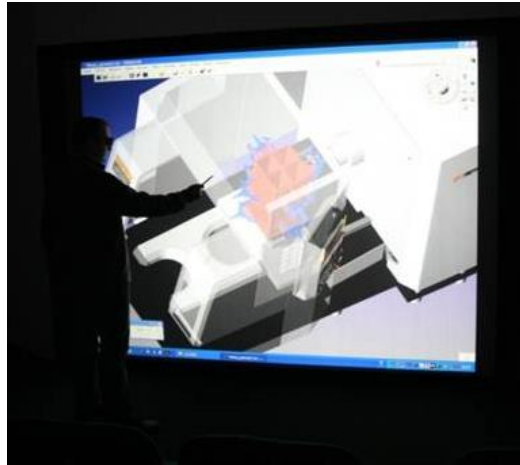
2.5.2. (T36) Analýza rizik při konstrukci strojů

Navrhovatel

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

Vazba tématu na SVA

- U02 Zvyšování spolehlivosti
- U09 Automatizace strojů a výroby
- U10 Zvyšování inteligence strojů
- U12 Zvyšování důvěryhodnosti
- Zahrnutí spolehlivostních aspektů již ve vývojové fázi nového stroje. (Využitelné jak pro bezpečnostní části ovládajícího a řídicího systému stroje, tak i pro standardní ovládací a řídicí funkce stroje.)
- Snadno obsluhovatelné stroje s nízkými nároky na kvalitu obsluhy a její znalosti a zkušenosti, samo-vysvětlující ovládání stroje, technologie schopné včasné detekce chyb. (odolnost strojů proti důvodně předpokládanému nesprávnému chování obsluhy)
- Zvyšování bezpečnosti stroje pro lidskou obsluhu, eliminaci poškození stroje, nástroje, upínače a obrobku. Postupy vyhodnocující nárůst rizik při specifickém využívání stroje, nebo při specifické technologii, manipulaci s obrobky, nástroji, komponentami a díly při údržbě atp. "Online" vyhodnocování rizik již při vývoji strojů, kontakt s obsluhou a údržbou a její varování a „offline“ identifikace významných nebezpečí s využitím technologií virtuální reality a znalostních systémů.



Komentář k aktualizaci

- Text byl aktualizován s přihlédnutím k výsledkům průzkumu nejperspektivnějších dílčích témat výzkumu a vývoje do roku 2025 a úkolům strategie oboru SVT 2030, především ve vazbě na povinnosti výrobců strojů specifikovaných v evropských harmonizačních právních předpisech.

Stručný popis stavu problematiky ve světě

- Bezpečnost, spolehlivost a kvalita jsou klíčovými konkurenčními faktory 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 požadavků harmonizačních právních předpisů EU (splnění minimálních požadavků na bezpečnost stroje a bezpečnost pracoviště obsluhy stroje). V EU se nyní klade vyšší důraz zejména na zajištění odpovídající funkční bezpečnosti 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 stroje (jsou zbytková

rizika přijatelná?), bezpečnosti pracoviště obsluhy stroje (jsou splněny ergonomické a hygienické požadavky?), snadnosti montáže a provozních úkonů obsluhy stroje 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. Použit zde lze např. Systémový a Procesní přístup v synergii s technologií imersní či rozšířené virtuální reality a podpory znalostních systémů. [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 stroje a pracoviště může být podpořeno nasazení technologie imersní nebo rozšířené virtuální reality (Powerwall, Virtual Cave, VR brýle) 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 tzv. 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 neevropským 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. Dufflou: 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, bezpečnosti strojů a pracoviště obsluhy strojů je dlouhodobě řešeno ÚVSSR FSI 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 strojů a pracoviště obsluhy, spolehlivosti bezpečnostních částí ovládacího a řídicího systému strojů v předvýrobních etapách vývoje strojních zařízení.
- Případové studie konstrukce vybraných typů obráběcích strojů a jejich uzlů (checklisty požadavků a preventivních opatření pro snížení rizika).
- Databáze osvědčených řešení funkční bezpečnosti. Rozšiřování databáze komponent a vzorových zapojení splňující požadavky na úroveň vlastností řídicích 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 mimoevropští výrobci konkurují především nízkou cenou strojů, 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

- Prohlubování metodiky využití technologie imersní a rozšířené virtuální reality při zajišťování bezpečnosti, spolehlivosti a kvality strojů a jejich uzlů.
- Aplikace systémového a procesního přístupu na proces posuzování funkční bezpečnosti a spolehlivosti navržených konstrukčních řešení strojů a jejich řídicích/ovládacích obvodů/programů v návaznosti na zajišťování celkové bezpečnosti strojů i místa obsluhy.
- Rozšiřování databáze osvědčených komponent vhodných pro zajišťování funkční bezpečnosti stroje.
- Vývoj znalostní báze požadavků na bezpečnost strojů a pracoviště obsluhy a dále preventivních opatření pro snižování rizik a zajištění potřebné úrovně bezpečnosti stroje.
- Praktické ověření navržených metodik a databáze při komplexním posuzování bezpečnosti stroje a pracoviště obsluhy stroje na případových studiích z průmyslu.

Doporučený řešitel

- ÚVSSR, FSI, 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

- U02 Zvyšování spolehlivosti
- U09 Automatizace strojů a výroby
- U10 Zvyšování inteligence strojů
- U12 Zvyšování důvěryhodnosti
- Zahrnutí spolehlivostních aspektů a aspektů obsluhy stroje již ve vývojové fázi nového stroje (předpokládané nesprávné chování obsluhy stroje, bezpečnostní funkce, vhodnost stroje pro trvalou práci).
- Snadno obsluhovatelné stroje s nízkými nároky na kvalitu obsluhy a její znalosti a zkušenosti, samo-vysvětlující ovládání stroje, technologie schopné včasné detekce chyb 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 nebo včasné uvedení stroje do bezpečného stavu při výskytu těchto závad. Systémy vyhodnocující nárůst rizik při specifickém využívání stroje, nebo při specifické technologii, manipulaci s obrobky a nástroji, bezpečné upevnění obrobku/nástroje na stroji atp. "Online" vyhodnocování rizik, kontakt s obsluhou a údržbou a její varování.



Komentář k aktualizaci

- Text byl aktualizován s přihlédnutím k výsledkům průzkumu nejperspektivnějších dílčích témat výzkumu a vývoje do roku 2025 a úkolům strategie oboru SVT 2030, především ve vazbě na povinnosti výrobců strojů specifikovaných v evropských harmonizačních právních předpisech.

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 nebo při jejich výskytu „online“ identifikovat zvýšení rizika a uvést stroj do bezpečného stavu. 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 včasné nasazení pokročilých technik a technologií již v předvýrobních etapách vzniku strojního zařízení. Analyzuje se celý životní cyklus strojního zařízení a predikují se možné problémy. Použití zde lze např. systémový a procesní přístup, metody FMEA (Failure Mode and Effects Analysis), FTA (Fault Tree Analysis) apod. [Omron: Machine Safety Guide 2012 – Creating a safe industrial world!; Siemens: Guide to machine safety standards and safety terminology – White Paper 2013; European Commission 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 systémové analýzy provádět komplexní hodnocení spolehlivosti a nákladů na provoz zařízení RAMS+C (Reliability, Availability, Maintainability, Safety + Costs – spolehlivost, dostupnost, udržitelnost, 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, FSI, 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.
- Případové studie realizací jednotlivých typických funkcí strojů.
- Metodika posuzování bezpečnosti provozu stroje (trvalá práce).
- 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 neevropští výrobci konkurují především 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 vhodnosti stroje pro trvalou práci a zaškolení obsluhy 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 požadavcích, 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 požadavků na trvalou práci obsluhy stroje.
- Vývoj nástrojů pro hodnocení zařízení z hlediska zátěže životního prostředí.

Doporučený řešitel

- ÚVSSR, FSI, VUT v Brně, RCMT; výrobci obráběcích strojů; výrobci komponent a univerzálních konstrukčních celků.

2.5.4. (T58) Benchmarking a analýza technicko-užitných vlastností strojů

Navrhovatel

- doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D., prof. Dr. Ing. Jiří Marek, Ph.D., DBA a kol. (VUT v Brně)

Vazba tématu na SVA

- U05 Zvyšování využitelnosti strojů
- U12 Zvyšování důvěryhodnosti
- Téma je zaměřené na proces tvorby (konstrukce, výroba, montáž) a užívání (provozování u uživatele) CNC obráběcích strojů a hledání nejlepších řešení prostřednictvím systematického porovnávání vlastností, které doprovází tyto procesy. Na základě zkušeností a nejlepší praxe mezi jednotlivými typy CNC obráběcích strojů lze identifikovat příležitosti ke zlepšení procesů a postupů při jejich tvorbě a užívání a systematicky budovat důvěryhodnost a zvyšovat prestiž výrobce stroje.

Komentář k aktualizaci

- Text byl navržen s přihlédnutím k výsledkům průzkumu nejperspektivnějších dílčích témat výzkumu a vývoje do roku 2025 a úkolům strategie oboru SVT 2030.

Stručný popis stavu problematiky ve světě

- Zahraniční výrobci a uživatelé hodnotí CNC obráběcí stroje dle celé řady užitných vlastností, které jsou nositelem jeho užitné hodnoty, (užitečnosti) a ve svém souhrnu určují, jakým způsobem a k jakému účelu bude stroj použit. Užitné vlastnosti se vytvářejí při jejich konstruování, výrobě a montáži a jsou potvrzeny ve sféře spotřeby, při provozu u jednotlivých zákazníků. Bez ohledu na konkrétní druh CNC obráběcího stroje je možné ve vztahu k užitné hodnotě charakterizovat tyto jeho základní užitné vlastnosti:
 - a) přesnost: geometrická i pracovní
 - b) funkčnost: schopnost CNC obráběcího stroje plnit nejlépe v určitém okamžiku požadovanou funkci (například obrábět s požadovanou jakostí);
 - c) spolehlivost: schopnost CNC obráběcího stroje zabezpečovat plnění požadovaných funkcí za daných podmínek po stanovenou dobu bez a závad;
 - d) udržovatelnost: vlastnost CNC obráběcího stroje umožňující jeho údržbu pracovně i časově nenáročným způsobem během i mimo provoz;
 - e) ovladatelnost: schopnost CNC obráběcího stroje plnit svoji funkci bez požadavku nadměrné námahy v okamžiku, když ho obsluha obsluhuje;
 - f) zdravotně-hygienická nezávadnost: schopnost CNC obráběcího stroje pracovat za podmínek, které jsou v souladu se zásadami a hygieny a bezpečnosti. Jeho konstrukce musí zajišťovat tu skutečnost, že nedojde k poškození zdraví uživatele nebo okolí;
 - g) opravitelnost- schopnost CNC obráběcího stroje být po odstranění vzniklých poruch a závad opět funkční;
 - h) hospodárnost tvorby a provozování CNC obráběcího stroje;
 - i) Smart SW aplikace pro usnadnění obsluhy stroje a jejich SW a HW připravenost pro implementaci do konceptů Průmyslu 4.0;
 - j) snižování negativních dopadů na životní prostředí v důsledku provozování CNC obráběcích strojů;

- k) estetická působivost: vlastnost CNC obráběcího stroje uspokojovat estetické potřeby člověka. Hmotným předpokladem estetické působivosti je jeho vzhled neboli výtvarná stránka, nazývaná design.

Současný způsob řešení problematiky v ČR

- V české republice nejsou CNC obráběcí stroje hodnoceny v takto komplexní šíři. Užité vlastnosti jsou hodnoceny často odděleně a nekomplexně, což vede často k mnoha fatálním omylům. Souvisí to především s nízkým povědomím o systematickém hodnocení v celé šířce možností všech užitečných vlastností.

Cíle a praktické výstupy pro obor/průmysl

- Vyvinout metodiku pro hodnocení užitečných vlastností CNC obráběcích strojů. Řešit uplatnění nových přístupů jako je např.:
 - a) psychologická analýza;
 - b) metody BOZP;
 - c) management rizik;
 - d) virtuální realita;
 - e) systémová/konstrukční FMEA;
 - f) systémový a procesní přístup k vývoji strojů.

Vlastní odborné zhodnocení přínosu tématu pro obor a průmysl v ČR

- Navržená metodika hodnocení užitečných vlastností umožní výrobcí CNC obráběcích strojů identifikovat příležitosti pro zlepšení svých konstrukcí a metod tvorby strojů samotných.
- Navržená metodika hodnocení užitečných vlastností umožní uživateli CNC obráběcích strojů vybrat optimální variantu pro jeho typ obrobků a typ průmyslu, v kterém obrábění probíhá.

Způsob dosažení cílů

- Vytipováním užitečných vlastností pro jednotlivé typy CNC obráběcích strojů bude vytvořen základ pro navrhovanou metodiku.
- Sestavení metody pro jejich vyhodnocování, bude probíhat na základě systémového přístupu, který bude reflektovat jednotlivá specifika typu průmyslu a typu CNC obráběcího stroje.
- Vše bude verifikováno a posléze validováno za použití moderních přístupů a technik uvedených v cílech praktických výstupech.

Doporučený řešitel

ÚVSSR, FSI, VUT v Brně; RCMT; Institute of Applied Psychology Brno, výrobci CNC obráběcích strojů (obecně); výrobci komponent a univerzálních konstrukčních celků; uživatelé výrobních strojů (obecně).

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

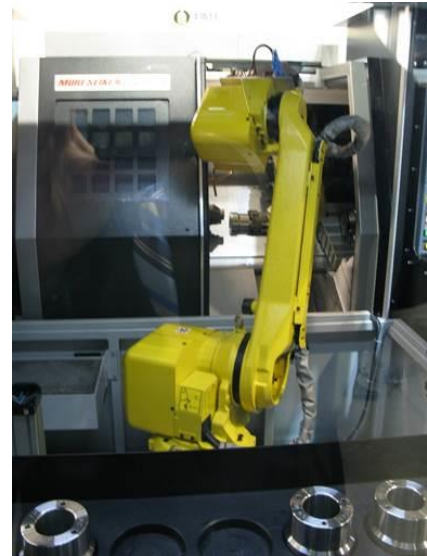
- U03 Zvyšování hospodárnosti
- U04 Zvyšování výrobního výkonu
- U05 Zvyšování využitelnosti strojů
- U09 Automatizace strojů a výroby
- U11 Snižování negativních dopadů na životní prostředí – Ecodesign

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 [výstavy IMTS, EMO, JIMTOF aj.]. 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) logistiku 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 senzory, 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).
- Potřeba automatizace v menších provozech dala v posledních letech vzniknout řadě přídavných obslužných buněk (obvykle s robotem), které zajišťují AVO, AVN, postprocessing dílce (odjehlení, čištění, měření atd.). Hlavním rysem těchto řešení je snadné napojení na obráběcí stroj, často bez nutnosti zásahu do PLC stroje. Příkladem jsou řešení z nabídky DMG Automation nebo firmy Halter.
- Vedle toho se rozvíjí flexibilní automatizace založená na mobilních robotech. Jedná se o alternativu k robustnějším systémům s centrálním zakladačem dílců a nástrojů.

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. V neposlední řadě do problematiky spadá návrh robotických buněk realizovaných firmami TOSHULIN, TOS Varnsdorf nebo TGS.

Cíle a praktické výstupy pro obor/průmysl

- Vývoj integrovaných prvků pro automatizaci výrobních procesů. Integrace mechanické konstrukce, sensoriky, 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 nadřazenými 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

- RCMT (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. (T60) Roboty ve výrobní technice

Navrhovatel

- Ing. Eduard Stach, Ph.D. a kol. (ČVUT v Praze)

Vazba tématu na SVA

- U03 Zvyšování hospodárnosti
- U06 Zvyšování multifunkčnosti, modularity a konfigurovatelnosti strojů
- U09 Automatizace strojů a výroby

Stručný popis stavu problematiky ve světě

- Největší poměr zastoupení robotů ve výrobní technice je v oboru automatizace a svařování, kde mají neocenitelný přínos ke zvyšování produktivity výroby a snižování výrobních nákladů [EMO2017]. V automatizaci výrobních strojů jsou roboty využívány primárně v systémech automatické výměny obrobků a nástrojů.
- Poslední dobou jsou na oborových výstavách patrné obráběcí stroje doplněné o flexibilních systémy automatické výměny obrobků (DMG MORI, Agile, RoboJob, MRC, AWR) jejichž hlavními znaky je mobilita (možnost přesunout AVO systém k jinému stroji), zaměření na relativně menší polotovary a obrobky a převládající využití pětiosých robotů [EMO2017]. Jsou proto vhodné i pro malosériovou výrobu, přesto hlavní překážkou jejich širšímu nasazení je mimo ceny také implementace k obráběcímu stroji a adaptace řízení na nové zakázky.
- V poslední době je patrná snaha zapojit roboty (převážně pětiosé) i do samotného výrobního procesu. V porovnání s obráběcím strojem vychází robot levněji na podobně velký pracovní prostor, ale s menšími zástavbovými rozměry. Mezi hlavní výzvy využití robotů pro obráběcí operace patří jejich přesnost polohování, vysoká a variabilní poddajnost, prostorové odchylky, chatter, programování, ale i výběr vhodného robota. [Ozturk: Increasing Role of Robots in Machining, CIRP 2017]
- Implementace robotů probíhá buď pro obrábění (obrábí robot sám nebo několik robotů synchronizovaně) nebo do obráběcích strojů, kde robot nějakým způsobem asistuje obráběcímu stroji. Může se jednat např. o obrábění mimo dosah obráběcího stroje (na straně protilehlé vřetení) nebo o podepření tenkostěnného obrobku při frézování [Ozturk: Robotic assisted milling for increased productivity, CIRP Annals 2018]. Další možností je implementace robotů do hybridních strojů jako nosiče neobráběcí technologie např. WAAM, LDS, Fiber Placement, aj. [Tunc: Tool axis selection in robotic 5-Axis milling based on robot kinematic, CIRP 2018]
- Roboty jsou vzhledem ke svým vlastnostem využívány pro nízkoúrovňové aplikace jako například odjehlování, srážení hran, obrábění plastů nebo méně náročné obrábění duralu.
- Kompenzace chyb polohování na základě real-time měření řezných sil kombinovaných s virtuálním modelem přináší až 70% zlepšení přesnosti při obrábění vnějších ploch. [Shreyes: A New Approach to Improving Machining Accuracy in Robotic Milling, CIRP 2017]



Současný způsob řešení problematiky v ČR

- Téma roboty ve výrobní technice je řešeno výzkumnými organizacemi i výrobci obráběcích strojů především z pohledu automatické výměny nástrojů nebo obrobků. Aplikace robotů pro obrábění není v ČR vyjma RCMT systematicky řešeno.

Cíle a praktické výstupy pro obor/průmysl

- Zvýšení přesnosti polohování a snížení prostorové odchylky polohy.
- Zkvalitnění řízení struktury s nízkou poddajností.
- Řízení robotů standardním řídicím systémem CNC strojů.
- Implementace CNC funkcionality do řídicího systému robotů.
- Zkvalitnění stability obrábění.
- Benchmarking robotů pro přesnost polohování, zatížení, dynamickou poddajnost.
- V případě systémů automatické výměny obrobků zvýšení flexibility skladování, manipulace a programování systému pro různé typy obrobků a polotovarů.

Vlastní odborné zhodnocení přínosu tématu pro obor a průmysl v ČR

- Implementace robotů do výrobních strojů má přínos pro rozšíření jejich multifunkčnosti. Výrobní stroje efektivně využívající robotů budou přispívat k minimalizaci vedlejších časů a k vyšší produktivitě výroby. Roboty provádějící samostatně obráběcí operace, tam kde to je smysluplné, mají potenciál snížení nákladů v porovnání se stavbou srovnatelného stroje.

Způsob dosažení cílů

- Vývoj kalibračních metod robotů.
- Návrh a vývoj přídavných odměřovacích systému pětiosých robotů.
- Vývoj fotogrametrických metod odměřování polohy efektoru.
- Vývoj virtuálních modelů robotu a efektoru umožňujících mapovat poddajnost robotu v závislosti na poloze v pracovním prostoru.
- Implementace offline a online kompenzací polohy nástroje.
- Modelování a optimalizace řezného procesu.
- 2 lidé z RCMT; 3 lidé ze spolupracujících podniků.

Doporučený řešitel

- RCMT; CIIRC, výrobci strojů.)

2.6.3. (T65) Integrace a komunikace strojů s vyššími výrobními celky

Navrhovatel

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

Vazba tématu na SVA

- U03 Zvyšování hospodárnosti
- U09 Automatizace strojů a výroby
- U10 Zvyšování inteligence strojů



Stručný popis stavu problematiky ve světě

- Integrace strojů do systémů plánování podnikových zdrojů (ERP) a systémů řízení výroby (MES) je jasným trendem v oblasti výroby. Díky možnosti přímé komunikace s výrobními kapacitami je možné lépe organizovat celou výrobu, eliminovat chyby a sledovat vytížení jednotlivých strojů. V současné době se tomuto tématu věnuje řada výrobců výrobních strojů, nicméně v řadě případů jde zatím „pouze“ o sledování stavu stroje a logování dat do nějakého úložiště (tzv. historian). V případě sledování stavu zakázky je ve velkém počtu případů stále ještě využíváno systému čárových kódů, kdy při dokončení pracovního příkazu nebo operace dochází k oznámení do nadřazeného systému načtením příslušného čarového kódu. Řídicí systém výrobního stroje je v takovém případě z komunikace o stavu zakázky zcela vyřazen.
- Propojení výrobních strojů se systémy pro logování dat velice často využívá OPC-UA komunikace, která se stává v Evropě standardem v oblasti připojení strojů. Např. řídicí systémy Siemens Sinumerik mají OPC-UA server implementovaný přímo ve svém jádře a řada ERP a MES systémů mají implementován OPC-UA klient. Výhodou této komunikace je multiplatformnost a dostupnost datového modelu serveru přímo v klientu.
- Trendem je také provozování systémů pro logování dat i řízení výroby na virtuálních stanicích (cloudové řešení), které neklade tak vysoké nároky na zajištění provozu IT technologií (ty jsou pronajímány na cloudu formou služby). Nevýhodou však může být rychlost připojení jednotlivých výrobních technologií do cloudu. Toto řešení ale s výhodou využívá komunikací jako je např. OPC-UA, která umožní data zasílat zabezpečeně přes internet. Příkladem cloudového řešení je např. Siemens MindSphere.
- Je patrná snaha integrovat rozhraní pro sledování stavu stroje i zakázky přímo do řídicího systému, aby byl jednotný interface pro operátora – stav stroje, stav pracovního příkazu, stav operace, přihlašování/odhlašování operací, návodky atd. Takovéto řešení pak může nabídnout přehledný systém správy stroje a zakázek, který významným způsobem zvýší efektivitu komunikace s operátorem a tím i jeho výkonnost. V této oblasti se začínají prosazovat hlavně velcí výrobci strojů (např. DMG se systémem CELOS), ale také tuzemští výrobci, např. TOS Varnsdorf se systémem TOS Control.
- Hlavním současným problémem v oblasti logování dat i napojení na systémy řízení výroby a plánování podnikových zdrojů je nejednotnost v zasílaných datech. Technické zajištění komunikace je v tomto ohledu připravené a dostupné pomocí řady technologií (např. OPC-UA), ale definice sdílených proměnných je v řadě případů rozdílná výrobce od výrobce. Nicméně i v této oblasti se objevují trendy unifikace, např. definice univerzálního machine tool interface dle Umati – www.umati.info, která kombinuje standardizované parametry a proměnné strojů s uživatelsky definovatelnými.

Současný způsob řešení problematiky v ČR

- V ČR se v poslední době objevuje řada projektů, které se zabývají propojením výrobních kapacit s nadřazenými systémy. Jedná se ale většinou o solitérní projekty řešící jen část celkového problému, velice často zaměřené na logování a vyhodnocení dat z řídicího systému.
- Systematické řešení ve vývoji takovýchto systémů integrujících výrobní kapacity s nadřazenými systémy ale začíná být patrné z iniciativ, které se zaměřují Průmysl 4.0. Příkladem je např. program TREND, jehož prostřednictvím je realizována právě iniciativa Průmysl 4.0.
- Příkladem projektu zaměřeného na integraci obráběcích strojů přímo do ERP/MES systému včetně identifikace aktuálního stavu stroje je FV30334 „Chytrý obráběcí stroj“, jehož řešiteli jsou TOS Varnsdorf a ČVUT v Praze – Ú 12135 (RCMT).

Cíle a praktické výstupy pro obor/průmysl

- Systém integrace obráběcího stroje a nadřazeného systému (ERP/MES) využívající OPC-UA komunikace a umožňující sledování stavu stroje i sledování a management stavu zakázky (pracovního příkazu a operace).
- Implementace uživatelského prostředí do řídicího systému umožňujícího správu a management jednotlivých pracovních příkazů a operací (přihlašování a odhlašování operace, přehled operací a pracovních příkazů)
- Identifikace minimálních nezbytných parametrů řídicího systému výrobního stroje pro určení jeho základního stavu a rozšíření těchto parametrů pro specifické skupiny strojů.
- Unifikace komunikace mezi řídicím systémem výrobního stroje a systémy pro plánování podnikových zdrojů a řízení výroby.
- Stanovení požadavků na kybernetickou bezpečnost a návrh způsobu zajištění dat, zejména v případě provozování služeb na vzdáleném virtuálním systému (cloud).

Vlastní odborné zhodnocení přínosu tématu pro obor a průmysl v ČR

- Hlavním přínosem integrace strojů do systémů pro plánování podnikových zdrojů a řízení výroby je možnost jejich plné a efektivní kooperace s ostatními výrobními i manipulačními systémy. Tím je možné výrazně zefektivnit provoz strojů a omezit neplánované odstávky.
- Klíčovým prvkem je také vytvoření přehledného uživatelského prostředí pro operátora, který musí obdržet informace ve správné formě i čase tak, aby jim snadno rozuměl a pomohl mu při výrobě.
- Důležitá je také snadná integrace strojů z hlediska jejich komunikace. V tomto ohledu je např. OPC-UA velice efektivním nástrojem jak propojit datový model stroje s nadřazeným systémem.
- Aby bylo možné připojovat stroje bez nutnosti větších úprav systému a bez zbytečných prostojů, je nezbytná unifikace vyměňovaných dat. Díky tomu bude možné využít různé softwarové nástroje v rámci vyšších výrobních celků a nebude docházet k omezení multiplatformosti jednotlivých zařízení.

Způsob dosažení cílů

- Detailní studium možnosti propojení řídicích systémů výrobních strojů a systémů pro plánování podnikových zdrojů a řízení výroby.
- Návrh propojení (např. pomocí OPC-UA) a definice rozhraní na základě analýzy minimálních požadavků na výměnu dat a standardizace.
- Návrh a realizace propojení vybraného stroje se systémem pro plánování podnikových zdrojů/řízení výroby.

- Příprava uživatelského rozhraní přímo na panelu řídicího systému výrobního stroje umožňující přehledné ovládání systému a management výroby.
- Testování systému při výrobě.

Doporučený řešitel

- RCMT (ČVUT FS – Ú12135;) výrobci strojů (obecně); výrobci CNC řídicích systémů; firmy zabývající se vývojem software; uživatelé výrobních strojů (obecně); specializovaná pracoviště na ČVUT FEL a ČVUT CIIRC.

3. Řízení a inteligence

3.1. Řízení a mechatronika

3.1.1. (T40) Přídavné odměřovací systémy u obráběcích strojů

Navrhovatel

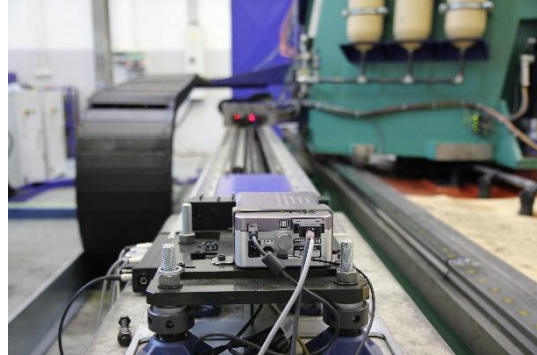
- Ing. Jiří Švéda, Ph.D. a kol. (ČVUT v Praze)

Vazba tématu na SVA

- U01 Zvyšování a zajištění přesnosti
- U02 Zvyšování spolehlivosti
- U03 Zvyšování hospodárnosti
- U07 Zvyšování jakosti dosahovaných povrchů

Komentář k aktualizaci

- Téma je stále aktuální. Provedena byla aktualizace textů v oblasti aplikací přídavných odměřovacích systémů s ohledem na jejich implementaci do strojů.



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 stroje 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 ožívání 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 v RCMT v rámci řešení projektu „Mechatronický koncept vodorovných strojů“ spolu s TOS Varnsdorf (MPO projekt FI-IM5/121) a pokračuje nyní v rámci projektů CK SVT a NCK S. Optické odměřovací systémy mohou být složeny z jednotlivých optických komponent (např. komponenty Newport, DUMA, Thorlabs) nebo tvořeny samostatnými měřicími zařízeními (např. Renishaw XM-60 – 6DOF interferometr).
- Implementace přídavných odměřovacích systémů přímo do mechanické struktury obráběcího stroje představuje náročný úkol. Proto je výhodné vybavit integrovanými přídavnými odměřovacími systémy jen ty uzly stroje, které se nejvíce podílí na vzniku celkové nepřesnosti. V případě nemožnosti integrace odměřování přímo do mechanické struktury stroje je možné využít externí přídavné odměřovací systémy, které měří pohyb stroje při nějakém referenčním pohybu (nájezd na snímač, interferometr v pracovním prostoru atd.) nebo trekují obecný pohyb stroje (trekovací systémy – např. laser tracker Leica AT960). Výhodou externích přídavných odměřovacích systémů je jejich přenositelnost mezi jednotlivými stroji, které ovšem musí být pro implementaci takovýchto odměřování připraveny – zejména z hlediska software, ale i připojovacích mechanických bodů.
- Mechanické přídavné odměřovací systémy jsou další 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 v RCMT 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 RCMT ČVUT v Praze a firmy TOS Varnsdorf v rámci navazujících projektů MPO. Téma je dále rozvíjeno v rámci projektů CK SVT a NCK S řešených výzkumnými organizacemi a oborovými firmami.

Cíle a praktické výstupy pro obor/průmysl

- Přídavná měřící zařízení. Hlavním cílem je vývoj a experimentální testování přídavných měřících zařízení (včetně využití komerčně dostupných produktů jako součástí celkového systému přídavných odměřování) 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, ale také připojené ke stroji externě ve formě přenosných přídavných odměřování. 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 poddajnosti mechanické struktury.

Způsob dosažení cílů

- Detailní studium a výběr vhodných metod přídavných odměřovacích systémů pro měření deformace stroje.
- 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).
- Analýza snímačů a odměřovacích systémů pro využití v roli externích přídavných odměřování, propojení snímačů a odměřovacích systémů s řídicím systémem stroje.
- Návrh kompenzačních algoritmů pro kompenzaci deformace stroje na základě měřených veličin přídavnými odměřováními, pro testovací stand nebo reálný stroj.

- Implementace navržených kompenzací na reálný stroj (stand) a řídicí systém.

Doporučený řešitel

- RCMT (ČVUT FS – Ú12135); ústavy zabývající se mechanikou, mechatronikou a řízením (např. ČVUT FS – Ú12105, UTIA AVČR); výrobci strojů (TOS Varnsdorf, TOS Kuřim Škoda Machine Tool); výrobci CNC řídicích systémů (Siemens, Heidenhain, MEFI); 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 (Newport, DUMA, Thorlabs, Renishaw atd.).

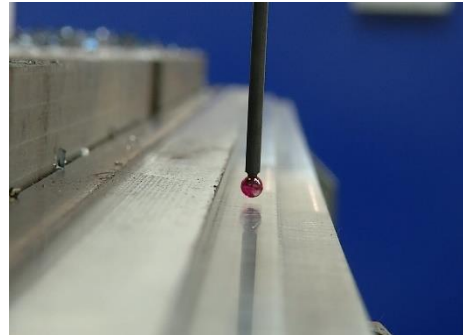
3.1.2. (T101) Inprocesní měření

Navrhovatel

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

Vazba tématu na SRA

- U01 Zvyšování a zajištění přesnosti
- U02 Zvyšování spolehlivosti
- U03 Zvyšování hospodárnosti
- U04 Zvyšování výrobního výkonu



Komentář k aktualizaci

- Téma je aktualizováno dle aktuálního stavu techniky a doplněno o další systémy inprocesního měření a kompenzace deformací mechanické struktury.

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 dotkových nebo i skenovacích sond integrovaných do vřetene stroje, např. Renishaw, Heidenhain.
- Jedním z hlavních problémů současných řešení měření obrobků přímo ve stroji je dosažitelná přesnost. Nositelem dotkové sondy je mechanická struktura obráběcího stroje, jejíž nepřesnost je přenesena také do měření. Přesnost je ve srovnání s řezným procesem zvýšena pouze díky nepřítomnosti řezných sil při měření anebo nově také nájezdem na referenční objekt.
- Integrace systému inprocesního měření tvaru obráběného dílce 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 – metrologický software.
- Standardní postup výroby velkých rozměrných dílců je založen na iterativním procesu, kdy je dílec nejdříve obroben na obráběcím stroji s malým přídavkem, následně přenesen na souřadnicový měřicí stroj, proměřen a přenesen zpět na obráběcí stroj. Identifikované odchylky na souřadnicovém měřicím stroji jsou převedeny do modifikovaného NC programu, který je odbaven na obráběcím stroji. Toto se opakuje až do doby, kdy je dílec vyroben v požadované toleranci. Tento postup je ale pracný (zejména v případě manipulace s rozměrnými dílci) a náchylný na vznik chyb (zejména chyby v opětovném upnutí dílce a vytvoření nového NC programu).
- Inprocesní měření nepředstavuje pouze měření skutečného tvaru vyráběného dílce, ale také integrace dalších snímačů a systémů pro vyhodnocení stavu stroje – např. měření zrychlení, teploty, deformace vybraných uzlů atd. Tyto informace pak mohou být využity pro diagnostiku strojů a stanovení jeho aktuálního stavu, ale ve spojitosti s různými aktuátory také pro kompenzace (teplotní kompenzace, potlačení vibrací atd.). Současné systémy tohoto druhu inprocesního měření jsou však ve značné míře izolované a propojené se strojem a ostatními systémy jen ve velmi omezené míře. Velkou výzvou je tedy zejména integrace takovýchto systémů a využití synergického efektu pro dosažení vyšší přesnosti a spolehlivosti strojů.
- Jedním z klíčových uzlů obráběcího stroje je vřeteno, které 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]. Kromě teplotních deformací navíc vznikají i axiální posunutí z

důsledku čistě mechanického chování vřetene. Ke kompenzaci vzniklých axiálních posunutí vřeten (ať už z důsledku teplotního či čistě mechanického) se používají vestavěné bezkontaktní snímače polohy (např. fa. Micro-Epsilon), které však v současných řešeních naráží na značná omezení. Vývoj snímačů a systémů pro souvislé měření deformace vřeten je tak jedním z klíčových cílů výzkumu a vývoje v této oblasti.

Stručný popis stavu problematiky ve světě

- Téma je systematicky rozvíjeno konsorciem firem a výzkumných organizací v rámci projektů CK SVT/NCK S.

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 inprocesní/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 (metrologický software) 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.
- 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 metody inprocesního měření je zvýšení produktivity výroby přesných dílů velkých velikostí (odpadá nutnost manipulace s dílcem mezi obráběcím strojem a souřadnicovým měřicím strojem).
- 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.
- Přínosem tématu je dlouhodobé zvýšení dosažitelné provozní přesnosti výrobních strojů, lepší využití potenciálu jejich mechanické stavby, zvýšení jakosti a spolehlivosti výroby. Díky inprocesnímu měření využívajícím různé typy senzorů je možné identifikovat stav mechanické struktury a účinně a automaticky tak reagovat na nežádoucí změny. Tím bude dosaženo vyšší konkurenceschopnosti běžně produkovaných typů strojů v ČR.

Způsob dosažení cílů

- Detailní studium a návrh topologie systému inprocesního měření – systém měření skutečného tvaru dílce i systém identifikace stavu stroje pomocí dalších snímačů.
- 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 – integrovaná odměřování, ale také externí snímací a trekovací systémy.

- Návrh přídavných odměřování klíčových uzlů stroje (např. vřeteno) pro identifikace deformací (včetně teplotních deformací) a stavu stroje.
- Výzkum v oblasti měření polohy v prostoru: výzkum nových principů odměřování; zvětšení pracovního prostoru a přesnosti laser-trackeru ve smyslu zvýšení pracovního rozsahu odražeče.
- Příprava a provedení experimentálního ověření metody inprocesního měření na reálném stroji (řídící systém obráběcího stroje, metrologický software, dotykové a skenovací sondy, přídavné odměřování, konstrukční materiál).
- Implementace navrženého systému na reálný stroj a řídicí systém.

Doporučený řešitel

- RCMT (ČVUT FS – Ú12135); 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 atd.); výrobci obráběcích strojů; uživatelé s vysokými nároky na přesnost a produktivitu obráběných dílů.

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

Navrhovatel

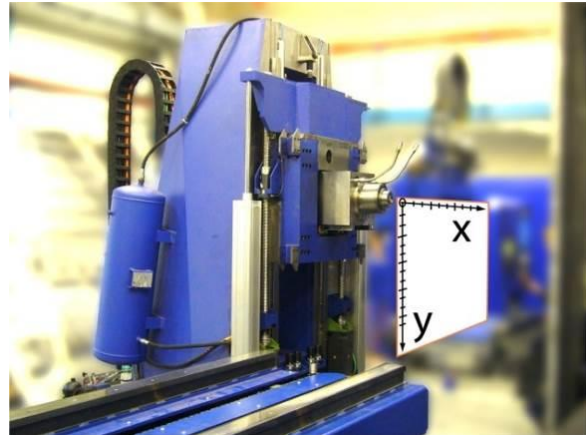
- Ing. Jiří Švéda, Ph.D. a kol. (ČVUT v Praze)

Vazba tématu na SVA

- U01 Zvyšování a zajištění přesnosti
- U07 Zvyšování jakosti dosahovaných povrchů

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.



Stručný popis stavu problematiky ve světě

- Přímocharý 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 vřetení, která je umístěna v zásobníku nástrojů a automaticky se aktivuje při upnutí do vřetená. 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 dynamicky, během pohybu stroje. Na základě získaných dat jsou automaticky

aaktualizovány 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 RCMT, 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

- RCMT; ústavy zabývající se mechanikou, mechatronikou a řízením (např. ČVUT FS – Ú12105, UTIA AVČR); matematické ústavy (např. ČVUT FS – Ú12101, 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.

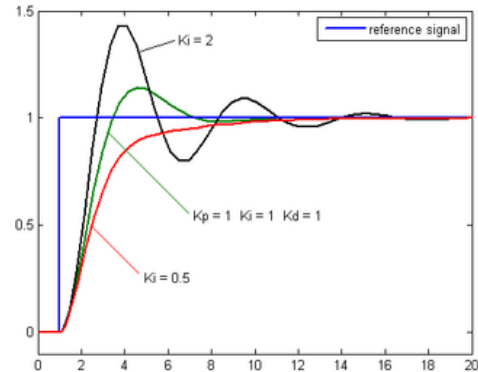
3.1.4. (T42) Nové strategie pro zvýšení přesnosti a kvality dráhového řízení

Navrhovatel

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

Vazba tématu na SVA

- U01 Zvyšování a zajištění přesnosti
- U07 Zvyšování jakosti dosahovaných povrchů
Intelligence strojů: Pokročilé metody
zpětnovazebního řízení pohonů
- Stavba strojů: Mechatronické zdokonalování
vlastností strojů
- Adaptivní řízení pohonů zohledňující změny dynamického chování stroje při změně polohy
pohybových os.
- 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.



Komentář k aktualizaci

- Téma bylo aktualizováno a doplněno o rozšiřující funkce CNC systémů pro vyšší přesnost a kvalitu dráhového řízení.

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 nadřazená 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). Doplnující filtry typu dolní propust, pásmová zadrž 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.).
- 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.
- Přesnost a jakost obrobených ploch je významně ovlivněna na úrovni pokročilých funkcí interpolace NC dat v CNC systému. Výrobci CNC řídicích systémů nabízí řadu rozšiřujících funkcí pro vyšší přesnost a kvalitu dráhového řízení. Systém Heidenhain nabízí v rámci balíku *Dynamic precision* pro dokončovací operace funkce CTC (Compensation of Acceleration Dependant Position Errors) a AVD (Active Vibration Damping), které jsou výhodnější alternativou dosavadních funkcí filtrů HSC. Systém SIEMENS nabízí cyklus 832 s volbou nastavení pro prioritizaci rychlosti obrábění, přesnosti, nebo jakosti tvarových ploch. Funkce TopSurface, která se uplatní především při obrábění komplexních tvarových ploch, nahrazuje funkci COMPSURF a optimalizuje NC data vytvořená v CAM pro zlepšení přesnosti a kvality povrchu obrobku. Podobně i další CNC systémy (FANUC, MAZATROL a další) nabízí vlastní funkce pro vyšší přesnost a kvalitu dráhového řízení.

Stručný popis stavu problematiky ve světě

- Téma je rozvíjeno především v rámci WP4 projektu CK SVT, který řeší ČVUT v Praze s oborovými firmami. Téma je nově rozvíjeno v projektu DMS SVTPS a NCK Strojírenství.

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: zdvojení pohonů (mj. oboustranný náhon kuličkového šroubu); využití předřazených filtrů a dalších kompenzačních členů, např. reciprokových 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

- RCMT; ústavy zabývající se mechanikou, mechatronikou a řízením (např. ČVUT FS – Ú12105, 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. Jiří Švéda, Ph.D. a kol. (ČVUT v Praze)

Vazba tématu na SVA

- U02 Zvyšování spolehlivosti
- U04 Zvyšování výrobního výkonu
- U07 Zvyšování jakosti dosahovaných povrchů
- U10 Zvyšování inteligence strojů



Komentář k aktualizaci

- Téma je aktuální, byly doplněny cíle ve vazbě na předcházení vzniku vibrací a sběr provozních dat. U přídatných tlumičů je z důvodu ceny ve vazbě na aplikovatelnost vhodné rozšířit oblast zájmu zpět na zařízení, která fungují na pasivním principu (laděné hltiče).

Stručný popis stavu problematiky ve světě

- Problematika potlačování nežádoucích vibrací je v oblasti obráběcích strojů celosvětově stále řešeným tématem. Vznik vibrací u stroje souvisí s volbou provozních podmínek. Zvýšená úroveň vibrací může být obecně projevem stavu, kdy provozní podmínky nejsou vhodně nastaveny.
- Snaha potlačit vibrace se může rozdělit do oblastí předcházení vzniku vibrací (prevence) a tlumení vibrací (řešení následků). Společným prvkem pro obě oblasti je monitorování a analýza vibrací. Oblast předcházení vzniku vibrací představuje především softwarové prostředky (generování požadavků). Oblast tlumení vibrací v sobě zahrnuje především hardwarové prostředky (přídatná zařízení).
- V oblasti uplatnění metod předcházení vzniku vibrací v případě, že při obrábění dochází k nadměrnému kmitání, existují značné rezervy. Systémy pro automatický návrh a on-line změny rezných podmínek prozatím na strojích nasazeny nejsou. Velká snaha je o spojitě generování trajektorie až do vyšších časových derivací signálu polohy. Dříve bylo řešeno omezení zrychlení a ryvy (3. derivace polohy), v současnosti se u některých řídicích systémů se objevuje též omezení čtvrté derivace polohy (anglicky „snap“ nebo „jounce“).
- Řízené potlačování vibrací je tématem, které je otevřené již poměrně dlouhou dobu. V praxi se však objevuje zřídka. Větší část aplikací nyní tvoří aplikace algoritmů v rámci řídicího systému stroje (pohony). Nasazení řízených tlumičů zřejmě brání poměrně velká komplexnost a složitost těchto zařízení, s tím související vysoká cena a obtížnější možnosti integrace na již vyvinuté stroje.
- Alternativou k řízeným (aktivním) tlumičům vibrací mohou být řešení pasivní s pevným nebo řízeně proměnným naladěním. Oproti řízeným tlumičům jde sice o méně technicky vyspělé řešení, ale jeho potenciál pro uplatnění na strojích je poměrně velký z důvodu příznivější ceny.

Současný způsob řešení problematiky v ČR

- Téma je systematicky rozvíjeno v projektu CK SVT/NCK S řešeného ČVUT v Praze, dalšími výzkumnými organizacemi a oborovými firmami.

Cíle a praktické výstupy pro obor/průmysl

- Předcházení vzniku vibrací volbou vhodných pracovních podmínek strojů umožní zlepšení kvality povrchu obrobků, nižší opotřebení stroje i nástrojů a sekundárně též zvýšení spolehlivosti. To se týká jak řízení posuvových os, tak řízení samotného procesu obrábění.
- Rozvoj přídavných zařízení pro potlačování vibrací, která umožní na stroji realizovat i problémové operace, pokryjí problémy při přechodových dějích a umožní dosáhnout výše popsáná zlepšení (před změnou rezných podmínek směrem ke stabilním).
- Využití instalované sensoriky pro potlačování vibrací umožní poskytovat zpětnou vazbu o provozu strojů. Znalost těchto dat umožní zlepšení v oblasti konstrukce a řízení strojů, možnost lépe navrhovat pracovní podmínky a schopnost poskytovat lepší zákaznickou podporu.

Vlastní odborné zhodnocení přínosu tématu pro obor a průmysl v ČR

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

Způsob dosažení cílů

- 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, sběr dat. Nasazení metod identifikace pro získání modelů kmitajícího řízeného systému.
- Vývoj a nasazení softwarových prostředků pro potlačování vibrací v rámci řídicích systémů i v rámci přídavných autonomních zařízení (vestavné průmyslové počítače).
- Vývoj a nasazení hardwarových prostředků pro potlačování vibrací, které budou průmyslově využitelné a které bude možné montovat jako příslušenství i na již hotové stroje.

Doporučený řešitel

- RCMT (ČVUT FS – Ú12135); ústavy zabývající se mechanikou, mechatronikou a řízením (např. ČVUT FS - Ú12105); výrobci strojů (obecně); výrobci CNC řídicích systémů; výrobci komponent a univerzálních konstrukčních celků

3.1.6. (T46) Kompenzace nepřesností víceosých frézovacích center

Navrhovatel

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

Vazba tématu na SVA

- U01 Zvyšování a zajištění přesnosti
 - U03 Zvyšování hospodárnosti
 - U05 Zvyšování využitelnosti strojů
 - U10 Zvyšování inteligence strojů
 - U11 Snižování negativních dopadů na životní prostředí - Ecodesign
 - U12 Zvyšování důvěryhodnosti
- Kompenzace nepřesností víceosých frézovacích center má přímý vliv na zvyšování a zajištění přesnosti výroby (U01). Řešení problému prostorových kompenzací závislých na kinematické konfiguraci pohybových os, na zatížení stroje a na teplotně-mechanickém stavu stroje přispívá sekundárně i ke zvyšování hospodárnosti výroby (U03) v důsledku snížení vedlejších časů potřebných na seřízení přesnosti stroje a eliminaci výroby neshodných dílců, což vede i k efektivnějšímu využití strojního času (U05) a získaná data o chování stroje a jeho kompenzacích jsou využitelná pro vývoj inteligentních funkcí stroje (U10). Zabránění výroby neshodných dílců přispívá ke snižování dopadů na životní prostředí (U11) a ke zvyšování důvěryhodnosti a prestiže výrobce (U12).



Komentář k aktualizaci

- Text byl aktualizován s přihlédnutím k výsledkům průzkumu nejperspektivnějších dílčích témat výzkumu a vývoje do roku 2025 a úkolům strategie oboru SVT 2030.

Stručný popis stavu problematiky ve světě

- Nepřesnostmi obráběcích strojů se obecně rozumí 1.) geometrické odchylky způsobené nepřesností výroby a montáže stroje, 2.) odchylky způsobené přesností a opakovatelností najetí do polohy NC řízených os, 3.) odchylky způsobené kinematickými chybami stroje, 4.) odchylky vyvolané vlastními tíhovými silami stroje a obrobku, 5.) odchylky způsobené nerovnoměrným teplotního zatěžování stroje.
- Uvedené typy nepřesností 1.) až 5.) tvoří dílčí témata, která se dnes ve světě řeší obvykle odděleně z důvodu náročnosti témat. I v předloženém IAP jsou obdobná či dokonce stejná témata v oddíle Zvyšování přesnosti strojů.
- 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]. Vysoký podíl výzkumných témat je směřován na využití diagnostického zařízení pracující na principu kruhové interpolace pro identifikaci chyb kinematiky stroje a zavádění kompenzací do stroje [Maxwell Pranievicz, Thomas R. Kurfess, Christopher Saldana, Error qualification for multi-axis BC-type machine tools, Journal of Manufacturing Systems, 2019,].
- Výpočtové modely pro stanovení volumetrické chyby jsou převážně řešeny přes homogení transformační matice, kde je volumetrická odchylka závislá na souřadnicích stroje.

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.

Současný způsob řešení problematiky v ČR

- Téma je rozvíjeno na VUT v Brně zejména v oblasti volumetrických kompenzací a na ČVUT v Praze v rámci WP9 projektu CK SVT ve spolupráci s oborovými firmami.

Cíle a praktické výstupy pro obor/průmysl

- Je-li cílem kompenzace geometrických odchylek, pak základem je jejich experimentální zjištění vhodně zvolenou 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 LaserTRACER, Laser tracker, vícepaprskové 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 přesnosti 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 měřících metod, kdy je z jednoho měření matematicky získáno více parametrů geometrické přesnosti.
- Třetím cílem je aplikace již získaných výsledků kompenzace pro predikci tíhových deformací.
- Vývoj metody pro rychlou kalibraci víceosých strojů. Metoda by měla být využitelná například v rámci automatického cyklu během pracovního procesu stroje. Jako perspektivní se jeví 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 další kinematickou dvojjící u 5-osých strojů. Jmenovitě se jedná o transformaci souřadnic, určením přesné polohy středů rotačních os v pracovním prostoru stroje a dynamickými chybami spojenými se součinnostmi 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 a volumetrické kompenzace na dostatečném počtu strojů, aby se získaly důvěryhodné výsledky.

- Aplikovat na 5-osých strojích pokročilé diagnostické systémy pro identifikaci chyb rotačních os, ale také posouzení výsledné volumetrické chyby stroje (Ballbar Trace, Rotary analyzer). Aplikace 5ti osých volumetrických kompenzací (laserTRACER, XM60).
- Prověřit možnosti dalších, dosud nepoužitých metod SW kompenzací.
- Vývoj modelu geometrických odchylek se zahrnutím vlivu poddajnosti nosné struktury stroje.

Doporučený řešitel

- ÚVSSR, FSI, VUT v Brně; RCMT; 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.

3.1.7. (T63) Metody využití dat pro zlepšení užitečných vlastností výrobních strojů a procesů

Navrhovatel

- Ing. Matěj Sulitka, Ph.D., Mgr. Petr Petráček, Ph.D. (ČVUT v Praze)

Vazba tématu na SVA

- U01 Zvyšování a zajištění přesnosti
- U02 Zvyšování spolehlivosti
- U04 Zvyšování výrobního výkonu
- U07 Zvyšování jakosti dosahovaných povrchů
- U09 Automatizace strojů a výroby
- U10 Zvyšování inteligence strojů
- Zvyšování přesnosti strojů a práce strojů s využitím digitálních dvojčat strojů a technologického procesu.
- Nabídka autonomního sběru dat o výrobku a vyhodnocování parametrů popisujících způsobilost výrobního procesu.
- Zvyšování výrobního výkonu - Je třeba zvyšovat výkon samotných strojů pro příslušné operace ale také výkon nástrojů a související automatizace a kontroly. Cílem je výkonnost celé výrobní buňky nebo systému.
- Zvyšování jakosti dosahovaných povrchů - Především zvyšování jakosti obráběných a tvářených povrchů, cílené pozitivní ovlivňování vlnitosti, drsnosti, vzhledu a dalších charakteristik integrity povrchů.
- Autonomní provoz - Příprava strojů pro dlouhodobý autonomní provoz pro výrobu s vysokým stupněm automatizace a bezobslužnosti.
- Nabídka inteligentních systémů zpracování a vyhodnocení signálů a dat se zaměřením na maximalizaci spolehlivosti a výkonu. Řešení sdílení znalosti mezi více stroji a výrobními buňkami.



Komentář k aktualizaci

- Téma je zpracováno jako nové.

Stručný popis stavu problematiky ve světě

- Výrobní průmysl je v současné době uprostřed revoluce řízené daty, která slibují transformaci tradičních výrobních zařízení na vysokou úroveň optimalizovaných inteligentních výrobních zařízení. Tato inteligentní zařízení jsou zaměřena na vytváření výrobních informací z dat v reálném čase pro podporu přesných a rychlých rozhodnutí, která mohou mít pozitivní dopad na chod celé firmy. K realizaci těchto cílů vznikají nové technologie, jako je internet věcí (IoT) a kyber-fyzikální systémy (CPS), které budou začleněny v reálných procesech pro měření a monitorování dat v reálném čase z celých výrobních systémů. Výsledkem bude enormní množství dat, která budou muset výrobní zařízení zvládnout. Současně bude růst potřeba rozvoje analytických metod pro zpracování velkých dat [O'Donovan, P., Leahy, K., Bruton, K. et al. Journal of Big Data (2015) 2: 20. <https://doi.org/10.1186/s40537-015-0028-x>]
- Zaměření na velké datové technologie ve výrobním prostředí je relativně nová oblast interdisciplinárního výzkumu, která zahrnuje automatizaci, informační technologie a

analýzy dat. Hlavní výzkumnou otázkou je, jak mohou být velká data využita pro zlepšení funkčních vlastností strojů a ve výrobních procesech.

- Výzkum využití velkých dat, aplikací strategií strojového učení, distribuovaných výpočtů a internetu věcí se v současnosti v oblasti výrobní techniky a výrobních technologií zaměřuje nejintenzivněji na:
 - Teoretické uchopení zastřešujícího konceptu digitálních továren
 - Monitoring výrobního procesu/komunikace výrobce-zákazník
 - Aplikace v oblasti zvýšení stability výrobních procesů a technologií, např. predikce opotřebením nástroje, jakosti povrchu apod.
- Schopnosti účinného zpracování velkých dat a jejich porozumění vyžadují uplatnění nejen technik strojového učení a umělé inteligence, ale také modelů fyzikálního chování systémů (modely Digital Twin). Použití fyzikálních modelů může významně zvýšit účinnost nasazení strategií a algoritmů strojového učení k rychlejšímu a spolehlivějšímu real-time vyhodnocení velkých objemů dat z reálných procesů s možnostmi adaptivních zásahů do řízení procesů.

Současný způsob řešení problematiky v ČR

- Téma je významně mezioborové a začíná se v ČR řešit ve výzkumných projektech jdoucích napříč výzkumnými institucemi (např. ČVUT v Praze, RCMT a CIIRC). Téma bude řešeno v projektech OP VVV DMS SVTPS, NCK Strojírenství, NCK Kybernetika a umělé inteligence.

Cíle a praktické výstupy pro obor/průmysl

- Zpracování velkých dat sbíraných v reálných procesech na reálných strojích a dat z virtuálních modelů (Digital Twin) s pomocí analytických nástrojů, postupů strojového učení a umělé inteligence zvýší významně znalosti chování systémů se schopností predikovat jejich budoucí stav.
- Velká data z provozu strojů a jejich zpracování přinesou cennou informaci pro navrhování a výběr komponent stavby strojů ve vazbě na jejich spolehlivost a životnost podle reálných spekter provozního zatížení.
- Monitorování procesů na strojích s podporou virtuálních modelů a nasazení algoritmů pro strojové učení s trendováním vývoje stavu procesů umožní adaptivně měnit parametry procesů podle předchozího vývoje a zvýší spolehlivost, produktivitu a jakost výrobních procesů.
- Algoritmy strojového učení a umělé inteligence umožní na základě v čase průběžného monitorování odezev definovaných cyklů na stroji vyhodnocovat změny stav stroje a těmto změnám přizpůsobovat nastavení parametrů regulace pohonů, nebo parametrů interpolátoru CNC systému.
- Rozvoj systémů internetu věcí, metod snímání dat na strojích, vybavení strojů senzorikou.

Vlastní odborné zhodnocení přínosu tématu pro obor a průmysl v ČR

- Téma využití a zpracování velkých dat pro zlepšení chování strojů a procesů je významně mezioborové a otevírá možnosti úzké spolupráce vývojářů, výpočtářů, diagnostiků a technologů na straně reálných strojů a procesů s informatiky, teoretickými matematiky a programátory.
- Využití plného potenciálu tématu bude vyžadovat vhodně navrhnout rozsahy souborů parametrů monitorovaných na virtuálních modelech ve vazbě na experimentálně získatelná data z reálných strojů a procesů. Rozvoj využití virtuálních modelů strojů a procesů (Digital Twin), verifikace a aktualizace virtuálních modelů na základě vývoje vlastností reálných systémů v čase.

- Rozvoj metod a strategií monitorování reálných procesů a stavu strojů. Rozvoj sensoriky RFID a řešení pro integraci datových výstupů ze senzorů do CNC řídicího systému.
- Rozvoj metodik a řešení analýzy diagnostických dat; archivace a logování big data; machine learning, umělá inteligence; výzkum potřeby hustoty dat v čase pro zpracování v rámci digitálního dvojčete stroje a procesu pro konkrétní aplikace. Smart aplikace a strojové učení pro obráběcí stroje

Způsob dosažení cílů

- Výzkum a vývoj využití technik a metod strojového učení a AI pro analýzy velkých dat. Výzkum zpracování dat pro poskytnutí správné informace ve správný čas.
- Verifikace virtuálních modelů strojů a procesů. Rozvoj real-time virtuálních modelů jako pozorovatelů skutečných procesů.
- Integrace cloudových služeb se znalostmi řízení na platformě, která je schopna poskytovat podnikové služby jako je inteligentní design a výroba, modelování výroby a logistiky a řízení dodavatelského řetězce.
- **Smart design:** Komunikace CAD/CAM systémů s fyzickými prototypovými systémy v reálném čase, umožněnými (3D) tiskem integrovaný s CPS a AR.
- **Smart machines:** Inteligentní CPS obráběcí stroje jsou schopny zachytávat data v reálném čase a posílat je do centrálního systému založeného na cloudu.
- **Smart monitoring:** Široké využití různých typů senzorů
- **Smart control:** Inteligentní ovládání je prováděno hlavně za účelem fyzického řízení chytrých strojů, nebo nástrojů prostřednictvím platforem podporujících cloud.
- **Smart scheduling:** Inteligentní plánování zahrnuje hlavně pokročilé modely a algoritmy pro využití experimentálně získaných dat.
- Celkem cca 5 – 6 výzkumných pracovníků a 4 ze spolupracujících podniků.

Doporučený řešitel

- Ú12135; ústavy zabývající se mechanikou, mechatronikou, informatikou a řízením (např. ČVUT FS – Ú12105, CIIRC; UTIA AVČR); matematické ústavy (např. ČVUT FS – Ú12101, UK MFF, MU AVČR); výrobci strojů; uživatelé strojů.

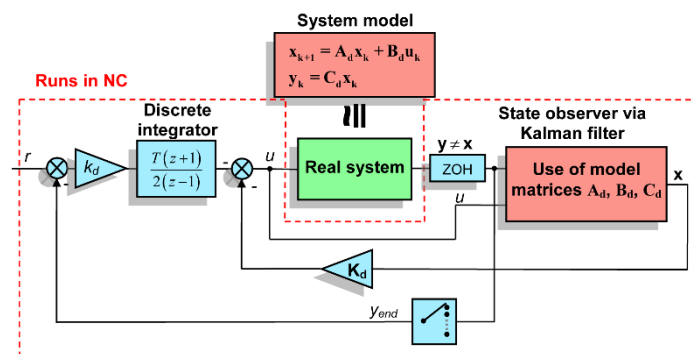
3.1.8. (T66) Netradiční funkce řídicích systémů

Navrhovatel

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

Vazba tématu na SVA

- U01 Zvyšování a zajištění přesnosti
- U03 Zvyšování hospodárnosti
- U07 Zvyšování jakosti dosahovaných povrchů
- U10 Zvyšování inteligence strojů



Stručný popis stavu problematiky ve světě

- V oblasti řídicích systémů se začínají objevovat nové uživatelské prostředí s vyšší mírou interaktivity. Toto je však patrné zejména u menších výrobců, zaběhnutí výrobci (jako je Siemens nebo Heidenhain) se stále drží standardního HMI s dílčími vylepšeními. Nicméně nová HMI se vyznačují inovativními prvky obsluhy a programování, např. programování prostým přetažením tvaru do obrazu, různé podpůrné aplikace, vizualizace, atd.
- Většina předních výrobců řídicích systémů umožňuje vytvářet na řídicím systému speciální uživatelské cykly pro nestandardní (netradiční) operace přímo v real-time části systému (např. obrábění excentrických nekruhových průřezů na soustruhu apod.). Toto umožňuje významně personifikovat stroj daného výrobce a odlišit se tak od konkurence i v rovině funkčnosti. Tvorba vlastních cyklů je nicméně relativně náročná a ve většině případů vyžaduje poměrně drahé softwarové nástroje nutné pro vývoj vlastních cyklů/aplikací.
- Interpolátor řídicího systému slouží pro interpretaci NC programu, přípravu geometrické trajektorie a profilu rychlosti s respektováním omezení daných stavbou stroje a pohonů a omezeními programátora. Různí výrobci přistupují k principu tvorby a řízení trajektorie mírně odlišně, nicméně výsledek (rychlost průjezdu a odchylka) je vždy ovlivně celou řadou aspektů a parametrů interpolátoru. Nastavení parametrů interpolátoru však představuje poměrně složitý úkol, kterému se ale mnozí výrobci strojů příliš nevěnují.
- V oblasti řízení pohybových os se u výrobních strojů používá výhradně klasická kaskádní regulace. Ta je ve většině případů relativně tuhých strojů dostatečná. Nicméně v oblasti strojů se zvýšenou poddajností (lehké stroje nebo roboty) naráží kaskádní regulace na své limity. To iniciovalo výzkum pokročilejších způsobů model-based řízení, které spadají do skupiny netradičních funkcí.
- Různé typy kompenzací patří v jejich základní verzi mezi tradiční funkce řídicích systémů, např. kompenzace geometrické chyby. Nicméně v případě požadavku na např. kompenzace teplotních deformací v přechodových jevech jsou tyto kompenzace vybaveny pokročilými algoritmy, které nejsou standardně implementovány do řídicího systému a je nutné je odbavovat v jiných částech.
- Kontrola kolizí je prováděna na základě snímačů zrychlení nebo modelu pracovního prostoru. Ve druhém případě je klíčová rychlá identifikace objektů v pracovním prostoru pro samočinné vytvoření 3D modelu – tato automatická identifikace však není v řídicích systémech prozatím dostupná a je předmětem výzkumu a vývoje.
- Nedílnou součástí pokročilých funkcí řídicího systému je simulace odbavení NC programu. Výrobci řídicích systémů pro tyto účely nabízí virtuální jádra svých řídicích systémů, které je možné spustit i mimo řídicí systém a v kombinaci s virtuálním modelem stroje predikovat

nejen čas odbavení NC programu, ale také celkový průběh obrábění. Virtuální modely jsou nicméně ve většině případů tvořeny pouze tuhými tělesy bez respektování dynamických vlastností a kmitání mechanické struktury. Virtuální modely zahrnujících dynamické vlastnosti, tuhost struktury, silové zatížení od technologie atd. jsou předmětem výzkumu a vývoje.

Současný způsob řešení problematiky v ČR

- Řídicí systémy používají klasickou kaskádní regulaci, maximálně jsou použity kompenzace (statické i dynamické). V poslední době se výrobci strojů začínají věnovat nastavení regulace, nicméně řada kompenzací (vyjma kompenzací chyb geometrie) jsou v řídicím systému nevyužity.
- Možnost implementací speciálních cyklů je většinou spojena s drahými a složitými softwarovými nástroji. V ČR prakticky žádný výrobce strojů vlastní cykly pro real-time část řídicího systému nevyvíjí.
- Interpolátory jsou výrazně závislé na parametrech, nicméně výsledky jsou u různých výrobců podobné (při správném nastavení). V ČR se základnímu nastavení interpolátoru věnují zejména výzkumné organizace (např. RCMT), jejichž poznatky jsou přenášeny do strojů výrobců i uživatelů strojů.
- Kontrola kolizí je provedena většinou na základě čidla zrychlení nebo na základě 3D modelů – ty je ale nutné do systému dodat ručně. Zpravidla jsou výrobci strojů v ČR nevyužity.
- Systematické řešení chybí, většinou je na straně výrobců strojů nastavení řídicího systému podceňováno na úkor mechanické konstrukce.
- Někdy objevují se projekty, ve kterých se konsorcium firem a výzkumných organizací snaží vyvinout pokročilé funkce v řídicích systémech, např. FV10646 „Vývoj nového interpolátoru českého CNC systému pro výrobní stroje“, jehož řešiteli jsou firma MEFI a ČVUT v Praze – Ú 12135 (RCMT).

Cíle a praktické výstupy pro obor/průmysl

- Principy návrhu nových HMI pro interaktivní ovládání stroje
- Speciální cykly pro nestandardní operace vyvinuté přímo pro real-time část systému
- Systémy pro nejvhodnější naladění parametrů interpolátoru a regulace
- Návrh využití různých kompenzací dostupných v řídicích systémech
- Simulační nástroje pro odbavení NC programu pro věrné časové studie
- Příprava virtuálních modelů strojů v kombinaci s řídicím systémem – virtuální zprovoznění nebo plný dynamický model

Vlastní odborné zhodnocení přínosu tématu pro obor a průmysl v ČR

- V ČR chybí větší výrobci řídicích systémů a systémů pro automatizaci strojů, stroje jsou vybavovány systémy především německých výrobců.
- Důraz by měl být kladen na software, tzn. speciální HMI funkce, cykly, ladění regulace a interpolátoru.
- Nejsou v dostatečné míře využívány virtuální modely pro simulace výroby. Pokud ano, tak jen modely pro časovou studii a nikoliv plné virtuální modely schopné predikovat chyby na obrobku vlivem interpolace, regulace ale i dynamického chování mechanické struktury.

Způsob dosažení cílů

- Detailní studium možností integrace netradičních funkcí do komerčně dostupných řídicích systémů
- Podpora českých výrobců řídicích systémů a systémů pro automatizaci

- Příprava pilotních projektů nových interaktivních HMI a speciálních cyklů
- Návrh a realizace software pro ladění parametrů interpolátoru a regulace
- Rozbor a příklady použití různých typů kompenzací
- Příprava virtuálních modelů strojů a jejich propojení s virtuálními modely řídicích systémů. Výsledkem jsou věrné simulace nejen z hlediska času, ale také z hlediska tvaru obrobeneho dílce a stop po nástroji.

Doporučený řešitel

- RCMT (ČVUT FS – Ú12135); ústavy zabývající se řízením (např. ČVUT FS – Ú12105, UTIA AVČR); výrobci strojů (obecně); výrobci CNC řídicích systémů (Siemens, Heidenhain, MEFI atd.); firmy zabývající se vývojem software; uživatelé výrobních strojů (obecně); specializovaná pracoviště na ČVUT FEL a ČVUT CIIRC.

3.2. Teplotně-mechanické chování

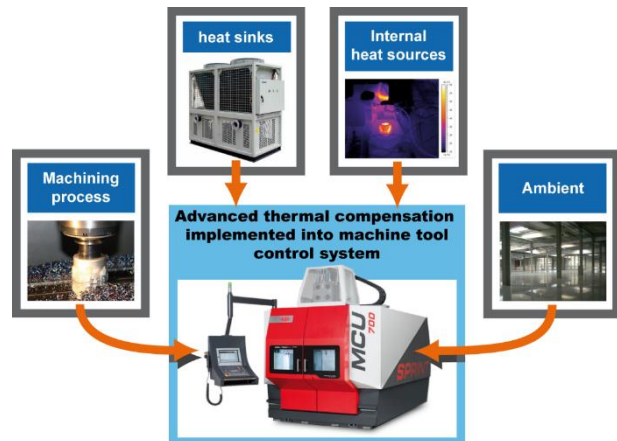
3.2.1. (T48) Predikce teplotních deformací stroje a jejich kompenzace

Navrhovatel

- Ing. Matej Sulitka, Ph.D., Ing. Otakar Horejš, Ph.D., Ing. Martin Mareš, Ph.D., Ing. Jan Hornych, Ph.D. (ČVUT v Praze)

Vazba tématu na SVA

- U01 Zvyšování a zajištění přesnosti
- U07 Zvyšování jakosti dosahovaných povrchů
- Eliminace tepelných deformací nosných soustav obráběcích strojů, protěkané a skrápěné rámy, chlazené pohony, symetrické konstrukce, softwarová kompenzace, inteligentní řízení chlazení s cílem zvýšení přesnosti.
- 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.
- Měření a kompenzace deformací včetně a predikce deformací nástroje a obrobku.



Komentář k aktualizaci

- Text je z velké části přepracován, rozšířen byl popis strategií k modelování a kompenzací teplotních chyb strojů. Integrováno je původní téma T47.

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.
- Obecně můžeme kompenzaci teplotních chyb strojů rozdělit do 2 základních skupin:
 - přímé metody kompenzace
 - nepřímé metody kompenzace.

- V případě přímé kompenzace je přímo měřeno výsledné posunutí v místě nástroje. K tomu již v dnešní době existuje celá řada měřících metod a zařízení. Jedná se např. o nástrojové či obrobkové sondy (např. laserové či dotykové). Patří sem však celá řada dalších přídavných odměřovacích systémů jako jsou např. laserové interferometry, optické sledovače atd. Bohužel v současné době není možné kontinuálně měřit relativní posunutí mezi nástrojem a obrobkem v průběhu obrábění. Obrábění je nutné pro účely měření vždy přerušit, což je velkou nevýhodou přímé metody teplotní kompenzace, jelikož to vede ke snižování produktivity obrábění. Další nevýhodou je pak i pořizovací cena měřících sond
- Nejrozšířenější metodou používanou pro sestavení modelů softwarových teplotních kompenzací je metoda multilineární regrese (MLR – Multiple Linear Regression Analysis), která spočívá v určení teplotní chyby jako polynomicke funkce jednotlivých vstupů s různými váhovými koeficienty. Pro robustnost a spolehlivost je vhodné zajistit maximum vstupů postihujících teplotně mechanický stav stroje. Vzhledem k ceně a konstrukčním komplikacím je však vhodné množství přidaných senzorů minimalizovat. Metoda je rozšířena zejména díky své jednoduchosti a podpoře a implementovatelnosti zajištěné předními dodavateli řídicích systémů. Nedostatečné pokrytí teplotního pole stroje ovšem vede na nízkou spolehlivost predikce v neustálených stavech a za podmínek odlišných od kalibračních. Metoda multilineární regrese byla publikována např. v [TSENG, P. C. A real-time inaccuracy compensation method on a machining centre. Springer-Verlag London Limited, 1997 roč. XIII, s. 182 - 190.].
- Další metodou jsou umělé neuronové sítě (ANN – Artificial Neural Network), které určují výstupy na základě velkého množství jednoduchých operací se vstupy. Určení těchto jednoduchých operací probíhá formou učení z reprezentativního vzorku záznamu teplotně-deformačního chování stroje. Po náročném prvotním naprogramování je model možné jednoduše učit bez znalosti problematiky. Tento „black box“ přístup ovšem znemožňuje ověření stability a spolehlivosti za nestandardních podmínek, stejně jako pozitivní vstup na základě zkušeností, umožňuje ale postihnout nelineární vlastnosti modelovaného systému [ESKANDARI, S. B. ARENZOO a A. ABDULLAH. Positional, geometrical, and thermal errors compensation by tool path modification using three 2012, 65 (9-12)]
- Modely na základě fuzzy logiky (FLC – *Fuzzy Logic Compensation*) zpracovávají vstupní signály v podobě fuzzy množin podle vzájemných fuzzy vztahů (fuzzy anglicky mlhavý, nejasný, rozmazaný, v logice chápaný jako rozsah pravděpodobností mezi logickou 0 a 1). Podrobněji o fuzzy logických modelech např. v [ESKANDARI, S. B. ARENZOO a A. ABDULLAH. Positional, geometrical, and thermal errors compensation by tool path modification using three 2012, 65 (9-12)], kde vnitřní fuzzy vztahy definovali pomocnými neuronovými sítěmi.
- Modely založené na frekvenčních přenosových funkcích (TF – Transfer Function) plně respektují principy šíření tepla a jsou tudíž, na rozdíl od aproximačních metod, obecněji aplikovatelné a systematictější. Použitím těchto metod dochází k redukci počtu teplotních čidel, která mají přímou vazbu na jednotlivé teplotní, či teplotně-mechanické jevy, což usnadňuje i proces kalibrace. Tyto modely respektují dynamiku stroje a využívají teplotní historii pro predikci, což umožňuje dosáhnout její lepší kvality za použití méně vstupů. Oproti ANN a FLC modelům TF modely ovšem nepředstavují čistě fenomenologicky získaný black-box, ale využívají parametrů s fyzikálním významem [URIARTE, L. a M. ZATARAIN. Thermal Modal Analysis. In: Proceedings SIG meeting on Thermal Issues in Precision Engineering, sv. Eindhoven. euspen, 2006, s. 38]
- 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 užité vlastnosti stroje pokud možno bez nárůstu jeho ceny nebo snížení marže, v případě dražších (hlavně 5- osých) strojů je možnost aplikace lokálního chlazení (nikoli pouze vřetenových jednotek a případně oleje v převodovkách, ale také dalších pohonů) reálně zvažována.

- Současný stav výzkumu kompenzace teplotních chyb ve světě je dobře popsán v aktuálním shrnujícím článku (keynote paper) [MAYR, J. et al. Thermal issues in machine tools. 2012, 61 (2), 771–91. ISSN: 0007-8506].

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. Rozvíjeno je téma v projektech DMS SVTPS a NCK Strojírenství.

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 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.
- 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

- 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 měřicího 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 elektrovřetená 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 „přeladování“ 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.
- Výzkum vlivu řezného procesu na vznik teplotních deformací stroje a zahrnutí tohoto efektu do modelů teplotních kompenzací
- Vývoj metody a zařízení pro měření změny volumetrické přesnosti stroje způsobené teplotními deformacemi stroje.
- Návrh metodiky pro online volumetrickou kompenzaci teplotních deformací na základě informací z predikčního modelu.
- 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.
- Celkem cca 4 lidé v oblasti výzkumu (pro simulace a měření) + lidé ze spolupracujících podniků pro konkrétní ověřovací testy.

Doporučený řešitel

- RCMT; ústavy zabývající se mechanikou, mechatronikou a řízením (např. ČVUT FS – Ú12105, 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.

3.3. Monitorování a diagnostika

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

Navrhovatel

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

Vazba tématu na SVA

- U01 Zvyšování a zajištění přesnosti
- U02 Zvyšování spolehlivosti
- U03 Zvyšování hospodárnosti
- U05 Zvyšování využitelnosti strojů
- U09 Automatizace strojů a výroby
- U10 Zvyšování inteligence strojů
- U12 Zvyšování důvěryhodnosti
- Zdokonalení metod vzdálené diagnostiky a měření na strojích, zajištění bezpečnosti při provádění testů a měření na dálku v konceptu Průmyslu 4.0.
- Úzké provázání s velkým počtem souvisejících témat VaV (viz výše uvedené úkoly). Nelze řešit samostatně, některé závěry budou proto opakovány i v dalších tématech.



Komentář k aktualizaci

- Text byl aktualizován s přihlédnutím k výsledkům průzkumu nejperspektivnějších dílčích témat výzkumu a vývoje do roku 2025 a úkolům strategie oboru SVT 2030.

Stručný popis stavu problematiky ve světě

- Dálkovou diagnostiku obráběcích strojů nabízí na určitém stupni vývoje již většina výrobců v rámci koncepce Průmyslu 4.0 nebo Smart strojů. Jde však zpravidla o vyčítání paměti událostí v servisním módu stroje nebo o výčet průběhu vybraných zaznamenávaných veličin (proudy pohonů, teplota vybraných částí strojů a jeho okolí atp.). Dalším příkladem je možnost zjištění, ev. změny nastavení stroje (konstanty pohonů, kompenzační tabulky). Dále lze také na dálku zjistit pracovní vytížení stroje, data pro analýzy jeho kondice a způsobilosti. Řídicí systémy nabízejí široké spektrum komunikačních funkcí pro přístupy k jednotlivým datům stroje případně pomocným systémům přes internet. Je možné nejen sdílet dialogové menu RS, ale přes např. rozhraní OPC UA je možné data přenášet do nadřazených systémů nebo využívat cloudových úložišť a služeb.
- Dálková diagnostika se dnes využívá jako ekonomické řešení triviálních problémů u zákazníka nebo jako dlouhodobý monitoring stavu stroje v rámci konceptu Průmyslu 4.0. V okamžiku, kdy je problém zásadnějšího charakteru je šance jej vyřešit buď v součinnosti s obsluhou přítomnou u stroje za pomoci smart aplikací a vyhodnocovacích algoritmů [Datta, Jinia; Bera, Jitendranath; Chowdhuri, Sumana: Development of Remote Monitoring Analysis and Reporting System for Industrial Machines; 2nd International Conference on Control, Instrumentation, Energy & Communication (CIEC); 2016]. Zásadní problémy, především HW rázu, musí však většinou řešit specialista přímo na místě. Tato funkce

nabývá na významu u velmi vzdálených zákazníků nebo v případech, kdy je věc nutno řešit promptně, bez prostojů (cesta technika na místo).

- Existují systémy, které umožňují pověřené osobě zjistit na dálku aktuální stav stroje přes GSM nebo internet. 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. Pro diagnostiku vlastností stroje jsou klíčovými čidly piezokeramické akcelerometry nebo snímače teploty.

Současný způsob řešení problematiky v ČR

- Téma není systematicky rozvíjeno v žádném projektu. V této oblasti existuje různá komerční řešení, která jsou využívána oborovými firmami a dále rozvíjena.

Cíle a praktické výstupy pro obor/průmysl

- Cílem je rozšířit stávající možnosti diagnostiky stroje, bez ohledu na realizaci komunikace pro vzdálenou diagnostiku. Sdílení dat je z technického hlediska zajistitelná ať již prostřednictvím cloudových služeb nebo lokálních datových úložišť. Rozšíření diagnostických možností v podstatě znamená integraci dalších diagnostických komponent (např. různých snímačů pro přímá a nepřímá měření) do stavby stroje a jejich připojení buď do řídicího systému stroje, nebo externích vyhodnocovacích jednotek.
- Dalším cílem je navrhnout postup dálkového spuštění určitých diagnostických sekvencí (specifickou operaci, rozběh vřetene atp.) a vyčítání aktuálních diagnostických dat při zachování bezpečnosti stroje.
- Výstupem by byly i praktické testy na reálných strojích s různým stupněm složitosti diagnostiky. Součástí by byla instalace specializované sensoriky, naladění komunikace, testování robustnosti systému, ověření kybernetické bezpečnosti diagnostického 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 a trvalé udržení spojení po dobu přenosu dat (výpadek sítě, přenosová rychlost, množství přenášených dat). Z hlediska systémového 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 EU a na světě zabývá řada firem včetně výrobců řídicích systémů strojů (např. SIEMENS – MindSphere, MindConnect Nano), jde o standardní dostupné prvky. Cílem je optimálně využít stávající možnosti HW. Dále návaznost na simulační modely a virtuální dvojčata strojů.
- Bezpečnost na dálku ovládaného stroje 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.
- Při připojení stroje na internet je potřeba řešit odolnost stroje proti možným kybernetickým útokům.
- Jednou možností je spolupráce s obsluhou stroje, kdy obsluha spouští zmíněnou diagnostickou sekvenci, kontroluje zpracování dat (může např. provést i některá nestandardní měření dle instrukcí operátora dispečingu) a naměřená data pošle k analýze k výrobcí (do diagnostického dispečingu výrobce nebo specializované diagnostické firmy).
- Druhou možností je, že by na místě 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. Toto řešení nabízí prakticky neomezenou historii snímání dat a prakticky neomezený výpočetní výkon pro DataMining. V případě nedostatečné kvality komunikační linky (přenosová rychlost, stabilita připojení,...) se nemusí jednat o on-line diagnostiku v pravém slova smyslu.

Doporučený řešitel

- ÚVSSR, FSI, VUT v Brně; RCMT; výrobci strojů (obecně); výrobci CNC řídicích systémů; firmy zabývající se vývojem software; uživatelé výrobních strojů (obecně); firmy zabývající se vývojem zařízení pro komunikaci a vzdálenou správu; vývojářské firmy diagnostických systémů; RCMT 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);
doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D. a kol. (VUT
v Brně)

Vazba tématu na SVA

- U02 Zvyšování spolehlivosti
- U05 Zvyšování využitelnosti strojů
- U10 Zvyšování inteligence strojů
- U12 Zvyšování důvěryhodnosti
- Snadno obsluhovatelné stroje s nízkými nároky na kvalitu obsluhy a její znalosti a zkušenosti, samo-vysvětlující ovládání stroje, technologie schopné včasné detekce chyb obsluhy nebo poruch vybraných komponent stroje. Podpora a asistence technických pracovníků při plánování i provádění údržby, při kontrolních měřeních vlastností strojů a seřizování strojů. Usnadnění obsluhy a programování multifunkčních strojů. Vedení obsluhy při ovládání stroje. Zvyšování bezpečnosti stroje pro jeho obsluhu, eliminaci poškození stroje, nástroje, upínače a obrobku. Systémy a nástroje vyhodnocující nárůst rizik při specifickém využívání stroje, nebo při specifické technologii, manipulaci s obrobky a nástroji, atp. "Online" sledování bezpečnostních funkcí stroje a vyhodnocování rizik, kontakt s obsluhou a údržbou a její varování.
- Kvalitní pravidelná školení, tréninky ovládání a využívání strojů. Simulace a trénink řešení havarijních situací (troubleshooting). Využití virtuální reality při tréninku obsluhy stroje.



Komentář k aktualizaci

- Text byl aktualizován s přihlédnutím k výsledkům průzkumu nejperspektivnějších dílčích témat výzkumu a vývoje do roku 2025 a úkolům strategie oboru SVT 2030.

Stručný popis stavu problematiky ve světě

- Snadno obsluhovatelné stroje lze chápat jako stroje, u nichž je příprava výroby (seřízení), jakož i vlastní automatická výroba a údržba provozu obecně snazší, tedy rychlejší a tudíž i levnější v porovnání s konkurencí. Snadnost obsluhy se dotýká kromě řídicího systému i celkové koncepce a konstrukce stroje. Důležitou roli hraje ergonomie stroje a jeho další parametry vztahující se k trvalé práci obsluhy 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 pravouhloú 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 broušícího kotouče a automatického cyklu pro orovnění 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). Hlídní 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
- Plánování údržby je založeno na systematickém sledování technického stavu a kondice strojů v dílně, pokud možno tak s využitím vzdálené diagnostiky a virtuálních modelů strojů. Existuje mnoho externích systémů, které podporují organizaci a zpracování sledovaných diagnostických údajů a predikují potřebu údržby podle trendů těchto veličin, resp. podle vývoje stavu daného stroje. Sběr a ukládání dat pro následné analýzy lze řešit i pomocí služeb cloudu v rámci koncepce Průmysl 4.0. 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.
- Usnadnění obsluhy multifunkčních strojů lze rozdělit na oblast softwarovou a hardwarovou. U HW jsou to parametry umožňující trvalou práci obsluhy, například rozmístění ovládacích prvků, přístupnost upínacích elementů, přístupnost pro nakládání polotovarů a vyjímání hotových kusů (i jeřábem) a další. Kombinaci HW a SW představuje např. přesné ustavování dílců pomocí dotykových sond nebo fotometrie a smart aplikací. Stroj musí být tedy připraven nejen po HW stránce, ale i po SW stránce. Druhým příkladem je odměřování rozměrů a kontrola stavu nástrojů – opět nejlépe přímo na stroji. Nástroj musí „najat“ na vhodný měřicí element (ať už dotykový či bezdotykový), ale i SW – měřicí 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 prepínačů na ovládacím panelu.
- Redukci rizik při programování a obsluze strojů umožňují například simulační antikolizní systémy, které preventivně sledují možné mechanické kolize v celém pracovním prostoru (např. simulují s předstihem naprogramované pohyby stroje). Analýza a upozornění na rizika související s nevhodně zvolenou technologií obrábění nejsou zatím příliš rozšířená (např. riziko přetížení servopohonů ve strojních osách, překročení max. kroutícího momentu vřetene, zvýšení vibrací ovlivňujících kvalitu obrobku plochy apod.). Výrobci strojů však již poskytují jednoduché smart aplikace umožňující nastavení nebo hlídání

provozních parametrů strojů (např. výpočet orientačních řezných sil či kroutícího momentu pro konkrétní materiál polotovaru, nástrojovou sestavu a řezné podmínky).

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). Vývoj virtuálních modelů strojů a jejich vizualizace v prostředí imersní virtuální reality v dnešní době umožňují i zaškolení obsluhy stroje ještě před dodáním stroje zákazníkovi, což pozitivně ovlivňuje i důvěryhodnost a prestiž výrobce.

- 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 žádném 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 RCMT ČVUT v Praze a rámci některých výzkumných i komerčních projektů.

Cíle a praktické výstupy pro obor/průmysl

- Témata uvedená v textu úvodního odstavce tvoří cíle a úkoly tohoto projektu. Jsou to: 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 a smart aplikací nabízených k vyráběným strojům. Konkrétní řešení a doporučení pro zvýšení komfortu obsluhy strojů.
- Vytvoření metodiky a nástrojů 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 výrobcí 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 výrobcí 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

- RCMT; ÚVSSR, FSI, VUT v Brně; výrobci strojů (obecně); výrobci CNC řídicích systémů; firmy zabývající se vývojem software.

3.4.2. (T56) Koncepte Plug-and-Produce

Navrhovatel

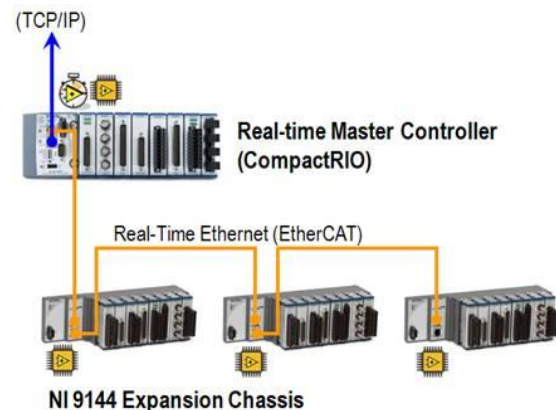
- Ing. Jiří Švéda, Ph.D. (ČVUT v Praze)

Vazba tématu na SVA

- U05 Zvyšování využitelnosti strojů
- U06 Zvyšování multifunkčnosti, modularity a konfigurovatelnosti strojů
- U08 Zkracování doby dodání strojů

Komentář k aktualizaci

- Obsah tématu byl aktualizován o další typy propojení využívající zejména integrovaného datového modelu. To umožňuje připojit neznámá zařízení a poskytnout v rámci jednoho rozhraní informace o dostupných datech i funkcích.



Stručný popis stavu problematiky ve světě

- Jeden z nejsilnějších potenciálů 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 real-time komunikačních sběrnic mezi řídicím systémem a příslušenstvím, např. EtherCAT. Pomocí takovýchto sítí si může řídicí systém sám zjistit, jaké příslušenství je na sběrnici připojeno a provést úpravu parametrů dle aktuální situace, navíc je možné předem určené komponenty sítě za provozu odpojovat a opětovně připojovat (v případě EtherCAT funkce Hot Connect). Toho lze široce využít při připojení příslušenství strojů.

- Dále je třeba uvažovat, že některé stroje realizují během své činnosti velmi významné změny konfigurace svých pohybových os i příslušenství. Proto je nezbytné vyvinout a realizovat také složitější druhy plug-and-produce komponentů, které budou obsahovat přídavnou sensoriku 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 online informace, resp. požadavky na změnu parametrů. Další úrovní jsou potom plug-and-produce komponenty, které po připojení přímo ovlivní funkci řídicího systému celého zařízení a výrazným způsobem tak zkrátí čas potřebný pro programování a oživení celého systému (např. připojení svařovacího agregátu k řídicímu systému obráběcího stroje automaticky překonfiguruje stroj do hybridního režimu výroby).
- Samostatnou kapitolu pak tvoří komunikace využívající datové modely – např. OPC-UA. Základem této koncepce je TCP/IP komunikace server-klient, kdy server je součástí daného zařízení a publikuje nejen hodnoty proměnných, ale také popis jejich vlastností, významu a umožňuje spouštět metody, nastavovat proměnné a přistupovat k historickým datům. Klient se připojením k tomuto serveru dozví vše potřebné bez nutnosti importovat jakékoliv definiční soubory nebo ovladače. Velkou výhodou této koncepce je univerzálnost a možnost propojení různých platforem a možnost na straně klientu reagovat nejen na hodnoty proměnných, ale také na strukturu komunikovaných dat.
- Téma PaP bylo dosud hlouběji řešeno především v oblasti robotiky, viz např. [T. Araia, Y. Aiyama, Y. Maeda, M. Sugita and J. Ota: 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 komplexně systematicky rozvíjeno. Jedinou oblastí se zaznamenaným vývojem v dílčích projektech je připojení výrobních strojů do nadřazených systémů pomocí standardizovaných rozhraní a systémů využívajících datové modely.

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 jednotek. 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.
- Implementace univerzálních komunikačních rozhraní, které umožní připojení různých platforem a zařízení bez nutnosti zásahu do stroje nebo jeho řídicího systému. Definování minimálních nároků na datové modely dle typu zařízení (např. univerzální machine tool interface Umati – www.umati.info).

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 ožívování strojů s vysokým stupněm eliminace lidské chyby (v oblasti ladění regulace a parametrů ŘS, implementace příslušenství stroje). To je spojeno

se zrychlením montáže a ožívování 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.

- Samostatnou část tvoří plug-and-produce připojení celých strojů do nadřazených systémů, kdy je nutné definovat nejen technický způsob připojení, ale i minimální nároky datového modelu. Unifikace v tomto ohledu může přinést značné ulehčení implementace výrobních zařízení do informačních systémů a ve výsledku výrazné zvýšení efektivity výroby. V současné době jsou ale stroje do informačních systémů připojovány každým výrobcem mírně odlišně, což způsobuje komplikace při implementaci velkých systémů a prodlužuje jejich nasazení.

Způsob dosažení cílů

- Návrh vhodné mechanické stavby pohonových PaP komponent
- Návrh optimální sensoriky, 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.
- Unifikace rozhraní pro připojení strojů a jednotlivých komponent jak z hlediska techniky připojení, tak z hlediska datového modelu.

Doporučený řešitel

- RCMT (ČVUT FS – Ú12135); ústavy zabývající se mechanikou, mechatronikou a řízením (např. ČVUT FS – Ú12105, UTIA AVČR); výrobci strojů (obecně); výrobci CNC řídicích systémů (Siemens, Heidenhain, MEFI, BECKHOFF); výrobci komponent a univerzálních konstrukčních celků (VUES, ESSA); firmy zabývající se vývojem software.

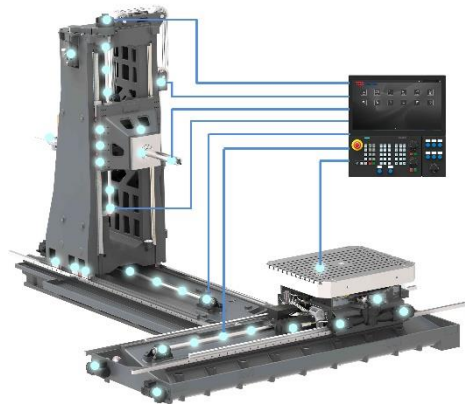
3.4.3. (T57) Inteligentní obráběcí stroje

Navrhovatel

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

Vazba tématu na SVA

- U01 Zvyšování a zajištění přesnosti
- U02 Zvyšování spolehlivosti
- U03 Zvyšování hospodárnosti
- U04 Zvyšování výrobního výkonu
- U09 Automatizace strojů a výroby
- U10 Zvyšování inteligence strojů



Komentář k aktualizaci

- Aktualizace textu podle současného stavu techniky, kdy je kladen větší důraz na integraci dílčích systémů do jednoho celku (řídící systém, pohony, přídavné snímače a systémy atd.) a monitorování stroje včetně vyhodnocení jeho stavu. Součástí je také zapojení nástrojů strojového učení vycházející z velkého množství měřených dat, autonomní výroba ve smyslu dosažení vyšší spolehlivosti a efektivity výroby a komunikace s okolními i nadřazenými systémy.

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 je nutné 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 řídicím programům. Zpracovávají velmi rychle množství informací. Nemají však zatím 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 z informací z řídicího systému (tzv. bezsenzorová diagnostika) i dalších senzorů je proto velkou výzvou pro současný výzkum. Nejde však jen o pouhý monitoring, tj. sběr dat, který se již stává u strojů standardem. Jde i o rychlé zpracování dat a jejich komunikaci v celém systému tak, aby bylo možné stroje i procesy optimalizovat 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. Současná řešení jsou spíše distribuovaná na různé dílčí systémy, které se zabývají pouze jedním nebo malým počtem vlastností a jsou se zbytkem systému propojena jen ve velmi omezené míře.
- V oblasti výrobních strojů se začínají objevovat postupy s prvky strojového učení ve smyslu hledání spojitosti mezi velkým množstvím monitorovaných dat a informování o odchylkách. Zásadní podmínkou je však velká množina učících dat, která musí zahrnovat expertní popisy stavů i poruchové a jiné stavy. V oblasti výrobních strojů je však problematické dosáhnout takovéto učící množiny dat a proto vznikají hybridní systémy kombinující fyzikální modely a modely založené na učení. Tento trend je velkou výzvou pro budoucí výzkum a vývoj.

- Z rešerší a EU Manufuture konferencí je zřejmé, že existují projekty, jejichž cílem jsou stroje s vysokou úrovní inteligence, tj. stroje využívající výše uvedené moduly, zejména monitoring a strojové učení. Na výstavách EMO je tento trend patrný, i když tradiční firmy (např. MAZAK) implementují jen jednotlivé inteligentní funkce typu „kolizní štít“ nebo moduly pro adaptivní řízení posuvů.

Současný způsob řešení problematiky v ČR

- V ČR se v poslední době objevují projekty, které se zabývají kombinací monitoringu dat z a prvky strojového učení. Takovéto systémy nevyužívají pouze informací z řídicího systému, ale také informací z přídavných snímačů a zařízení a informací z navazujících technologických stanovišť. Jedná se však více o solitérní projekty než o strategický vývoj v dané oblasti.
- Systematické řešení ve vývoji inteligentních výrobních systémů začíná být patrné také z iniciativ, které se zaměřují na podporu umělé inteligence a strojového učení. Příkladem je např. program TREND, jehož prostřednictvím je realizována iniciativa Průmysl 4.0, jehož nedílnou součástí je právě vývoj inteligentních strojů včetně využití prvků umělé inteligence (strojového učení).

Cíle a praktické výstupy pro obor/průmysl

Konkrétně jde o rozvoj spolehlivého fungování níže uvedených funkcí:

- Logování dat včetně jejich komprese
- Detekce aktuálního stavu stroje a predikce jeho stavu v brzké budoucnosti
- Využití přídavných sensorů, optimalizace jejich rozmístění a unifikace jejich připojení
- Využití přídavných aktuátorů
- Automatická kompenzace geometrických a teplotních deformací stroje
- Potlačení nežádoucích vbrací rámu stroje (aktivní/pasivní dynamické tlumiče vibrací)
- Detekce a potlačení chatteru (samobuzeného kmitání)
- Detekce opotřebení nástroje a jeho lomu
- Automatizované ladění řezných podmínek tak, aby byl optimálně využit příkon pohonu
- Kontrola kolizí
- Power management – řízení periférií s ohledem na úsporu energie a optimalizaci procesu (např. adaptivní řízené chlazení stroje atp.)
- Využití systémů strojového učení pro optimalizaci procesu výroby za provozu
- Oboustranná komunikace s okolním světem, např. se sousedním robotickým pracovištěm a další manipulační technikou, centrálním skladem nástrojů a polotovarů, meziskladem právě vyhotovených obrobků, ERP a MES systémem atp.

Vlastní odborné zhodnocení přínosu tématu pro obor a průmysl v ČR

- Inteligentní obráběcí stroje využívající velkého množství informací k optimalizaci svého provozu představují budoucnost výrobních zařízení. Tyto stroje na základě řady informací z řídicího systému, přídavných snímačů i dalších informací z externích technologií a infočmačnických systémů průběžně optimalizují svůj provoz. Nejedná se jen o prostou zpětnou vazbu, ale optimalizaci ve smyslu strojového učení. Tím dochází ke zvýšení přesnosti a výroby, ale také spolehlivosti a hospodárnosti strojů včetně schopnosti stroje pracovat ve vyšší míře autonomně.
- Cílem je vytvořit stroje, které nevyžadují vysokou kvalifikaci obsluhy a nabídnou uživatelské prostředí, které bude přívětivé a dobře srozumitelné pro operátora. Vysokou kvalifikaci obsluhy nahradí software, který bude napojen nejen na stroj, ale také na okolní systémy a bude neustále sledovat a optimalizovat jeho provoz. Výhodou je také zvýšení spolehlivosti,

kdy reakce na poruchovou událost budou řešeny systémově ve většině případů bez nutnosti zásahu operátora.

- Vývoj umělé inteligence v obalsti výrobních strojů je 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.
- 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 a diagnostické celky (řídící systém, logování dat, napojení na nadřazené systémy, vyhodnocení stavu stroje, vyvažování, potlačení vibrací, teplotní kompenzace, detekce a potlačení chatteru atp.) na strojích konsorcia CK SVT/NCK S, dle zaměření jednotlivých WP/dílčích projektů.
- Provádět identifikace chování strojů konsorcia CK SVT/NCK S ve smyslu získání dat z reálného provozu, vytvořit fyzikální modely popisující jejich dílčí chování a využít systémů umělé inteligence pro vyhodnocení reálných i virtuálních dat.
- Teprve po spolehlivém „odladění“ jednotlivých uvedených celků spojit tyto funkcionality do nadřazeného systému umělé inteligence stroje s využitím nástrojů strojového učení.
- Využít data nejen ze strojů, ale také ze souvisejících technologií, nadřazených systémů a dalších sensorů. Systémy propojit, aby bylo možné data využívat v různých částech systému a aby tyto systémy mohly spolupracovat.

Doporučený řešitel

- RCMT (ČVUT FS – Ú12135;) ústavy zabývající se mechanikou, mechatronikou a řízením (např. ČVUT FS – Ú12105, UTIA AVČR); výrobci strojů (obecně); výrobci CNC řídicích systémů; firmy zabývající se vývojem software; uživatelé výrobních strojů (obecně); specializovaná pracoviště na ČVUT FEL a ČVUT CIIRC.

3.4.4. (T59) Inteligentní příslušenství strojů

Navrhovatel

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

Vazba tématu na SVA

- U01 Zvyšování a zajištění přesnosti
- U04 Zvyšování výrobního výkonu
- U05 Zvyšování využitelnosti strojů
- U06 Zvyšování multifunkčnosti, modularity a konfigurovatelnosti strojů
- U07 Zvyšování jakosti dosahovaných povrchů
- U09 Automatizace strojů a výroby
- U10 Zvyšování inteligence strojů



Komentář k aktualizaci

- Jedná se o nově zpracované téma, které vzniklo na základě podnětů expertů. Téma integruje tyto oblasti aktivit: Technologické příslušenství strojů s aktivní zpětnou vazbou (inteligentní upínky, senzorické nástrojové držáky apod.); Rychlá identifikace pracovního prostoru stroje pro kolizní model (automatické vytvoření objemového modelu skutečného pracovního prostoru pro sledování kolizí).

Stručný popis stavu problematiky ve světě

- Potřeba maximálního využití obráběcích strojů, zejména velkých strojů (velikost palety nad 1000 mm), ve vazbě narostoucí požadavek multifunkčnosti strojů vede na potřebu integrovat do stroje přídatná zařízení, která umožňují další funkce stroje. Může se jednat o a) přídatná zařízení pro zlepšení základních funkcí a vlastností stroje; b) přídatná zařízení rozšiřující možnosti stroje o další funkce; c) přídatná zařízení mimo vlastní stroj, která jsou s ním provozně integrována a mají společné ovládací rozhraní. Pod pojmem „příslušenství strojů“ jsou myšlena přídatná zařízení, která jsou přenosná nebo snadno integrovatelná do existujícího stroje (to je vymezení proti systému různých integrovaných snímačů, které se v obráběcích strojích aktuálně též rozvíjejí).
- Do oblasti přídatných zařízení pro zlepšení základních funkcí a vlastností stroje (a) patří např. systémy přídatného odměřování polohy pro rychlou identifikaci a kompenzaci nepřesností stroje. Jedná se např. o systém integrace lasertrackeru do obráběcího stroje (řešení TOS Varnsdorf + RCMT) nebo speciální výměnné soustružnické adaptéry s integrovanými snímači kmitání řezného procesu a aktivními hltiči (řešení TOSHULIN + RCMT). Podobným příkladem jsou aktivní tlumiče DAS, které na smykadla svých strojů montuje firma SORALUCE.
- Do oblasti zařízení rozšiřujících možnosti stroje o další funkce (b) patří např. výše uvedená integrace lasertrackeru pro aplikace OMM (on-machine-measurement: měření dílce na stroji s nezávislým odměřováním polohy TCP), která byla realizována ve spolupráci TOS Varnsdorf a RCMT.
- Do oblasti integrovaných přídatných zařízení mimo vlastní stroj patří řešení, která mají za úkol primárně zkrátit přípravné časy při ustavení obrobku a provést kontrolu pracovního prostoru pro ověření bezkolizního průběhu obrábění. Do této oblasti patří automatické vyrovnávací jednotky (realizované ve spolupráci Strojírna Tyc+RCMT) nebo integrace různých skenovacích zařízení do pracovního prostoru stroje (výzkum RCMT). Další řešení

tohoto typu jsou popsána např. v [Möhring et al: Intelligent Fixtures for the Manufacturing of Low Rigidity Components. Springer 2018. DOI 10.1007/978-3-319-45291-3]

- Společným prvkem všem těmto řešením je vlastní mechanická konstrukce, integrovaná senzorka a aktuátory a schopnost komunikace s dalšími částmi stroje a s obsluhou [Möhring 2018].

Současný způsob řešení problematiky v ČR

- Téma je řešeno především v rámci různých typů projektů aplikovaného výzkumu (CK, NCK, OP VVV DMS, 7FP). Ve spolupráci českých firem a RCMT jsou vyvíjena jak generická řešení, tak zařízení na klíč konkrétní aplikaci. Systémy přídavného odměřování jsou rozvíjeny v projektu WP9 CK SVT a výzkumném záměru VZ8 Rozšířené funkce strojů pro uplatnění v Industry 4.0 projektu OP VVV DMS. Dále ad-hoc řešení ve vazbě na konkrétní zákaznickou poptávku.

Cíle a praktické výstupy pro obor/průmysl

- Identifikovat oblasti vhodného nasazení inteligentního příslušenství.
- Vyvinout metodiku vhodné integrace přídavných mechatronických zařízení do obráběcího stroje, která umožní snadnou integraci do ŘS stroje i napojení na komunikaci s obsluhou.
- Testy spolehlivosti dílčích řešení v konkrétních aplikacích.
- Rozvíjet modularitu konstrukce, aby došlo ke snížení materiálových nákladů pro realizaci.
- Informování firem o možnostech inteligentního příslušenství strojů.

Vlastní odborné zhodnocení přínosu tématu pro obor a průmysl v ČR

- Inteligentní příslušenství strojů umožňuje rozšířit hlavní funkce obráběcího stroje a tím zvýšit jeho aplikační přidanou hodnotu. Téma se přirozeně překrývá s tématy (T38) Rozvoj automatizace a bezobslužnosti výroby a T57 Inteligentní obráběcí stroje.

Způsob dosažení cílů

- Definice vhodných kritických oblastí (= zejména situací, kdy je velká nejistota v chování stroje nebo je časově náročná operace, při které nemůžestroj obrábět).
- Návrh generických řešení nebo aplikačních řešení na klíč. Snaha o unifikaci a standardizaci.
- 3 lidé z RCMT; 3 lidé ze spolupracujících podniků (výrobci obráběcích strojů, výrobci řídicích systémů a průmyslové komunikace, výrobci senzorů a aktuátorů).

Doporučený řešitel

- RCMT FS v Praze. Oborové firmy (výrobci OS). Dodavatelé kompetent systému (výrobci řídicích systémů a průmyslové komunikace, výrobci senzorů a aktuátorů).

3.4.5. (T61) BigData a AI pro zlepšení spolehlivosti výrobních strojů

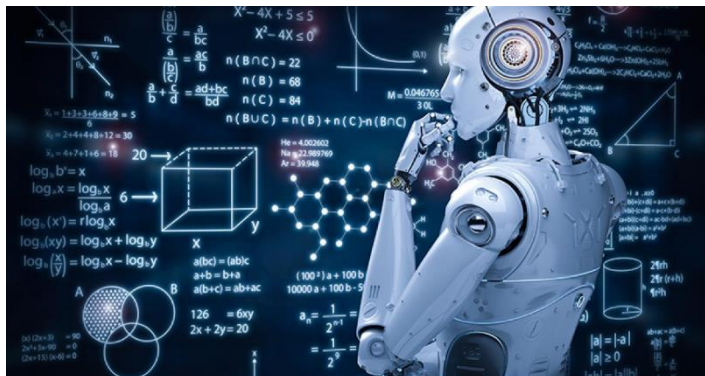
Navrhovatel

- Ing. Eduard Stach, Ph.D. a kol.

Vazba tématu na SVA

- U02 Zvyšování spolehlivosti
- U03 Zvyšování hospodárnosti
- U10 Zvyšování inteligence strojů

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. Dnešní stroje „rozumí“ svým řídicím programům. Zpracovávají velmi rychle množství informací z čím dál komplexnějších diagnostických systémů. 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“.
- Na základě studie TCS 2013 Global Trend Study je zlepšení plánování dodávek a kvality výrobků (spolehlivost výrobních strojů) největším přínosem BigData pro výrobu.
- Spolehlivost je klíčovým konkurenčním faktorem každého výrobku, který významně ovlivňuje 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 neustále stoupají a prostřednictvím včasných konstrukčních opatření a prediktivní údržby lze významným způsobem předcházet poruchám a výpadkům zařízení.
- Koncept prediktivní údržby využívá statistickou analýzu dat ze senzorů a řídicích jednotek a dle zjištěných korelací a kauzalit mezi jednotlivými faktory přistupuje k plánované údržbě a výměně dílů před ukončením životnosti.
- V současné době je úloha AI a BigData při zvyšování spolehlivosti výrobních strojů sběr dat ze senzorů a řídicích systémů strojů, jejich správa, analýza a na jejich základě detekce a odstranění anomálií vedoucích ke snížení životnosti stroje nebo jeho části. Tyto prediktivní modely k detekci anomálií využívají neuronových sítí, které se učí na množině učicích dat. Učící data obsahují stavy jak bezproblémového provozu, tak selhání. Pokud při nasazení v praxi nastane stejná kombinace měřených hodnot, prediktivní model tento stav rozpozná a naplánuje údržbu. Nevýhodou je špatná možnost vyhodnocení neznámých stavů.

Současný způsob řešení problematiky v ČR

- Téma využití AI pro zvýšení spolehlivosti výrobních strojů není v ČR systematicky rozvíjeno v žádném řešeném projektu.

Cíle a praktické výstupy pro obor/průmysl

- Hlavní přínosy a praktické výstupy uplatnění AI a BigData v oboru výrobních strojů spočívají ve zvýšení spolehlivosti strojů a tedy ve značných časových a finančních úsporách. Je možné očekávat zlepšení hlavních užitečných vlastností strojů.
- Kvalita prediktivních modelů je závislá na množině učicích dat, je proto důležitým cílem rozvíjet postupy pro sběr a správu dat, jejich plnohodnotnému a správnému porozumění a možnosti jejich využití napříč výrobci u strojů stejné kategorie.
- Tvorba postupů pro samooptimalizaci provozního nastavení stroje a jeho subsystémů s cílem dosažení optimálních podmínek pro výrobní proces a spolehlivost stroje.
- Průběžně aktualizovaný model stavu opotřebení stroje jako součást digitálního dvojčete stroje vazbou na údržbu a plánování výroby z pohledu časové dostupnosti, ale především aktuálně dosažitelných technologických parametrů stroje v závislosti na poloze v pracovním prostoru (např. přesnost, přenositelný výkon do řezu, atd.)

Vlastní odborné zhodnocení přínosu tématu pro obor a průmysl v ČR

- Vývoj prediktivních modelů založených na velkém množství nasbíraných dat dokáže přeměnit preventivní údržbu ve zcela prediktivní. Při použití AI k detekci anomálií se mohou pracovníci zaměřit nejen na aktuální stav zařízení ale také na vyhledávání a odstranění příčin aktuálního stavu – proaktivní údržba.

Způsob dosažení cílů

- 2 lidé z RCMT; 2 lidé z CIIRC; 3 lidé ze spolupracujících podniků.

Doporučený řešitel

- RCMT; CIIRC, výrobci strojů.

4. Tvářecí stroje

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

4.1.1. (T131) 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 nedocházelo 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 nedocházelo 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 zdvících 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 – kovářny. Tyto se přizpůsobují poptávce a pro jaderné nádoby dodávají výkovky o velkých rozměrech. Aby uspěly na trhu, jsou kovářny nuceny investovat do nových technologií a zařízení – velkých kovacíh 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, optimalizace konstrukčního řešení, stanovit reálné zatížení a 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), pýchování, 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 v Plzni (Centrum výzkumu konstrukce tvářecích strojů).

4.1.2. (T132) 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 pēchování)
- 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 Vítkovcích 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 v Plzni (Centrum výzkumu konstrukce tvářecích strojů)

4.1.3. (T133) Vývoj manipulačního zařízení pro hmotnosti výkovku 200-300 tun

Navrhovatel

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

Popis konstrukčních problémů

- Určení parametrů a polohy manipulačního zařízení
- Stanovení typu (konstrukce) manipulačního zařízení
- Stanovení způsobu ovládání (otáčení)
- Stanovení způsobu ovládání (vysouvání)
- Stanovení pohonu a ovládání s možností napojení na pohon lisu
- Výpočet všech hlavních částí manipulačního zařízení

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 kovacíh 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 kovacíh 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 vyplývajících 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 obrobění a montáže) neumožňují využít klasické technické postupy.

Při navrhování kovacíh 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 Zmapování parametrů již vyrobených výsuvných manipulačních zařízení ve světě s kapacitou 200-300 tun
- Zmapování všech vhodných způsobů ovládání

Doporučený řešitel

TS Plzeň a.s. + ZČU v Plzni (Centrum výzkumu konstrukce tvářecích strojů)

Poznámka: Jako aktuální vhodné zařízení, hodné k řešení se jeví vývoj výsuvného otočného stolu pro otáčení výkovků (pop-up table) pro hmotnosti 200-300 tun.

4.1.4. (T134) 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 v Plzni (Centrum výzkumu konstrukce tvářecích strojů).

4.1.5. (T135) 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 mechanismy poloh všech pohybujících se částí lisu
- Způsob ovládání manipulátoru a kontrolní mechanismy 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 kovací 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 přídatky 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 informací o požadavcích na programové kování ve světě

Získání maximálního množství informací 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 v Plzni (Centrum výzkumu konstrukce tvářecích strojů).

4.1.6. (T136) 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, nářadový 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 (Centrum výzkumu konstrukce tvářecích strojů)

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

4.1.7. (T137) Konstrukční řešení nových a zlepšování technických parametrů stávajících velkých mechanických lisů.

Navrhovatel

Doc. Ing. Milan Čechura CSc., CVTS, KKS, ZČU v Plzni, (aktualizace 2019: Doc. Ing. Jan Hlaváč, Ph.D., CVTS, KKS, ZČU v Plzni)

Popis konkrétních problémů

- Potřeba optimalizace konstrukčního řešení tak, aby stojany měly nízkou hmotnost a vysokou tuhost (nejen ve směru působení pracovní síly)
- Řešit konstrukční návrh stojanu s ohledem na technologické možnosti výroby, montáže, manipulace a dopravy
- Řešit konstrukční návrh lisu s ohledem na koncepční uspořádání funkčních mechanismů
- 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 lisů se často přebírají zásady navrhování dle zkušeností se středními lisy.

Toto lze provádět pouze do určité velikosti, neboť při velkých rozměrech se setkáváme s mnoha technickými omezeními (rozměry obrábění, tepelného zpracování, manipulace, montáže, ...), která nás nutí hledat nová koncepční řešení.

Stojany velkých mechanických lisů se navrhují jako dělené z několika kusů, navzájem pospojovaných, obvykle s využitím předepínatelných kotev. Velké stojany se většinou konstruují dle požadavků zákazníka „na míru. Tento způsob výroby je většinou exaktní, a potřebuje podložit správně provedenou výpočtovou a konstrukční dokumentací.

Poptávka po velkých mechanických lisech, především pro zápustkové kování není tak častá, jako po lisech středních a menších, neboť finální produkty jsou určeny pro železniční, důlní a zemědělské stroje nebo pro nákladní dopravu. Požadavku na větší množství velkých výkovek 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. V důsledku silně konkurenčního prostředí a výkyvů na globálním trhu tuto svou pozici spíše strácí.

Jedná se o kusovou výrobu, která je obvykle realizována jako dodávka celé technologické linky včetně navržené výrobní technologie. Typicky se jedná o 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 musí být následně úspěšným prodejem náležitě zhodnocena.

Řešením takovéto technické problematiky dochází ke zvyšování technické úrovně samotných technických pracovníků, neboť na každém konkrétním případě je možno se hodně přiučít. Bohužel i zde se setkáváme s nárůstem fluktuace zaměstnanců. 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 lisu a jejich 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, včetně udržování dat aktuálních
- 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 v Plzni (Centrum výzkumu konstrukce tvářecích strojů).

4.1.8. (T138) Zmenšování energetické náročnosti mechanických lisů

Navrhovatel

Doc. Ing. Milan Čechura CSc., CVTS, KKS, ZČU v Plzni, (aktualizace 2019: Doc. Ing. Jan Hlaváč, Ph.D., CVTS, KKS, ZČU v Plzni)

Popis problémů

- Stanovení zásad energetického bilancování
- Vypracování teorie řešení
- Vytipování energeticky náročných míst na strojích (včetně jejich příslušenství)
- Ekonomické bilancování energetických opatření
- Doporučení nutných konstrukčních úprav (včetně možnosti nasazení nových materiálů (kompozitní materiály, hardox, weldox, ...))
- Doporučení nutných technologických úprav
- 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 v minulosti 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.

Přestože samotné tvářecí stroje jsou obecně značně energeticky náročné, je nutné do analýzy zahrnout i jejich okolí (stroj je součástí komplexní technologické linky). Navrhované úspory je vždy nutné porovnávat s nákladností nutných úprav.

Vlastní odborné zhodnocení přínosu tématu pro obor a průmysl v ČR

- mapování stavu energetické náročnosti strojů vyráběných v ČR
- vytváření teoretického systému pro řešení energetického bilancování strojů
- úspory jak ve výrobní, tak v provozní náročnosti nově navrhovaných strojů
- zvýšení technické úrovně u nás vyráběných tvářecích strojů
- problematika prodeje energeticky úspornějšího, ale dražšího stroje – neochota uživatelů investovat do budoucnosti

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

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

Doporučený řešitel

CVTS, KKS, ZČU v Plzni (Centrum výzkumu konstrukce tvářecích strojů)

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

4.1.9. (T139) VaV pohonů mechanických lisů

Navrhovatel

Doc. Ing. Jan Hlaváč, Ph.D., CVTS, KKS, ZČU v Plzni

Popis problémů

- Potřeba provedení analýzy jednotlivých druhů mechanických lisů se zaměřením na jejich odběrové charakteristiky výkonu.
- Potřeba analýzy možností stávajících torque motorů + možnosti zakázkové stavby takového motoru (cena?).
- Analýza skutečného přínosu přímého pohonu v porovnání s akumulátorovým.
- Možnosti akumulace elektrické energie potřebné pro pohon torque motoru.

Stručný popis problematiky ve světě

Historicky se u mechanických lisů využívá pohon s akumulací potřebné energie do rotačního setrvačnicku. Dnes se přímý pohon se běžně používá u lisů pro pohon lisů pro hluboké tažení, jejichž chod je typický dlouhým odběrem práce při relativně malé síle, tzn. reálně konstantní odběr energie.

V průběhu posledních dekád se přímý pohon začal prosazovat ve stavbě menších univerzálních dílenských lisech. Zde je deklarována výhoda přímého pohonu v možnosti řízení rychlosti, nebo třeba pohybu beranu jen po části dráhy. Příkladem takového řešení jsou lisy AIDA Servo press.

V poslední dekádě byly vyrobeny (a jsou úspěšně provozovány) kovací lisy s přímým pohonem. Příkladem je ServoDirect Technology společnosti Schuler nabízející lisy do síly 31,5 MN, tedy poměrně blízko hranici velkých lisů. Je otázkou času, kdy někdo vyprodukuje lis o síle 50 MN nebo větší.

Vlastní odborné zhodnocení přínosu tématu pro obor a průmysl v ČR

- Producenti v ČR nenabízejí mechanické lisy s přímým pohonem, ale zákazníci na tento druh pohonu slyší.
- Je třeba nalézt silovou/energetickou hranici, pro kterou je použití přímého pohonu výhodné. U malých lisů to jistě možné je, ale takové lisy nejsme v ČR schopni produkovat s konkurenceschopnou cenou.
- Pokud provedené analýzy vlastností přímého pohonu mechanického lisu prokážou jeho výhodnost (i ekonomickou), bylo by vhodné takový lis vyvinout a uplatnit.

Cíle a praktické výstupy pro obor/průmysl

- Znalosti vlastností a vhodnosti nasazení přímého pohonu do konstrukce mechanického lisu.
- Navržení možných kombinací setrvačnickového a přímého pohonu mechanických lisů.

Způsob dosažení cílů

- Analýza stávajícího stavu energetického odběru hlavních představitelů mechanických lisů.

- Analýza konkurenčních řešení přímého pohonu, popřípadě kombinací setrvačnickového a přímého pohonu, u mechanických lisů.
- Návrh pohonu s přímým motorem.

Doporučený řešitel

CVTS, KKS, ZČU v Plzni (Centrum výzkumu konstrukce tvářecích strojů)

Fakulta elektrotechnická

Producent mechanických lisů + možnost kombinace s producentem pomaluběžných servomotorů.

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

4.2. Zařízení pro dělení materiálu s využitím moderních technologií

4.2.1. (T140) 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 větší pevnosti ve stříhu 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 střížné 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 střížné 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 střížné části nůžek.

Správnou volbou použitého materiálu nožů se snižují provozní náklady (nože vydrží větší počet stříhů).

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) střížné 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.)

4.3. Stroje na zhutňování materiálů

4.3.1. (T141) Řešení problematiky strojů na zhutňování materiálů – paketovací lisy

Navrhovatel

Ing. David Zalaba, ŽĎAS, aktualizace 2019: doc. Ing. Jan Hlaváč, Ph.D.

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 stříhu než 440 MPa. Toto má za následek opotřebením 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 opotřebením 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).

4.3.2. (T142) Řešení problematiky strojů na zhutňování materiálů – briketovací lisy

Navrhovatel

Ing. David Zalaba, ŽĐAS, aktualizace 2019: doc. Ing. Jan Hlaváč, Ph.D.

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 tedy ke 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 možnosti, 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).

4.4. Stroje na zpracování plastů, keramiky a dalších nekovových materiálů

4.4.1. (T143) Zvyšování užitečných vlastností kalandrovacích výrobních linek

Navrhovatel

Ing. Milan Círek, Ph.D. Buzuluk Komárov, aktualizace 2019: doc. Ing. Jan Hlaváč, Ph.D.

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
- zvyšování 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 (válčováním 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 navíjecího/odvíjecího zařízení a je nutné využívat smyčkových zásobníků. Zde je oblast pro inovativní návrhy systémů odvíjení, spojování 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 zatěžování 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
- zvyšování 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 v Plzni (Centrum výzkumu konstrukce tvářecích strojů).

4.4.2. (T144) Výkonná a přesná výroba plastových fólií kombinovaným vytlačováním a válcováním (technologie roll-head)

Navrhovatel

Ing. Milan Círek, Ph.D. Buzuluk Komárov, aktualizace 2019: doc. Ing. Jan Hlaváč, Ph.D.

Popis konstrukčních problémů

- stanovení správných technologických principů a podmínek výroby
- analýza možnosti využití roller-head technologie
- analýza provozu stávajících zařízení a tvorba metodiky pro stanovení výpočtových zátěžových stavů, provozních teplot
- volba dimenzí stroje a výkonových parametrů
- 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, dlouhí 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 dlouhí stoly, chladicí 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 zatěžování 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
- zvyšování objemu produkce
- zkrácení činností spojených s přípravou materiálu
- zvýšení rychlosti výrobních linek
- rozvoj technických znalostí v oblasti plastikářství

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 v Plzni (Centrum výzkumu konstrukce tvářecích strojů).

4.5. Stroje a zřízení stavěné s využitím nekonvenčních materiálů

4.5.1. (T145) 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 rámu
- 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

Nekonvenčními 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 spojeno 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 velké 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

4.5.2. (T146) 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 $R_e \text{ min} = 226 \text{ MPa}$ a s mezí pevnosti $R_m = 363 - 441 \text{ MPa}$.

Při použití plechů se zaručenou svařitelností s vyšší pevností, např. typu 11523 (DIN: St 52-3, S355J2G3), které mají mez kluzu $R_e \text{ min} = 333 \text{ MPa}$ a mez pevnosti

$R_m = 510 - 626 \text{ MPa}$, 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 ocelmi s vyšší pevností vedla kolem roku 1970 v tehdejším Výzkumném ústavu tvářecích strojů a technologie tváření ke zkouškám a k realizaci náhrady ocelí 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

Spoluřešitelé: 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.

4.6. Metody a způsoby vývoje strojů a zařízení

4.6.1. (T147) 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 stroje 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.

4.6.2. (T148) 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. Jednouúčelové stroje jsou specifické zatížením pohyblivých dílů dle dané technologie. Naopak víceúčelové stroje 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 komplexních 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.

4.7. Zařízení pro akumulaci energií

4.7.1. (T149) Zařízení pro akumulaci energií

Navrhovatel

- Doc. Ing. Jan Hlaváč, Ph.D. a kol. (ZČU v Plzni)

Vazba tématu na SVA

- (U:4, 11)
- Zvyšování výrobního výkonu
- Snižování negativních dopadů na životní prostředí - Ecodesign

Stručný popis stavu problematiky ve světě

- V oblasti tvářecích strojů je akumulování energie potřebné pro provoz některých strojů nevyhnutelné, protože technologická operace probíhá rázově. Předávané energie jsou značné, proto je třeba energii na dopředu připravit – naakumulovat. Primárním zdrojem energie pro provoz stroje je obvykle elektřina. Rázový odběr elektřiny není možný, ani hospodárný. Bez potřeby akumulace energie jsou z tvářecích strojů například válcovací stolice nebo některé mechanické (hlubokotažné) a hydraulické lisy (vytlačovací).
- Obecně se používá několik metod akumulace energie. Jednotlivé tvářecí stroje, protože se zásadně liší, používají různé principy akumulace. Hydraulické lisy, které používají energii tlakové kapaliny, využívají akumulaci právě tlakové energie. Mechanické lisy mají do pohonu umístěný rotující setrvačnick. V případě přímého pohonu mechanického lisu je nutné akumulovat elektrickou energii. Protože jsou ale špičkové odběry časově krátké, ale energeticky veliké, jsou běžné způsoby akumulace elektrické energie do baterií nepoužitelné.
- Akumulace mechanické energie je využíváno v systému KERS v konstrukci Formule 1.

Současný způsob řešení problematiky v ČR

- Téma nemá v ČR řešení, výrobci jej nakupují. Jsou řešeny způsoby akumulace elektrické energie v delším časovém horizontu – například pro potřeby pžřenosové soustavy nebo ostrovních systémů. Dále je řešena problematika akumulace tepelné energie.

Cíle a praktické výstupy pro obor/průmysl

- Vyvinout metodiku pro optimalizaci akumulace energie v pohonném řetězci stroje s ohledem na technologickou potřebu tvářecí práce (energie). Stanovení potřebné akumulované energie v závislosti mezi potřebou a zdrojem.
- Řešit problematiku akumulace mechanické energie v setrvačnicku v závislosti na převodech umístěných v pohonech. Zohlednění umístění spojky a brzdy.
- Řešit problematiku řetězce pohonu jako celek.
- Vyvíjet akumulátor elektrické energie s možností vysokého odběru energie – metodika elektrochemická nebo mechanická. Vysoká účinnost na/vybíjení.

Vlastní odborné zhodnocení přínosu tématu pro obor a průmysl v ČR

- Optimalizace postupů při vývoji a následném návrhu pohonu stroje využívajícího akumulaci energie s cílem snížení výrobních nákladů při současném zvýšení účinnosti.
- V případě nasazení vlastního řešení úspora v porovnání s nakupovaným řešením.

Způsob dosažení cílů

- Sestavení a ověřování metodiky pro řešení návrhu a optimalizace pohonu tvářecího stroje.
- Navrhnout optimalizované řešení kombinace motoru, převodů akumulátoru a spojky a brzdy.
- Navrhnout akumulátor elektrické energie využitelný pro špičkový odběr, velkou kapacitu, dobrou na/vybíjecí účinnost, malé zástavbové prostory a nízké pořizovací náklady.

Doporučený řešitel

- CVTS, KKS, ZČU v Plzni (výzkumná skupina pro tvářecí stroje Centrum výzkumu konstrukce tvářecích strojů)
- Fakulta elektrotechnická

5. Technologie tváření

5.1. Technologie tváření

5.1.1. (T150) Výzkum a vývoj nových postupů pro simulace v plošném tváření

Navrhovatel

Doc. Ing. Jan Čermák, CSc. Ing. František Tatiček, 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, ověření starých postupů a také 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 simulaci plošného tváření

Simulace bude poskytovat korektní informace pouze v případě, že okrajové podmínky technologického a materiálového charakteru budou zadávány předem definovaným způsobem. Z tohoto důvodu je nutné specifikovat, jak které podmínky zadávat, a experimentálními metodami ověřovat jejich hodnoty. Výsledky simulace je třeba verifikovat porovnáním s naměřenými výsledky.

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 je zajištění licence výkonného moderního softwaru a pořízení experimentálního zařízení včetně lisovaného materiálu.

Doporučený řešitel

FS ČVUT v Praze, Ústav strojírenské technologie, MecasESI s.r.o., lisovna ŠkodaAuto, a.s.

5.1.2. (T151) Výzkum a vývoj zvyšování přidané hodnoty zápusťkových výkovek

Navrhovatel

Doc. Ing. Jan Čermák, CSc. FS ČVUT v Praze, Ústav strojírenské technologie,

Popis konkrétních problémů

Zápusťkové výkovky jsou polotovary, které se liší od hotových součástí o technologické přídavky a přídavky na obrábění, které je nutné následně 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 tak přesný tvar výkovku, aby následoval minimální podíl obráběcích operací. Snižováním podílu obrábění se rovněž zkrátí doba výroby a cena výrobku.

Stručný popis problematiky ve světě

Rozvoj technologií zápusťkového 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 užitečných vlastností zápusťkových 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 zápusťkového kování s vysokou přidanou hodnotou v automobilovém průmyslu je možné aplikovat i na další oblasti našeho strojírenského průmyslu, a to všude tam, kde se zápusťkové 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 (podkoso, 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 (např. DEFORM, FORGE, Simufact.forming) s možností simulace ve 3D, tak i odpovídajícího hardwaru a zajištění kvalitních a přesných vstupních dat

Doporučený řešitel

Škoda Auto, a.s. – kovárna; pracovníci Technických universit (FS ČVUT v Praze, ZČU v Plzni, VUT Brno).

5.1.3. (T152) 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 následně odebrat. Konečný tvar dané součásti je následně dosažen obráběním.

Vzhledem ke globalizaci na trhu zápustkových výkovek 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 výkovek, snížení hmotnosti a zkrácení výrobního cyklu.

Mezi metody přesného kování patří kování s vyloučením vnějšího výronku, kování za středních teplot, kování výkovek s vnitřní dutinou, sdružené kování více výkovek. Zkrácení výrobního cyklu lze dosáhnout sdružením tvářecích operací (např. kování a ostříhování). 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 výkovek, je možné zvládnout jen optimalizací celého výrobního procesu.

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.

Automobilky se snaží snižovat svoje vlastní náklady, a proto požadují od kováren nízké ceny výkovek, 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 výrobku 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 zápusťkových kováren.

Cíle a praktické výstupy pro obor/průmysl v ČR

Zavedením metod přesného kování lze dosáhnout zvýšené kvality výrobků při snížených výrobních nákladech. Výsledky výzkumu a vývoje jednotlivých metod přesného kování je možné transferovat do kováren v České Republice. Přitom je však nutné si uvědomit, že se vždy jedná o komplexní proces, kdy výroba daného typu zápusťkového výrobku je spojena s celým výrobním procesem od zajištění vhodného polotovaru, jeho ohřevu, konstrukce a provozu zápusťek pro jednotlivé operace tváření až po všechny dokončovací operace včetně tepelného zpracování, včetně volby odpovídajícího strojního zařízení.

Způsob dosažení cílů

- Průzkum potřeby přesných výrobků 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 zápusťkových výrobků s ohledem na možnosti použité technologie 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
- Navržení odpovídajícího strojního vybavení (tvářecího stroje a manipulačního zařízení.)
- Ověření výsledků z virtuálního modelování v praxi (oceňování modelování).

Předpokládaná doba vývoje 1 až 2 roky, podle počtu nasazených pracovníků. Nezbytnou podmínkou je zajištění kvalitní numerické simulace ve 3D spolu s odpovídajícím hardwarem 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 v Plzni).

5.1.4. (T153) 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 rychlosti deformace. Nepříjemnou skutečností je však fakt, že materiál při zkoušce tahem se jeví plastičtější, než je v reálném lisovacím procesu. Objektívni 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.

5.1.5. (T154) 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 výkovek 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 výkovek může mít katastrofické následky. Z těchto důvodů 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 výkovek 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).

5.1.6. (T155) 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 přídávky a úzkými tolerancemi.

Klasické zápusťkové 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, oduhlíčení) 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 energeticky náročnější, než tváření za tepla, ale pokud se požaduje vysoká přesnost výkovku a dobrá kvalita povrchu, by toto měla vykompenzovat.

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 zápusťkami 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 výkovek 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 výkovek – posuzování jednotlivých výkovek z hlediska jejich tvaru, složitosti tvaru a mechanických vlastností
- Provedení selekce vhodných výkovek 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 výrobcí tvářecích strojů

Doporučený řešitel

- ŠMERAL Brno, a.s.
- ŽĐAS, a.s.
- Velké kovárny v republice.

5.1.7. (T156) 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 ŽĐAS nebo až čtyřoperačních, například od firmy EUMUCO. Tyto technologie jsou nahrazovány technologií příčného klínového válcování a to jak pro výrobu předválek pro následující zápusťkové 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 zápusťkové 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 vývalků 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.

5.1.8. (T157) 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

- Sledování tepelného stavu nástroje během tváření

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. předeřtítí zápustek při tváření za tepla, předeřtítí 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.

5.1.9. (T158) Výzkum a vývoj nových konstrukčních a materiálových koncepcí pro tvářecí nástroje

Navrhovatel

Ing. Pavel Šuchmann, Dr. Ing. Zbyšek Nový, COMTES FHT a.s., aktualizace 2019: Doc. Ing. Jan Hlaváč, Ph.D.

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 zušlechťení 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 užité 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 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 stále 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 mechanismů 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

Doporučený řešitel

COMTES FHT a.s., ŽĎAS a.s., některá ze zápusťkových kováren (ŠKODA Auto, VIVA aj.).

5.1.10. (T159) 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 tvářitelné 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 rekrytalizací 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

5.1.11. (T160) 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 zápusťkově 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 zušlechtování 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 zápusťkových výkovků.

- bude zcela eliminováno dlouhodobé žíhání před započítím procesu tváření za studena,
- bude částečně eliminováno mezioperační žíhání při tváření za studena,
- bude odstraněn proces zušlechtování 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.