

Konstrukční úprava připojení pneumatického vysokootáčkového vřetene na CNC frézovací stroj

Matěj Pešice, Josef Kekula

ČVUT v Praze, Fakulta strojní, Ústav výrobních strojů a zařízení, Horská 3, 128 00 Praha 2, Česká republika

Abstrakt

V článku je obsažen návrh a následná realizace konstrukční úpravy konektorového rozhraní přídavného vysokootáčkového pneumatického vřetene pro jeho přímé a jednoduché napojení k CNC frézovacímu stroji MCFV 5050 LN. Úpravě podléhá propojení pneumatického a elektrického obvodu a řešení krytování rozhraní na stroji v situaci, kdy není vřeteno aktuálně použito při obrábění. Toto zdokonalení experimentálního přídavného vřetene vyvinutého na Ú12135 vede k možnosti nasazení vřetene v režimu automatické výměny nástrojů.

Klíčová slova: STČ; pneumatické vřeteno; mikrofrézování; konektor; automatická výměna nástrojů

1. Úvod

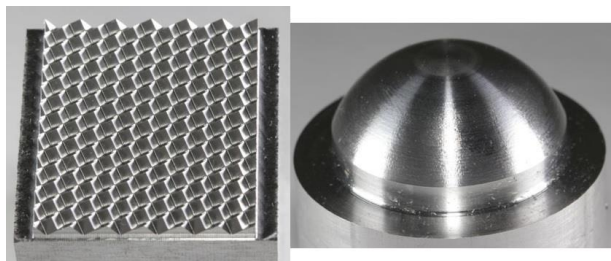
Ke zhotovení jemných tvarů frézováním se používají frézy malých průměrů. Aby bylo dosaženo požadované řezné rychlosti, je potřeba zajistit vysoké otáčky nástroje. Tím jsou kladeny specifické nároky na použitý stroj. V případě, že se nedosáhne požadované řezné rychlosti, bude to mít negativní vliv na jakost povrchu, na životnost nástroje a v neposlední řadě se prodlouží výrobní časy, jak se uvádí v lit. [2]. Vzhledem k tomuto požadavku řada firem přináší na trh přídavná vysokootáčková vřetena, která jsou schopna zajistit potřebné technologické podmínky pro danou aplikaci. Jedná se o zajímavou alternativu pořízení výkonnějšího a tedy nákladnějšího stroje, při zisku otáček vřetene v řádu až statisíců za minutu. Jednotlivá vřetena se liší především konstrukčním provedením, typem pohonu a výkonem. Není výjimkou, že jsou vřetena použitelná v automatické výměně nástrojů, tento požadavek s sebou však nese i specifická konstrukční opatření.

Pro experimentální účely bylo vyvinuto pneumatické přídavné vřeteno, které je schopno dosáhnout otáček v řádu statisíců za minutu a které disponuje zpětnovazebnou regulací otáček v zátěži, což není u tohoto typu přídavných vřeten běžné. Dosavadní řešení připojení tohoto vřetene ke stroji je však poměrně složité, vyžaduje při každé manipulaci s vřetenem ruční připojování periferií a zdoluhavé úkony v prostoru stroje.

V této práci bude navržen speciální konektor, který zjednoduší proces připojování přídavného vřetene ke stroji, sníží počet úkonů při připojování a jejich složitost a tím přiblíží vývoj vřetene směrem k začlenění do automatické výměny nástrojů. Návrh bude proveden pro vertikální, 3-osé CNC frézovací centrum MCFV 5050LN.

Aby bylo zřejmé, o jaké rozměry nástroje / obrobku se v řešeném případě jedná, na Obr. 1 jsou demonstrační obrobky, obrobené na daném stroji, při použití daného přídavného vřetene. Jedná se v prvním případě o tvar reflektorové matrice (na Obr. 1 vlevo), která obsahuje mnoho pravidelně se opakujících tvarových prvků. Pole se skládá z velkého množství krychlí o hraně 2 mm, pootočených o

45° kolem osy Z a naklonených o 45° vůči vodorovné rovině. Každé dvě krychle mají společnou jednu hranu. Dokončení tohoto obrobku bylo provedeno kulovou frézou o průměru 0,5 mm, při otáčkách vřetene 80 000 ot. / min a čas obrábění byl 454 minut. Druhý obrobek (na Obr. 1 vpravo) je kulový vrchlík, jehož podstavou je válec o průměru 30 mm. Tento byl obroben kulovou frézou o průměru 4 mm, při otáčkách vřetene 40 000 ot./ min, čas obrábění byl 30 minut.



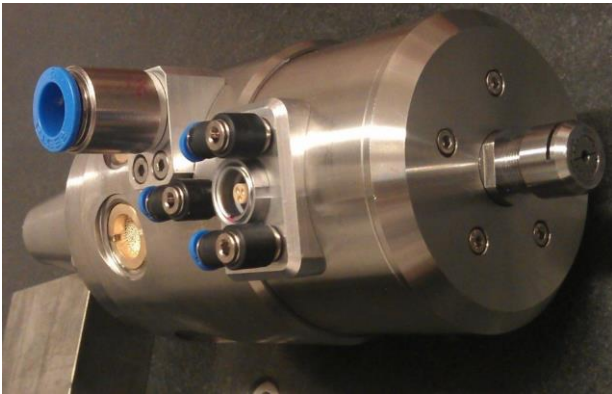
Obr. 1. Vřeteno připojené ke stroji v dosavadní podobě

2. Předmětné přídavné vřeteno

Na půdě ČVUT Fakulty Strojní – Ústavu výrobních strojů a zařízení bylo vyvinuto experimentální přídavné vysokootáčkové vřeteno s pneumatickým pohonem a zpětnovazebnou regulací. Toto vřeteno je otestováno na bezproblémový provoz do otáček 150tis. za minutu. Pohon vřetene je zajištěn pneumaticky, přiváděním tlakového vzduchu do statoru turbíny s radiálním vstupem a axiálním výstupem. Tlak přiváděného vzduchu dosahuje maximálně 6 bar. Hřídel vřetene je uložen ve valivých keramických (hybridních) ložiskách s kosoúhlým stykem. Požadovaná předepínací síla ložisek je vyvozena napájením předepínacího systému tlakovým vzduchem. Devizou tohoto vřetene je možnost regulace otáček. Jedná se o zpětnovazebnou regulaci prostřednictvím PI regulátoru a pneumatického proporcionálního ventilu, které se ovládají pomocí

* Kontakt na autora: Matej.Pesice@fs.cvut.cz

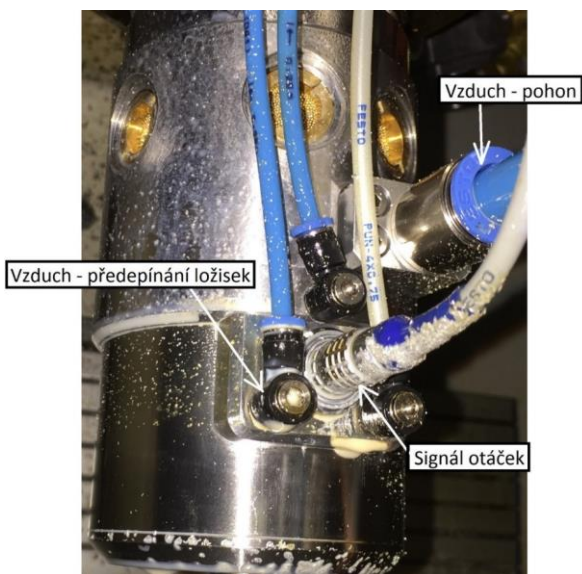
PLC automatu. Zpětnou vazbu v regulačním obvodu představuje indukční snímač, který během každé otáčky rotoru vřetene vyše impuls. Ze snímače je potřeba přivést signál do PLC automatu. Vřeteno je vidět na Obr. 2.



Obr. 2. Laboratorní vřeteno ČVUT FS Ú12135

2.1. Dosavadní řešení připojení

Konektory jsou v dosavadním provedení připojovacího rozhraní vřetene osazeny na samostatných blocích vystupujících z pláště vřetene. Připojení dvou vzduchových obvodů – pro předepínání ložisek a pro pohon, je řešeno prostřednictvím konektorů Festo, které jsou k bloku připevněny prostřednictvím závitů a které jsou opatřeny rychlospojkami pro připojení hadice patřičného průměru. Elektrický konektor pro přenos signálu čidla otáček je od firmy Lemo, jehož zásuvka je jištěna maticí z vnější strany bloku. Vzduchové konektory vyžadují ruční manipulaci s rychlospojkami, konektor Lemo má aretaci proti samovolnému rozpojení konektoru, se kterou je nutné rovněž ručně manipulovat. Další periferií vřetene, viditelnou na obrázku, je vzduchový vstup pro systém mazání ložisek, ten však nebude nutné zapojovat, vzhledem k mazání tukem, využívanému v požadované variantě. Dosavadní řešení připojení je na Obr. 3.



Obr. 3. Vřeteno připojené ke stroji v dosavadní podobě

3. Zjednodušení připojování (první fáze)

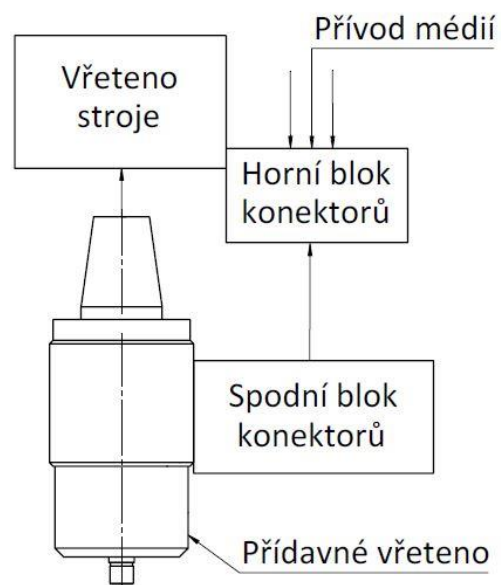
První fáze byla řešena v rámci bakalářské práce v roce 2016 a je zde realizováno zjednodušení propojení pneumatických obvodů vřetene. Propojení elektrických konektorů zůstává v původní podobě.

Připojení vřetene je navrhováno pro vertikální, 3-osé frézovací centrum firmy ZPS s označením MCFV 5050 LN viz Obr. 4. Typ upínacího kužele vřetene stroje je SK 40, tedy shodný s kuželem na přídavném vřeteni. Stroj je vybaven lineárními motory a elektrickým vřetenem s maximem otáček ve výši 15tis. za minutu. Pracovní rozjezd os jsou (X/Y/Z) 500/400/400 mm. CNC řídicí systém je Siemens Sinumerik 840 D.



Obr. 4. Stroj ZPS MCFV 5050 LN

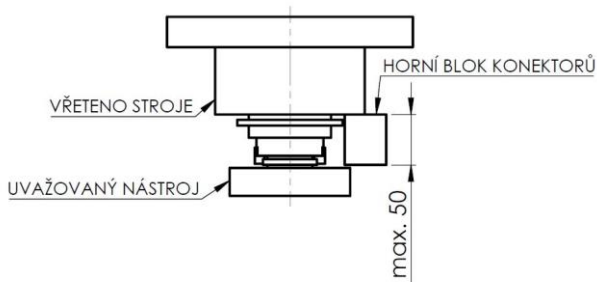
Rámcově bylo na základě rešerše používaných řešení jiných vřeten zvoleno následující uspořádání elementů propojení viz Obr. 5. Propojení bude realizováno prostřednictvím dvoudílného konektoru. Na stacionární část vřetene stroje bude trvale instalován konektorový blok se stálým přívodem potřebných médií. Na přídavném vřeteni bude připevněn druhý konektorový blok, který bude napojen na patřičné okruhy v přídavném vřeteni. Propojení obou bloků proběhne v okamžiku upnutí vřetene do stroje.



Obr. 5. Schéma uspořádání připojení

3.1. Rozměry konektorových bloků

Rozměry horního konektorového bloku, především jeho výška, jsou hlavním limitujícím parametrem. Vzhledem k tomu, že bude blok trvale instalován na vřetení stroje, nesmí v provozu stroje bez připojeného přídatného vřetene zasahovat do prostoru, ve kterém se může potenciálně nacházet držák nástroje upnutého do vřetene. Konkrétně je to omezeno vzdáleností čela vřetene a čela rotoru vřetene, která činí 50mm, jak je zřejmé z Obr. 6. Do tohoto prostoru se musí vejít horní konektorový blok včetně všech dílčích konektorů.



Obr. 6. Omezení prostoru horního bloku konektorů

U spodního dílu konektorového bloku bude využito rozměrů a tvaru kostky, na které byly instalovány vzduchové rychlospojky, a elektrická zásuvka v dosavadním provedení přídatného vřetene viz Obr. 7 vlevo. V bocích kostky jsou vyfrézované drážky, které kopírují zafrézování v krytu spodní části vřetene (Obr. 7 vpravo), který se do nich zasouvá. Z vrchní strany se nachází dvojice závitových děr pro spojení kostky s čelem příruby vřeteníku. V případě, že budou tyto prvky společně s šířkou bloku zkopírovány z původní kostky konektorů, nebude nutné kryt vřetene ani vřeteník upravovat. Výrobci přídatných vřeten obvykle mají montáž spodního dílu konektorového bloku řešenou otočným prstencem, nebo je blok přišroubován k plášti přídatného vřetene. Pro tuto úlohu byla zvolena druhá zmíněná varianta, tedy připevnění pomocí šroubů.



Obr. 7. Provedení původní kostky konektorů

3.2. Přenos tlakového vzduchu

K přívodu tlakového vzduchu do dvou vzduchových obvodů byly zvoleny konektory Stäubli SPC viz Obr. 8. Jedná se o konektory určené především do modulového řešení konektorových systémů, které jsou schopny přenášet všechna fluidní média (oleje, emulze, vzduch). Jsou

navrženy pro použití v připojování obráběcích hlav, hydraulických systémů, použití u forem a počítá se u nich s častým připojováním/odpojováním, čemuž odpovídá garantovaná životnost 1 milion cyklů. Konektory jsou vybaveny systémem propojení, kdy je třeba zatlačením zástrčky do zásuvky konektoru stlačit pružinu. Pokud tuto sílu přestaneme vyvíjet, pružina konektor opět rozpojí a oba díly konektoru se uzavřou. Konektor v případě propojení a přenosu vzduchu zaručuje, že do systému nevniknou nečistoty z okolí a platí to i v případě rozpojení kontaktů. Materiál konektorů je nerezová ocel, jak je uvedeno v lit. [3]

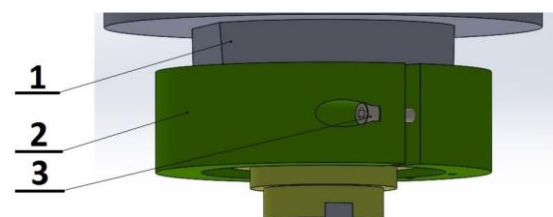


Obr. 8. Konektor Stäubli SPC, převzato z lit. [3]

Pro vzduchový okruh pohonu turbíny byl vzhledem k požadovaným nárokům na přenášený průtok zvolen konektor SPC 05. U tohoto konektoru v případě přenosu vzduchu o tlaku 6 bar tlaková ztráta při uvažovaném průtoku 300l/min dosahuje 0,03 bar, což je vyhovující hodnota. K přenosu vzduchu pro předepínání ložisek nejsou nároky na přetlak a průtok příliš vysoké, proto byla zvolena nejmenší výrobcem nabízená velikost konektoru SPC 03. Volba shodného typu konektorů zaručuje bezproblémovou konstrukci konektorových bloků, jelikož sám výrobce využívá současně různé velikosti konektorů v modulových konektorových systémech.

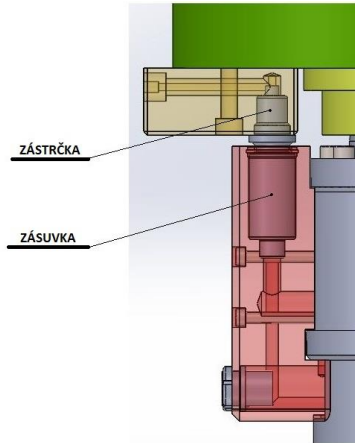
3.3. Konstrukce a výroba dílců

Horní blok konektorů bude dvojicí šroubů s válcovou hlavou a vnitřním šestihranem připevněn k objímce (Obr. 9, pozice 2), která bude na vřetení držet sevřením. Tato objímka obepne válcový profil tubusu vřetene (Obr. 9, pozice 1) a po nastavení požadovaného natočení bloku konektorů se dotáhne stahovací šroub objímky (Obr. 9, pozice 3).



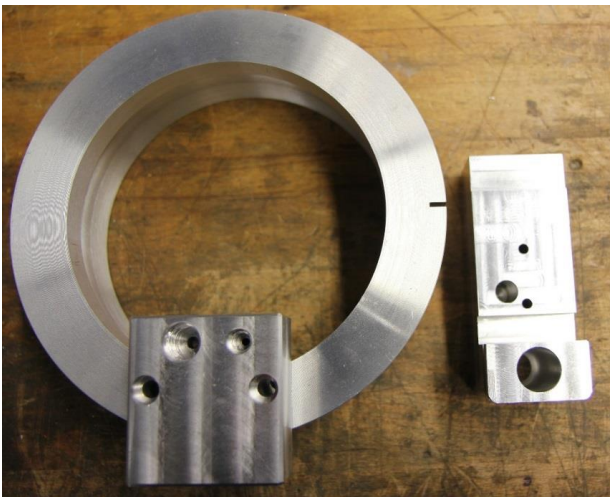
Obr. 9. Objímka tubusu vřetene

Uložení konektorů v konektorových blocích je následující viz Obr. 10. Zástrčky konektorů jsou prostřednictvím závitů instalovány do horního bloku a zásuvky jsou uloženy do kapes ve spodním bloku a zajištěny pojistnými kroužky.



Obr. 10. Uložení konektorů v blocích

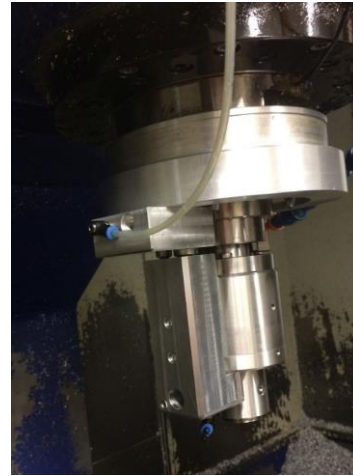
Jednotlivé díly byly vyrobeny na frézovacím centru KMAS MCV 1000, polotovary objímky byl zhotoven na konvenčním soustruhu. Vzhledem k tomu, že se jedná o kusovou výrobu, nebyla složitost dílů překážkou, nicméně pro sériovou výrobu by bylo třeba konstrukci dílů změnit pro snadnější zhotovení. Jako příklad lze uvést rozdělení spodního bloku konektoru na dva díly, což by usnadnilo výrobu některých prvků. Zhotovené díly před smontováním jsou vidět na Obr. 11.



Obr. 11. Zhotovené díly konektoru

Všechny komponenty byly sestaveny, konektory ve spodním konektorovém bloku jsou v kapsách uloženy při správné funkci těsnicích O kroužků. Objímka tubusu vřetene byla na tubus naistalována a její límeč doražen o čelo tubusu vřetene, aby byl horní konektorový blok ve správné výšce, uvažované při konstrukci. V případě nevhodné axiální polohy dílů by nastaly problémy s upnutím vřetene, respektive s funkcí konektoru. Připojení předávného vřetene k vřeteni stroje proběhlo v pořádku a test

těsnosti vzduchového okruhu také potvrdil funkčnost konektoru. Test funkčnosti je na Obr. 12.



Obr. 12. Test funkčnosti konektoru

4. Dokončení úpravy (druhá fáze)

V návaznosti na práce vykonané v první fázi úpravy konektorového rozhraní vřetene, kdy bylo dosaženo zjednodušení a zrychlení manuální výměny vřetene bylo dále pokračováno s cílem umožnění použití vřetene v automatické výměně nástrojů pro zvýšení užité hodnoty vřetene.

Ke splnění tohoto požadavku na nové řešení je třeba implementovat do konektorového systému elektrický konektor, který umožňuje automatické propojení a také zajistit ochranu všech konektorů rozhraní instalovaného v pracovním prostoru OS (horního bloku konektorů) po dobu, kdy není vřeteno připojeno (prostřednictvím krytování).

4.1. Elektrický konektor signálu otáček

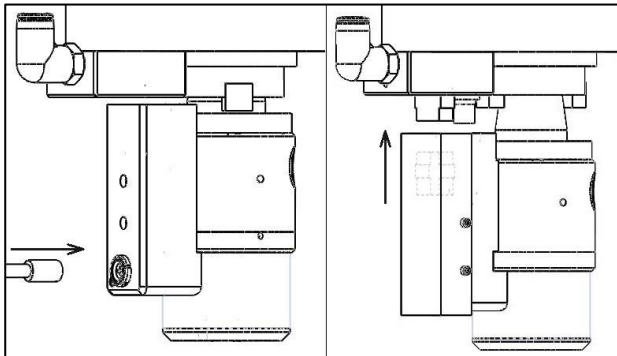
K přenosu signálu senzoru otáček z přidavného vřetene do PLC automatu je potřeba zapojit konektor, který je osazen třemi kontakty pro analogovou zem, napájení a signál otáček. Dosavadní řešení konektoru není uzpůsobeno k automatickému propojení a je nutná jeho manuální aretace obsluhou OS.

Pro řešenou aplikaci byl zvolen konektor z modulárního konektorového systému CombiTac viz Obr. 13. Tento je navržen pro navádění a aretaci rámečkem modulárního konektoru, tudíž je pro dané použití vhodný.



Obr. 13. Elektrický konektor modulár. systému CombiTac, převzato z lit. [4]

Uložení tohoto konektoru do bloků konektorového systému bylo navrženo tak, aby stačilo pouze upravit stávající, již vyrobené, součásti rozhraní. Zásuvka konektoru je umístěna do horního konektorového bloku, který je trvale instalován na stroji a zástrčka je umístěna do čela spodního konektorového bloku, jak je patrné z Obr. 14.

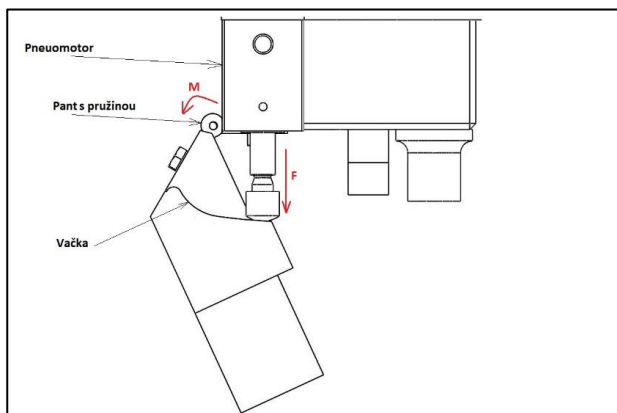


Obr. 14. Původní řešení, vlevo; vpravo nové řešení

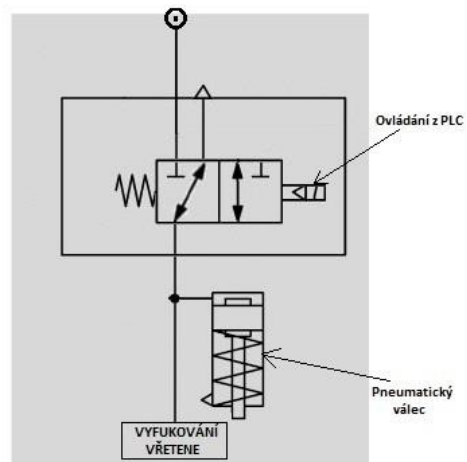
4.2. Krytování konektorů

Krytování konektorů pro připojení vřetene, které jsou instalovány trvale na stroji, je nutné po dobu, kdy není vřeteno upnuto do stroje, a tedy nejsou konektory propojeny. Kryt musí být schopen pracovat v automatickém režimu, to znamená odkrýt konektory při upínání vřetene do stroje a zakrýt konektory po vyjmutí vřetene.

K tomuto účelu byl navržen výklopný kryt, jehož hlavními částmi jsou vačka, pant s pružinou a lineární jednocínný pneumotor Festo AEVC-12-10-A-P. Schéma sestavy je na Obr. 15. K napájení válce bude využit pneumatický okruh instalovaný ve vřeteni stroje. Tento okruh je v činnosti při upínání nástroje do vřetene a zajišťuje profukování dutiny vřetene. Zapojení pneumatického obvodu je vidět na Obr. 16. Tato skutečnost je z hlediska napájení pneumotoru zásadní, jelikož takto není nutné řešení vlastní periferie pohonu – jeho ovládání, zásah do PLC stroje atd.

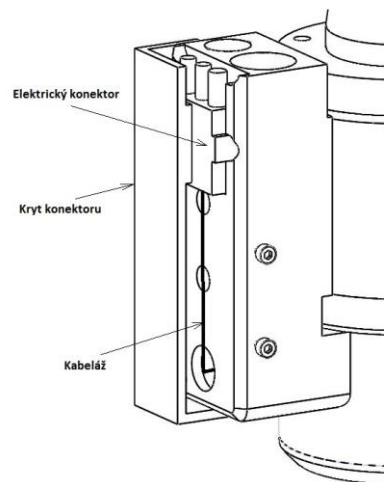


Obr. 15. Schéma sestavy krytu



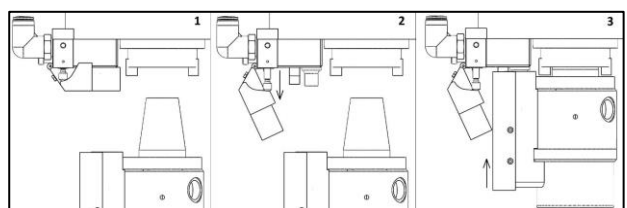
Obr. 16. Schéma pneumatického zapojení pohonu krytu

K implementaci elektrického konektoru do spodního bloku konektorů je třeba vyfrézování kapsy pro jeho uložení a zakrytí celé čelní plochy bloku pomocí krytu. Tento kryt bude chránit kabeláž konektoru a samotný konektor v prostoru OS a bude namontovaný na stávajícím bloku konektorů. Schéma instalovaného elektrického konektoru je vidět na Obr. 17.



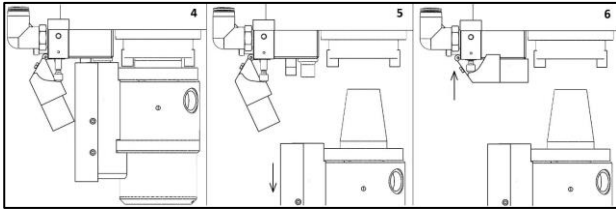
Obr. 17. Kryt elektrického konektoru

Přůběh připojování vřetene v režimu AVN je patrný z Obr. 18. V první pozici (1) jsou konektory zakrytovány a vřeteno není upnuto ve stroji. V pozici (2) bylo na panelu stroje stisknuto tlačítko pro upínání nástroje do vřetene. V tu chvíli je aktivní pneumatický okruh a pneumotor prostřednictvím vačky vyklopí kryt konektorů. V pozici (3) je vřeteno upnuto ve stroji a je připraveno k použití.



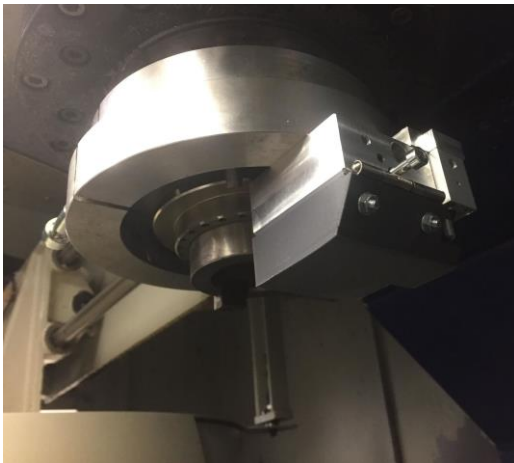
Obr. 18. Postup připojení vřetene

Sled kroků při odpojování vřetene je obdobný, pouze v opačném pořadí viz Obr. 19. Po vyjmutí vřetene z dutiny vřeteníků pozice (5) dojde k vypnutí napájecího okruhu jednočinného motoru a jeho píst se vrátí do horní úvratě. Rovněž kryt se vrací do uzavřené pozice působením pružiny v pantu krytu. V pozici (6) jsou konektory zakrytované a jsou chráněny před třískami a procesní kapalinou.



Obr. 19. Postup odpojení vřetene

V rámci popsaného vývoje bylo nutné vyrobit nové a upravit stávající dílce konektorového rozhraní. Upraven byl z tohoto důvodu jak spodní, tak i horní blok konektorů. Obrobena z hliníkové slitiny byly: krytku elektrického konektoru a kabeláže pro spodní blok, držák pneumomotoru pro horní blok a kulová koncovka pro pístnici pneumotoru. Samotný kryt konektorů byl vyroben technologií 3D tisku z ABS plastu. Na Obr. 20 je vidět horní konektorový blok s krytováním a pneumatickým pohonem, který je prostřednictvím objímky instalovaný na stroji. V současné době zbývá zapojit elektrické konektory v obou konektorových blocích, pneumotor připojit k napájení od vyfukování vřetene a otestovat funkčnost celého systému.



Obr. 20. Kryt elektrického konektoru

5. Závěr

V práci je popsána realizace konstrukční úprava připojovacího rozhraní pneumatického přídatného vřetene.

Konstrukční úprava připojení je rozdělena do dvou fází, které na sebe navazují. V první fázi (řešené v BP) bylo dosaženo zjednodušení úkonů nutných pro připojení

vřetene ke stroji zhotovením konektorového rozhraní obsahujícího pneumatické konektory, umožňující režim automatického propojení.

V rámci další postupu řešení na Ú12135 je v druhé fázi dokončena úprava připojení, která umožní nasazení vřetene v automatické výměně nástrojů. Je zajištěno propojení elektrického okruhu pro přenos signálu otáček a je vyřešeno krytování konektorového rozhraní.

Tato práce vznikla při řešení projektu TAČR - Centra kompetence „Strojírenská výrobní technika“, kód projektu TE01020075.

Literatura

- [1] Návrh připojení pneumatického vysokootáčkového vřetene na CNC frézovací stroj. [online]. Matěj Pešice, ČVUT v Praze, Fakulta strojní, 2016. [cit. 21. 3. 2018]. Dostupné z: <https://dspace.cvut.cz/handle/10467/3133>
- [2] MM Průmyslové spektrum. *Katalog produktů. Mikrofrézování oceli - zdroj úspor* [online]. Praha: Průmyslové spektrum, 26. 6. 2007 [cit. 25. 3. 2018]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/mikrofrézování-oceli-zdroj-uspor.html>
- [3] STÄUBLI INTERNATIONAL AG. Katalog produktů. In: SPC All Fluids Connectors [online]. 2014 [cit. 25. 3. 2018]. Dostupné z: <https://www.staubli.com/en/connectors/multi-connection-systems/hydraulic-lines/valve-gating-spc/>
- [4] STÄUBLI INTERNATIONAL AG. Katalog produktů. In: CombiTac Programme [online]. 2014 [cit. 25. 3. 2018]. Dostupné z: <http://www.staubli.com/en/connectors/multi-couplings-system/combitac/>