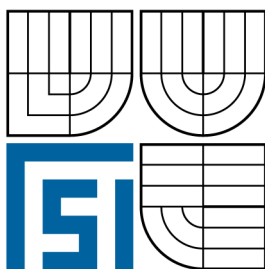


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

TRENDY VÝVOJE UPÍNÁNÍ ŘEZNÝCH NÁSTROJŮ

TRENDS IN DEVELOPMENT OF CUTTING TOOLS CLAMPING

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. TOMÁŠ SERVUS

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. KAREL OSIČKA

BRNO 2009

NETISKNOUT!

Zadání

NETISKNOUT!

Licenční smlouva - oboustranně

ABSTRAKT

Tato studie definuje a blíže specifikuje stávající trendy v upínání stopkových nástrojů, zejména pro frézování a vrtací operace. Práce popisuje možnosti aplikace upínačů stopkových nástrojů pro jednotlivé způsoby obrábění a stručně definuje jejich principy. V experimentální části se projekt zabývá materiálovým rozбором hydraulického a tepelného upínače, v technicko-ekonomickém hodnocení porovnává vybrané upínače z hlediska jejich technických vlastností a také pořizovacích nákladů.

Klíčová slova

Trendy upínání, upínače, stopkové nástroje

ABSTRACT

This master's thesis defines and closely specifies actual trends in clamping systems for shank tools, especially used for milling and drilling operations. The project describes possibilities of application of clamping systems for shank tools for particular types of machining and briefly defines their principles. Experimental part is focused on material analyse of hydraulic and thermal clamping system. Comparing of clamping systems in term of their technical properties and their initial costs is included in technical and economical conclusion.

Key words

Trends in clamping systems, fixture, shank tools

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

SERVUS, T. *Trendy upínání rezných nástrojů*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2009. 77 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Karel Osička.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma *Trendy vývoje upínání řezných nástrojů* vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

Datum 29. 5. 2009

.....
Jméno a příjmení diplomanta

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto Ing. Karlu Osičkovi, Ing. Pavlu Ambrožovi, Ing. Marii Ptáčkové, Pavlu Krčálovi za cenné odborné rady při vypracování diplomové práce a Terezce Bucalové za věcné připomínky v oblasti gramatické a grafické úpravy.

OBSAH

ABSTRAKT	4
PROHLÁŠENÍ	5
PODĚKOVÁNÍ.....	6
OBSAH	7
ÚVOD	9
1 ROZBOR JEDNOTLIVÝCH ZPŮSOBŮ OBRÁBĚNÍ	10
1.1 SOUSTRUŽENÍ	10
1.2 FRÉZOVÁNÍ	11
1.3 VÝROBA ZÁVITŮ.....	12
1.4 VRTÁNÍ.....	12
1.5 VYHRUBOVÁNÍ, VYSTRUŽOVÁNÍ, ZAHLUBOVÁNÍ	13
2 UPÍNÁNÍ STOPKOVÝCH NÁSTROJŮ PRO JEDNOTLIVÉ ZPŮSOBY OBRÁBĚNÍ.....	14
2.1 UPÍNAČE SE STRMÝM KUŽELEM (SK)	14
2.2 UPÍNAČE PRO NÁSTROJE S DUTOU KUŽELOVOU STOPKOU (HSK)	15
2.3 UPNUTÍ NÁSTROJŮ PŘI SOUSTRUŽENÍ	16
2.4 UPÍNÁNÍ STOPKOVÝCH NÁSTROJŮ PRO VRTÁNÍ A FRÉZOVÁNÍ.....	18
2.5 UPÍNÁNÍ STOPKOVÝCH NÁSTROJŮ PŘI VÝROBĚ ZÁVITŮ, VYSTRUŽOVÁNÍ, VYHRUBOVÁNÍ A ZAHLUBOVÁNÍ.....	20
3 POŽADAVKY KLADENÉ NA UPÍNACÍ SYSTÉMY	23
3.1 VYSOKORYCHLOSTNÍ OBRÁBĚNÍ (HSC)	24
3.2 VYSOKOVÝKONNÉ FRÉZOVÁNÍ (HPC).....	24
3.3 OBRÁBĚNÍ S MINIMÁLNÍM MNOŽSTVÍM ŘEZNÉ KAPALINY	25
3.4 VYVÁŽENÍ UPÍNAČŮ PRO NÁSTROJE	29
4 TRENDY VÝVOJE UPÍNÁNÍ NÁSTROJŮ.....	37
4.1 TENDO - HYDRAULICKÉ UPÍNAČE	37

4.2	TRIBOS - POLYGONÁLNÍ UPÍNACÍ SYSTÉM NÁSTROJŮ	44
4.3	CELSIO - TEPELNÉ UPÍNAČE.....	49
4.4	UNIVERZÁLNÍ UPÍNAČ SINO.....	53
4.5	UPÍNAČ SAFELOCK.....	55
4.6	EXPERIMENTÁLNÍ ZJIŠTĚNÍ MATERIÁLU UPÍNAČŮ	58
5	TECHNICKO - EKONOMICKÉ HODNOCENÍ	66
	ZÁVĚR.....	72
	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	74
	SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ.....	76
	SEZNAM PŘÍLOH	77

ÚVOD

Po dlouhou dobu byla upínání nástrojů věnována jen nepatrná pozornost. Za rozhodující faktory při obrábění byly považovány stroj, vřeteno a nástroj. Upínače byly často podceňovaným a opomíjeným, avšak důležitým a rozhodujícím členem mezi vřetenem stroje a nástrojem.

Náklady na upínače jsou minimální vzhledem k ceně kompletního obráběcího stroje. Studie prokázaly, že celkové výdaje na nástrojové držáky tvoří méně než 0,5 procenta z celkových výdajů. Na nástrojovém držáku se tedy nevyplatí šetřit, zejména pokud může znatelně přispět ke kvalitě a produktivitě. (11)

Výběr správného upínače výrazně ovlivní budoucí výsledky celého obráběcího procesu. Nejdůležitějšími požadavky na upínač jsou: dostatečná upínací síla i při vysokých otáčkách, přesnost upnutí (obvodové házení) nástroje, jednoduchá obsluha, bezpečnost upnutí a v neposlední řadě hodnota vyvážení upínače. Kromě toho mohou upínače plnit i ochrannou funkci například tím, že svojí konstrukcí dokážou tlumit vibrace vznikající při obráběcím procesu, a tím nejen chrání vřeteno stroje, ale také zabraňují vzniku „mikro-výlomků“ na břitu nástroje – tak prodlužují jeho životnost a ve výsledku snižují náklady na celý obráběcí proces.

Požadavky zákazníka na obráběcí proces jsou obvykle jasně stanoveny a na trhu existuje mnoho různých typů upínačů, které tyto požadavky mohou splnit. Pro každou aplikaci je možné vybrat optimální upínací systém, neboť každý typ se vyznačuje odlišnými vlastnostmi a výhodami. (1)

Vzhledem k velmi širokému spektru různých nástrojových upínačů a jejich modifikací, se tato práce bude soustřeďovat zejména na upínače stopkových nástrojů.

Tato studie vznikla za spoluúčasti firem Gühring a Schunk, které nabízí velmi široký a ucelený výrobní program přesných upínacích systémů pro stopkové nástroje, tzv. Total Tooling.

1 ROZBOR JEDNOTLIVÝCH ZPŮSOBŮ OBRÁBĚNÍ

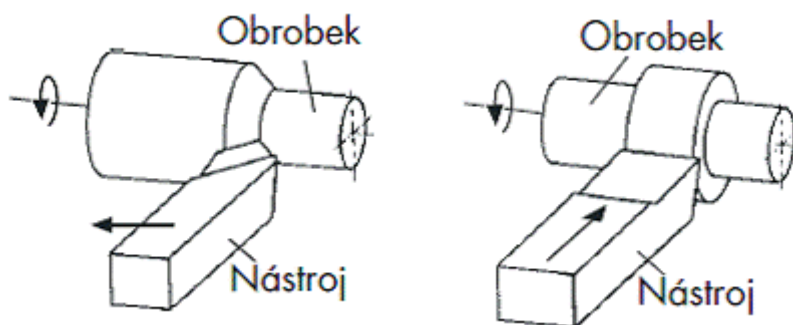
V této kapitole se práce zaměřuje na jednotlivé způsoby obrábění, u kterých lze aplikovat upínače stopkových nástrojů. Tato část práce nastiňuje nezávislému čtenáři, v kterých nejčastějších disciplínách obrábění lze stopkové upínače využít. Čtenář si pak dovede lépe vybavit a dát do souvislostí získané informace v průběhu studia tohoto projektu. Podkapitoly stručně shrnují principy jednotlivých metod obrábění.

1.1 Soustružení

Soustružení patří po vrtání mezi nejstarší obráběcí operace. Jeho vznik se datuje do 13. století.

V současné době se více než třetina obráběcích operací provádí na soustruzích. Lze na nich obrábět válcové, kuželové, kulové i obecné rotační plochy, rovinné plochy i závity. Kromě soustružení lze na soustruzích provádět další osové operace jako vrtání, vyhrubování, vystružování, řezání závitů závitníky nebo závitovými čelistmi. Pomocí přídatných zařízení lze na soustruzích i brousit, frézovat apod.

Soustružení je obrábění rotačních ploch, zpravidla jednobřítým nástrojem (nožem). Hlavním pohybem při soustružení je otáčivý pohyb obrobku. Nástroj koná vedlejší pohyby, tj. podélný přířuv, rovnoběžný s osou otáčení obrobku, a příčný posuv, kolmý k ose obrobku (obr. 2.1). Výsledkem příčného posuvu je čelní rovinná plocha. Kromě posuvu koná nástroj ještě přířuv. Tímto pohybem, který probíhá před obráběním, se nastavuje požadovaná hloubka řezu. (7)



Obr.1.1 Princip soustružení (2)

1.2 Frézování

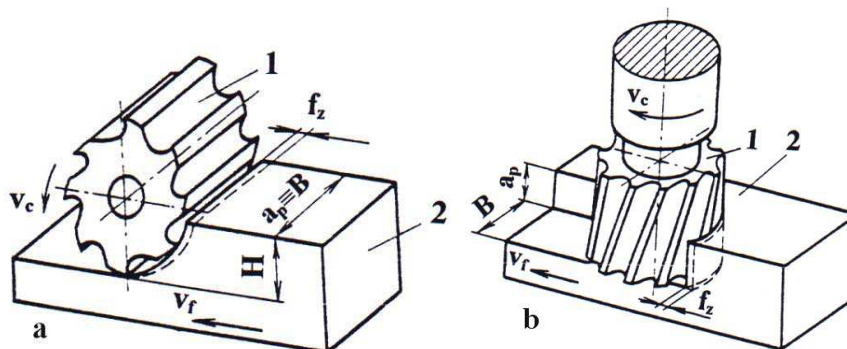
Frézování je obrábění rovinných nebo tvarových ploch, vnitřních nebo vnějších, vícebřítým nástrojem.

Frézování je mladší způsob obrábění než soustružení. První použitelné stroje na frézování-frézky byly zkonstruovány začátkem 18. století a dnešní podobu dostaly teprve koncem 19. století. Jsou to velmi výkonné stroje a po soustruzích jsou v průmyslu nejrozšířenější. Frézují se obvykle rovinné plochy nebo tvarové přímkové nebo zborcené plochy. Kopírovací a NC frézky umožňují frézovat obecné tvarové plochy.

Nástroj-fréza je obvykle vícebřítý. Z hlediska chvění je výhodné, je-li v záběru s obrobkem více břitů současně. Při frézování koná nástroj hlavní řezný pohyb (otáčivý) a obrobek koná pohyb posuvný obvykle přímočarý, někdy otáčivý, nebo obecný pohyb po prostorové křivce.

Řezný proces je přerušovaný, jednotlivé zuby nástroje postupně vcházejí a vycházejí z materiálu a odebírají třísku proměnného průřezu.

Rozeznáváme dva základní způsoby frézování: *frézování obvodem válcové frézy* a *čelem čelní frézy* (obr. 1.2). (7)



Obr. 2.1 Základní způsoby frézování (8)

a - válcové frézování, **b** - čelní frézování

1 - fréza, **2** - obrobek, a_p - šířka záběru ostří, **B** - šířka frézované plochy,

H - hloubka odebírané vrstvy, v_f - posuvová rychlost,

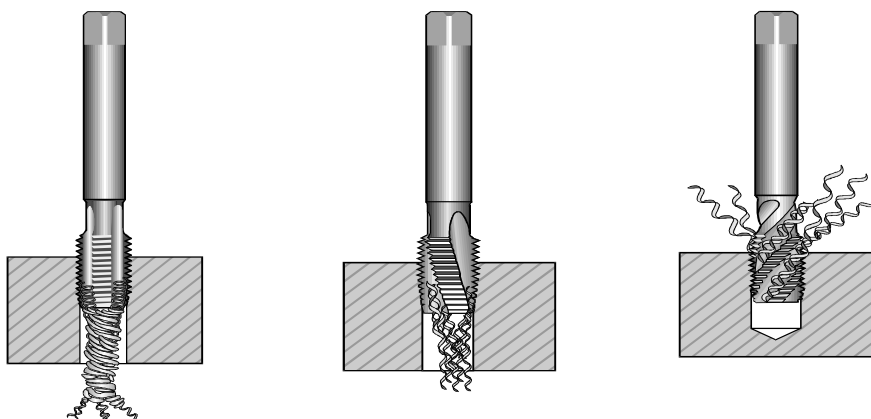
f_z - posuv na zub, v_c - řezná rychlost

1.3 Výroba závitů

Závity se používají ve strojírenství jako nejběžnější rozebíratelné spojení součástí i jako pohybové elementy.

Řezání závitů je obrábění vnějších nebo vnitřních šroubových ploch tvarovým nástrojem.

Podle toho, je-li závit vytvořen na šroubu nebo na matici, dělí se na vnější a vnitřní závity. Vnější a vnitřní závity se řezou ručně, hlavně v opravárenství a kusové výrobě, většinou se však obrábějí strojně soustružením, frézováním, broušením a pomocí strojních závitníků (obr. 2.2) a závitových čelistí. Stále častěji se vnější i vnitřní závity vyrábějí tvářením kruhovými a plochými tvářecími čelistmi a tvářecími závitníky. Tvářením vytvořené závity mají vysokou kvalitu a dobré mechanické vlastnosti. (7)



Obr. 1.3 Příklad výroby vnitřního závitu pomocí závitníku (18)

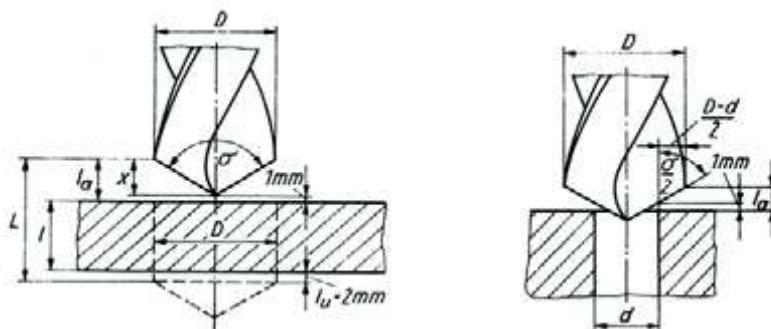
1.4 Vrtání

Vrtání je obrábění vnitřních rotačních ploch, zpravidla dvoubřitým nástrojem-vrtákem. Vrtat lze do plného materiálu či do předem předvrtaného otvoru (obr. 2.3). Vrtání se provádí nejčastěji na vrtačkách.

Historicky je vrtání jednou z nejstarších výrobních metod. Slouží ke zhotovení nebo zvětšení děr kruhového průřezu.

Hlavní řezný pohyb (otáčivý) i posuv ve směru osy vykonává obvykle nástroj, jsou však možné i jiné varianty. Zvláštností vrtání je to, že řezná rychlost na obvodě nástroje klesá k nule. Z toho plynou některé technologické

problémy. Například příčný břit v ose vrtáku vzhledem k nepříznivé geometrii v podstatě neodebírá třísku, ale materiál jen plasticky deformuje. (7)



Obr. 1.4 Vrtání do plného materiálu a do předem předvrtaného otvoru (2)

1.5 Vyhrubování, vystružování, zahlubování

Jestliže nevyhovuje přesnost a drsnost povrchu otvoru po vrtání, je třeba použít některé *dokončovací metody*. Zejména u děr menších průměrů (do 100 mm) se nejčastěji používá vyhrubování a vystružování. Díry do průměru 10 mm se pouze vystružují, díry větších průměrů se nejdříve vyhrubují a následně vystružují.

Vyhrubování a vystružování jsou operace opracování vnitřních rotačních ploch, kterými se zvyšuje přesnost rozměrů a zlepšuje jakost obrobeného povrchu otvoru.

Zahlubování je operace, kterou se např. rozšiřuje vyvrtaný otvor pro zapuštění hlavy šroubu, nebo se sráží hrany otvoru.

Vyhrubování, vystružování a zahlubování se provádí nejčastěji na vrtačkách. Hlavní řezný pohyb (otáčivý pohyb nástroje) i posuv ve směru osy otvoru vykonává většinou nástroj. (7)

2 UPÍNÁNÍ STOPKOVÝCH NÁSTROJŮ PRO JEDNOTLIVÉ ZPŮSOBY OBRÁBĚNÍ

Tato kapitola se zabývá způsoby upnutí upínače (ve vřetenu stroje) a upnutím nástroje v upínači pro zvolený typ obrábění. Kapitola má objasnit a charakterizovat vhodné typy upínačů používané pro daný typ obrábění stopkovými nástroji.

Každá metoda obrábění je svým principem unikátní, a proto také má pro dosažení optimálních výsledků při obrábění specifické nároky jak na nástroj, tak na upínač, který je bezprostředním členem mezi nástrojem a vřetenem stroje. Každá aplikace klade jiné požadavky na upínací systém. Především pokud jde o přesné obrábění.

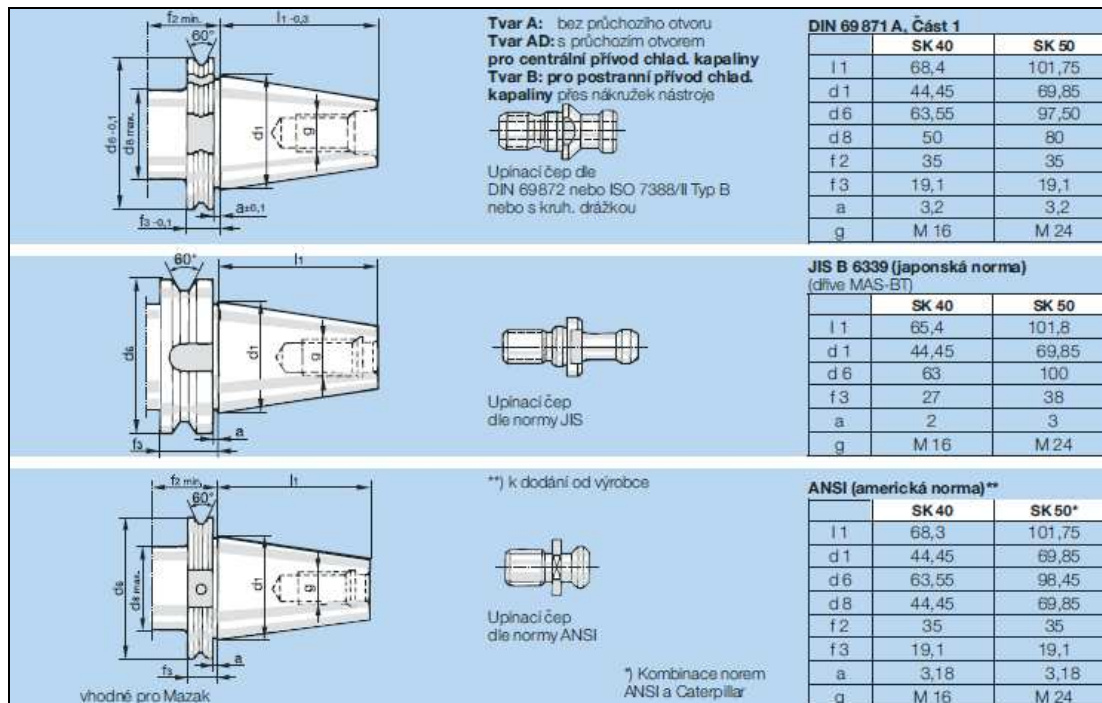
2.1 Upínače se strmým kuželem (SK)

Tyto upínače patří mezi nejstarší typy. Při automatizovaných či ručních výměnách vrtáků nebo fréz se uplatňují upínače se strmým kuželem (SK), obzvláště podle DIN 2080 nebo DIN 69871. Strmé nástrojové kužely (kužel 7 : 24) se upínají přídavnými upínači k vřetenu stroje. Funkční plochy na přírubách slouží k přidržování a polohování nástrojů v podávacích zařízeních a zásobnících. Nejpoužívanějšími tvary upínačů SK jsou podle DIN 69871 tvary AD a B s lichoběžníkovým žlábkem, orientační drážkou a průchozím otvorem (AD) pro centrální přívod chladicí a mazací kapaliny, resp. s centrálním přívodem přes nákrůžek.

Krouticí moment se přenáší přes třecí styk kuželu. Při větších momentech a rázových zatíženích hlavní část přenosu krouticího momentu zajišťují **unášecí kameny**. Unášecí kameny jsou symetricky uspořádané na čelní ploše vřetena tak, aby zajišťovaly jednoznačnou orientaci nástroje.

Výhoda strmých kuželů spočívá v symetrické konstrukci, jednoduché výrobě a v tom, že se samy centrují. Nevýhodou však je, že v důsledku vysokých otáček může dojít k rozšíření kuželu vřetena (deformace odstředivou silou) a působením vtahovací síly k axiálnímu posunutí nástroje, které zůstává zachováno i po zastavení vřetena stroje. Kromě toho má deformace odstředivou silou tu nevýhodu, že omezuje dotyk ploch a redukuje tak třecí

přenos krouticího momentu. V nejnejpříznivějším případě může dojít i k prokluzování nástroje. (2)



Obr. 2.1 Stopky pro NC stroje a obráběcí centra (2)

2.2 Upínače pro nástroje s dutou kuželovou stopkou (HSK)

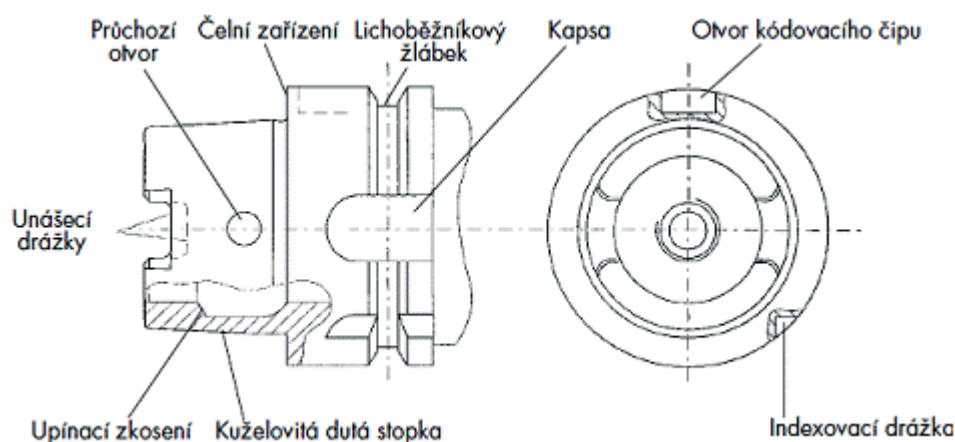
Upínací část (část ve vřetenu stroje) je lehce kuželovitá (kužel 1:10) a uvnitř dutá. V třískovém obrábění jsou tyto upínače velmi rozšířeny. V nových moderních obráběcích centrech se upínače HSK upřednostňují proti strmému kuželu (SK), protože nabízí následující výhody:

- přesnost (pevné axiální polohování díky rovinnému dotyku),
- tuhost (pohlcování vysokých ohybových momentů),
- vhodnost pro vysoké otáčky (vysoký přenos krouticího momentu),
- vysoká přesnost opakování při výměně nástrojů,
- není nutné používat dotahovací šroub a upínací čep.

Přenos krouticího momentu je realizován tvarovým stykem pomocí dvou stejně širokých a různě hlubokých unášecích drážek (obr. 2.2) na konci stopky a silově pomocí přesahu mezi stopkou a upínačem. Rovinný dotyk

slouží k axiálnímu fixování upínače HSK a ke zvýšení tuhosti při zatížení ohybem. Dutá kuželová stopka fixuje upínač radiálně a nabízí prostor pro vnitřní upínací systém. Průchozí otvor ve stopce je nezbytný pro ovládání ručního upínacího systému. Lichoběžníkový žlábek, podávací kapsy a indexovací drážka na nákržku jsou zapotřebí jako funkční plochy pro orientovanou automatickou výměnu nástrojů. Vnější průměr nákržku navíc určuje velikost upínače HSK. (2)

Upínačů HSK existuje několik typů a tvarů v provedení A, B, C, D, E, F.



Obr. 2.2 Funkční prvky upínače HSK podle DIN 69893, tvar A

2.3 Upnutí nástrojů při soustružení

Při soustružení, ale i u ostatních obráběcích operací je zapotřebí při volbě pracovních podmínek (především řezných podmínek a geometrie břitu vyměnitelné břitové destičky - dále jen VBD) brát v úvahu možnost vzniku samobuzených nebo případně i vynucených vibrací soustavy: stroj – nástroj – obrobek.

Vibrace nepříznivě ovlivňují především opotřebení břitu, ale i jakost obrobeného povrchu a výslednou přesnost obrobku. Prvotní příčinou vzniku samobuzených vibrací soustavy je snížená tuhost některých členů. Proto je při tomto způsobu obrábění kladený veliký nárok na soustavu stroj – nástroj – obrobek. Vhodný *upínací systém* nástroje může tyto nepříznivé vlivy částečně či zcela odstranit. Proto dobrá tuhost upínače je jeden z předpokladů pro

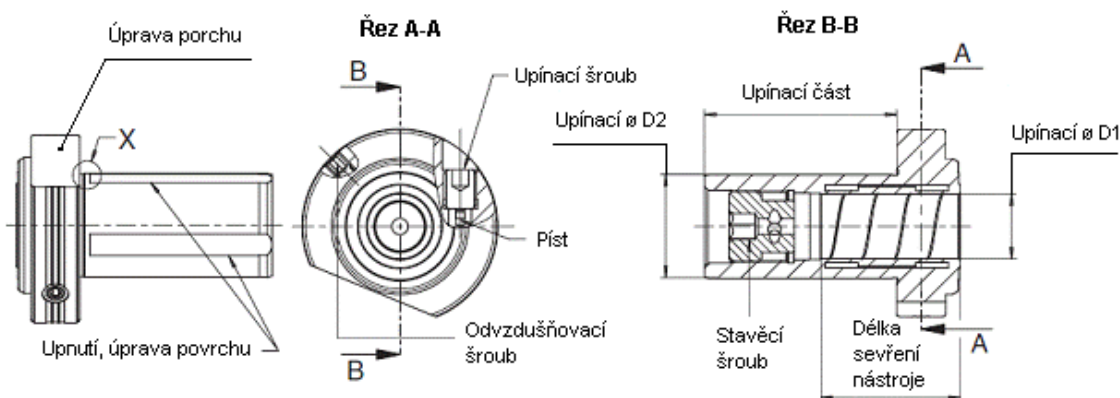
kvalitní a dobré obrobení ploch při soustružení a obecně u všech typů obrábění.

V praxi lze využít upínače vhodné na CNC soustružnická centra, kde se nástroj upne za svou upínací část, a pomocí hydraulického systému upínače (obr. 2.3) zajistí jeho poloha a pevné uchycení.



Obr. 2.3 TENDOfurn DKE (14)

Tato konstrukce hydraulického upínacího pouzdra (obr. 2.4) zajišťuje dostatečné tlumení vibrací a následné zkvalitnění obrobeného povrchu. Upínač také zrychluje výměnu nástroje bez periferních zařízení – stačí pouze šestihranný klíč pro ruční upnutí.



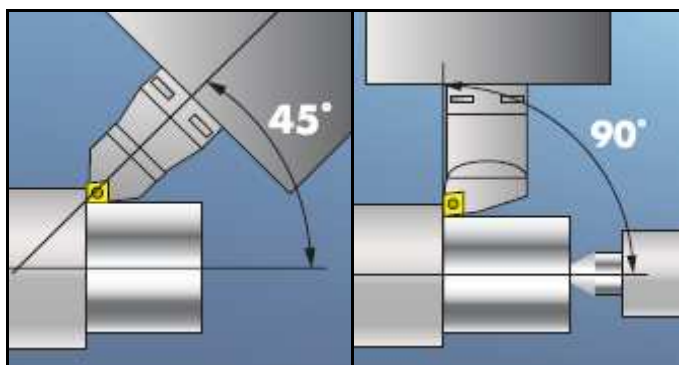
Obr. 2.4 Konstrukce TENDOfurn DKE (14)

Pro soustružení se dají využít i jiné upínače (obr. 2.5) soustružnických nožů s VBD. Tyto vynikají především svojí vysokou tuhostí, což má za následek ještě delší životnost nástroje a zkvalitnění povrchu obrobené

součástí. Upínače se také vyznačují rychlou výměnou nástroje a svojí modularitou – použitím výměnných adaptérů.



Obr. 2.5 Upínač BIG CAPTO s výměnným adaptérem (14)



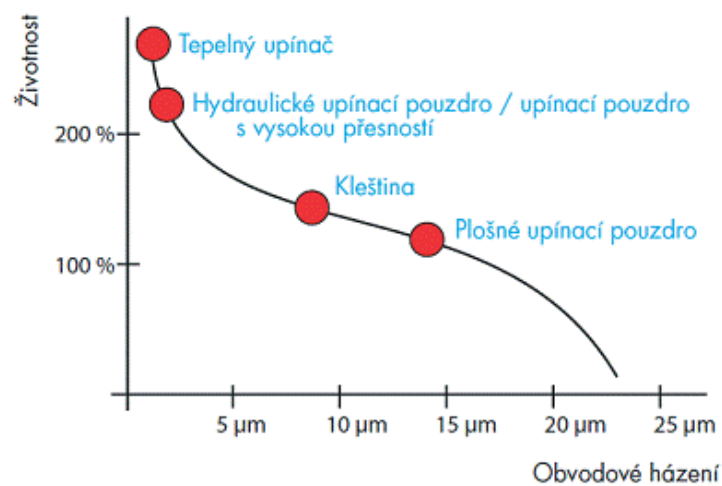
Obr. 2.5 Možnosti provedení (14)

2.4 Upínání stopkových nástrojů pro vrtání a frézování

Skutečná kvalita vyrobeného otvoru vrtáním závisí na různých faktorech. **Velký vliv** na toleranci otvoru má **obvodové házení** vrtáku ve vřetenu. **Průměrný** vliv na výsledek vrtání má všeobecný stav stroje a také opotřebení hrotu vrtáku. Rychlost posuvu a materiál též ovlivňují toleranci zhotoveného otvoru. (2)

Např. použití vysoce výkonných vrtáků ze slinutých karbidů (SK) vyžaduje vysokou přesnost házivosti stroje a **upínače**.

Na obr. 2.6 je znázorněn vztah mezi tolerancí obvodového házení a životností vrtáku pro jednotlivé typy upínačů. Z grafu vyplývá, že při použití tepelných upínačů a hydraulických upínacích pouzder je dosaženo nejmenších hodnot obvodového házení $\Rightarrow$ vede k zvýšení životnosti nástroje.

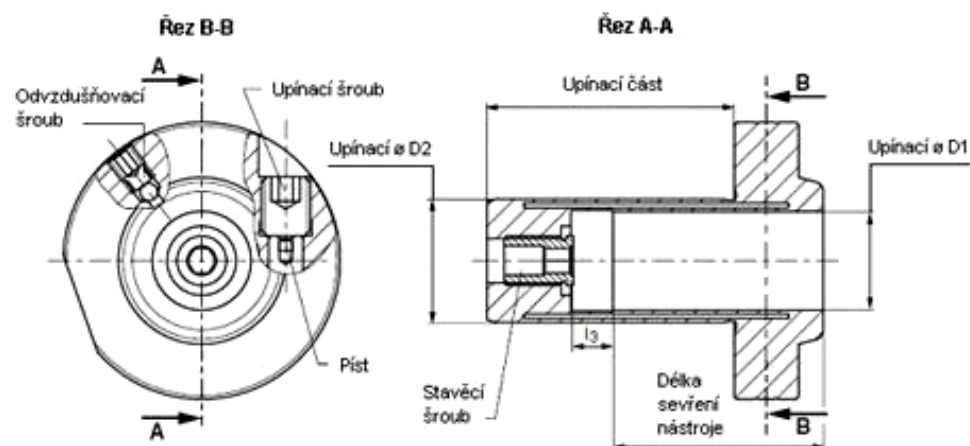


Obr. 2.6 Vliv obvodového házení na životnost vrtáku (2)

Při vrtání na soustružnických centrech lze využít hydraulického upínacího pouzdra (obr. 2.7) s podobnou konstrukcí (obr. 2.8) a způsobem upnutí jako pro upínače soustružnických nožů (viz výše).



Obr. 2.7 TENDOTurn DSE (14)



Obr. 2.8 Konstrukce TENDOTurn DSE (14)

Nástroje pro frézování a vrtání, tj. stopkové frézy a vrtáky, mohou být upnuty tradičními způsoby, jako je:

- upínací pouzdro s kleštinou ER,
- plošné pouzdro s boční unášecí plochou, tzv. Weldonovo sklíčidlo,
- plošné upínací pouzdro, tzv. sklíčidlo Whistle-Notch.

U těchto konvenčních metod avšak není zaručena taková přesnost obvodového házení, tuhost a vhodnost použití pro vysoké otáčky jako u modernějších způsobů upnutí (blíže popsány v kapitole č. 5), jako jsou:

- tepelné upínače,
- hydraulické upínače,
- polygonální upínače.

2.5 Upínání stopkových nástrojů při výrobě závitů, vystružování, vyhrubování a zahlubování

Cyklus výroby závitu vyžaduje obrácení smyslu otáčení závitníku a synchronizaci počtu otáček s posuvem.

Na strojích bez vysoce přesné závitové šablony, s posuvem programovatelným nezávisle na stoupání, se např. závitníky WNT Noris optimálně používají v rychloupínacích pouzdrech. Integrovaná délková kompenzace vyrovnává rozdíly mezi posuvem vřetene a stoupáním závitníku. Rovněž je kompenzován doběh vřetene v bodě změny smyslu otáček. Pro optimální nasazení rychloupínacích pouzder doporučuje WNT naprogramovat posuv cca 95 %.

Díky použití rychloupínací vložky je možné zkrátit a zjednodušit výměnu nástrojů.



Obr. 2.8 Rychloupínací pouzdra (15)

Na moderních CNC strojích se synchronním vřetenem je možné díky synchronizaci posuvu s otáčkami vyrábět závity bez vyrovnávacího upínače. Závitníky **WNT Noris typu UNI CNC** jsou koncipované speciálně pro toto použití. Tento posuv synchronní se stoupáním vede k domněnce, že je možné bez problémů používat nástroje na výrobu závitů pevně upnuté. V praxi se však ukazuje, že dynamika vřetenových a lineárních pohonů, obzvlášť při změně směru otáčení, způsobuje chyby synchronizace. (15)



Obr. 2.9 Upnutí závitníku v kleštině ER (15)

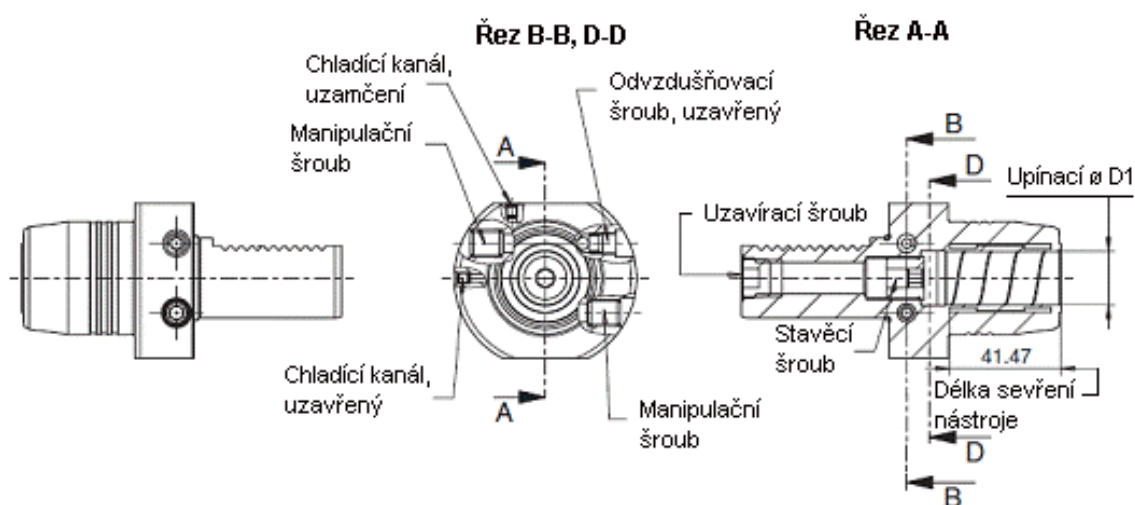
Mimo tato upnutí závitníků pro výrobu vnitřních závitů lze také použít již zmiňované moderní způsoby upnutí, jako jsou tepelné upínače, hydraulická upínací pouzdra aj. Tyto upínače jsou také velmi vhodné pro upnutí tvářecích závitníků, kde se používá vyšších posuvů a otáček $\Rightarrow$ vyšší nároky na upnutí nástroje.

V CNC soustružnických centrech lze opět upnout nástroj s VBD pro řezání závitu (obr. 2.10) do obdobného upínače jako pro vrtání či soustružení (viz výše).



Obr. 2.10 TENDOTurn VDI (14)

Konstrukce upínače je podobná jako v předešlých případech (obr. 2.11).



Obr. 2.8 Konstrukce TENDOTurn VDI (14)

Pro vystružování, vyhrubování a zahlubování jsou opět vhodné moderní typy upínacích systémů jako tepelné či hydraulické upínače. Při těchto operacích se sice nepracuje s vysokými posuvy ani otáčkami, ale velmi dobrá hodnota obvodového házení upínače (0,003 mm) přispívá k vyšší jakosti obrobené plochy.

3 POŽADAVKY KLADENÉ NA UPÍNACÍ SYSTÉMY

Mezi nejdůležitější nároky kladené na moderní nástrojové upínače patří:

- přesnost obvodového házení,
- opakovatelnost,
- stupeň vyvážení,
- tuhost (dynamická odolnost),
- upínací síla (přenosný krouticí moment),
- tlumení vibrací,
- životnost,
- jednoduchá obsluha.

Dlouhé životnosti nástrojů a lepší jakosti povrchů se dosahuje pouze s vhodnými řeznými materiály, vysokou přesností obvodového házení včetně stroje přes **upínací pouzdro** až po ostří. To je nezbytným požadavkem především při vysokorychlostním (HSC), vysokovýkonném (HPC) obrábění a obrábění tvrdých materiálů. To ovšem předpokládá nejen lepší přesnost stopky řezného nástroje, ale také upínacího pouzdra nástrojů, jejichž techniky upnutí byly optimalizovány tak, aby na ostří byla reprodukována co možná nejmenší chyba upnutí.

Je známa celá řada tradičních technik upnutí jako např. *kleštinová upínací pouzdra* v různých provedeních nebo *Weldon* či *Whistle-Notch*, které již byly optimalizovány pro různé oblasti s použitím *hydraulické upínací techniky*. Ty se dnes díky své vysoké přesnosti obvodového házení a jednoduché manipulaci úspěšně používají v mnoha oblastech včetně vysokorychlostního obrábění.

Technika tepelného upínání jako další metoda se vyznačuje maximální přesností, bezpečným silovým záběrem a vysokou tuhostí a díky rotační symetrické konstrukci upínacích pouzder se mimořádně hodí pro HSC i HPC. Je zaručena přesnost házivosti nižší než 0,003 mm. Při použití nástrojů s vysokou přesností házivosti je možné přenést tuto přesnost do značné míry na ostří. Tím se dosahuje podstatného prodloužení životnosti nástroje a zlepšení jakosti povrchu obrobku.

3.1 Vysokorychlostní obrábění (HSC)

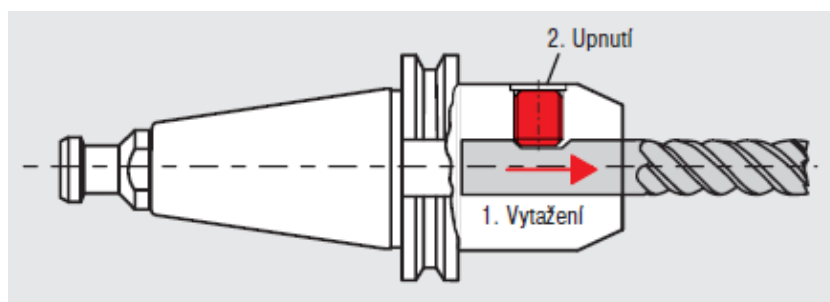
Obzvláště při vysokorychlostním obrábění (High Speed Cutting), kdy otáčky vřetene mohou dosahovat několika desítek tisíc za minutu, mají velký význam *odstředivé síly*. Ty zatěžují uložení vřetene (může dojít ke zničení vřetene), způsobují vibrace, které negativně ovlivňují jakost obrobeného povrchu, zhoršují přesnost výroby, zkracují životnost nástrojů a v neposlední řadě zvyšují hlučnost provozu. Proto je vždy, když má být dosaženo optimálních pracovních podmínek (konečné úpravy), nezbytné co možná nejjemnější vyvážení. (2)

Pro vysokorychlostní obrábění jsou vhodná buď vysoce přesná hydraulická upínací pouzdra, anebo tepelné upínače. Obě varianty upnutí se vyznačují zejména vysokou přesností obvodového házení a použitím až do 40 000 ot./min. (v některých případech až 80 000 ot./min. i více).

3.2 Vysokovýkonné frézování (HPC)

Vysokovýkonné frézování (High Performance Cutting), při kterém je využit výkon stroje až na jeho hranici při odběru co možná největšího objemu materiálu, se těší v mnoha odvětvích vysoké oblibě. Již několik let jsou na trhu speciální nástroje, které podporují tento typ obrábění. Odolávají vznikajícím vysokým krouticím momentům, třecím silám a tažným silám bez toho, aniž by se zlomily. Přitom však vzniká nebezpečí, že se při vysokém zatížení může uvolnit (vytáhnout) nástroj z držáku. To se přinejmenším týká držáků nástrojů, které nabízejí přesné upínání s dobrou přesností obvodového házení, jako jsou např. tepelné nebo hydraulické upínací držáky. Jejich upínací síla je omezená a při vysokovýkonném frézování může být nedostačující. Jako alternativu mnozí uživatelé volí tradiční držáky Weldon s upínacím šroubem. Zde je možné libovolně zvyšovat velikost krouticího momentu, a to až do doby, než se fréza zlomí. Používání držáků Weldon má ovšem i jejich uživatelům známé nevýhody jako: obvodové házení, nesprávné upnutí (stopka v upínači potřebuje vůli) a krátká životnost velmi drahých nástrojů v případě vysokovýkonného frézování. (9)

Vysoké obráběcí síly ve spojení s úhly šroubovice 35 až 52° kladou vysoké nároky na upínače. Tzv. vývrtkové působení, které vzniká následkem těchto vysokých řezných sil, vede při příliš nízké upínací síle během obrábění k vytahování frézovacího nástroje z upínače. Důležité při upínání stopek při HPC v upínacích Weldon je, aby po zasunutí stopky do upínače přiléhal upínací šroub nejdříve jen na upínací plošku. Potom se povytáhne nástroj, aby šroub doléhal na zkosení upínací plošky. Když se nyní dotáhne upínací šroub, nelze již nástroj vytáhnout (obr. 4.1).



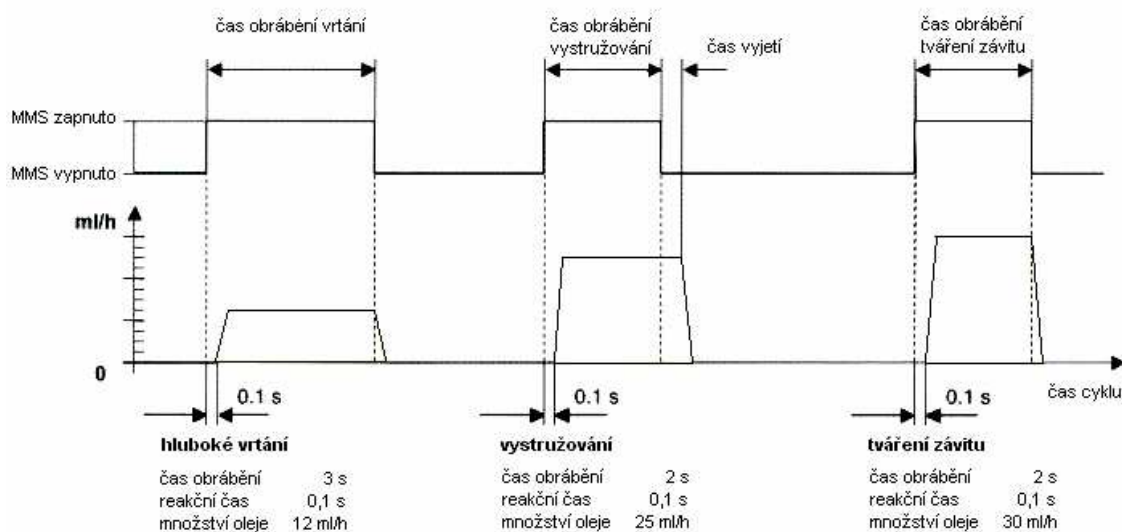
Obr. 4.1 Upnutí nástroje v upínači Weldon při HPC

3.3 Obrábění s minimálním množstvím řezné kapaliny

Vzhledem k tomu, že obrábění úplně nasucho není vždy proveditelné kvůli nedostatečným pracovním výsledkům, používá se v praxi jako kompromis často chlazení a mazání minimálním množstvím kapaliny. Malé množství chladicí a mazací kapaliny zlepšuje pracovní výsledky a umožňuje snížit spotřebu těchto prostředků. (2)

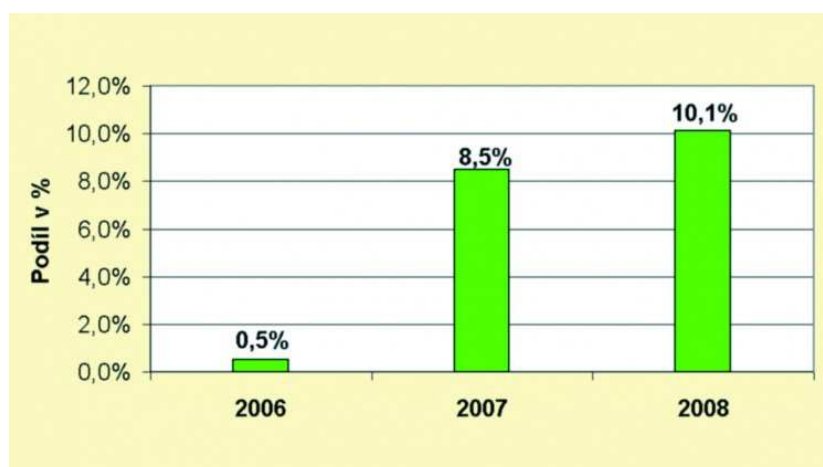
Firma Gühring stála od počátku u zrodu aplikace zcela nové progresivní technologie obrábění s minimálním množstvím mazání **MMS** (v anglickém překladu jako MQL).

Základním principem této technologie je, že při obrábění se k chlazení nástroje a odvodu třísek z místa řezu používá **vzduch**, ve kterém je pomocí dýzy rozptýleno **minimální množství oleje**, obvykle v rozmezí 5 až 30 ml.h⁻¹ v závislosti na typu operace. Jednak se skutečně jedná o velice malé množství maziva, ale také při aplikacích v provozu toto mazání probíhá pouze při řezu nástroje, během vedlejších pohybů je mazání vypnuto (obr. 4.2).



Obr. 4.2 Funkce MMS při obrábění (podle 12)

K úspěšnému nasazení MMS systému při obrábění je velmi důležité sladění nástroje, upínače, přechodové trubky chladicí kapaliny, upínacího zařízení stroje, přívodu chladicího média a jeho řízení během procesu. Odpovídající MMS agregáty jednokanálové i dvoukanálové pro výrobu správně koncentrovaného média jsou dnes běžně k dostání a mnoho výrobců strojů již nabízí optimalizace obráběcích center pro aplikaci MMS. Výroba upínacích pouzder pro MMS technologii má v závodě Gühring v Sulkově stoupající tendenci, v loňském roce byl podíl 10,1 % z celkové produkce upínacích pouzder (obr. 4.3). (12)



Obr. 4.3 Podíl MMS technologie firmy Gühring (12)

Upínače pro MMS

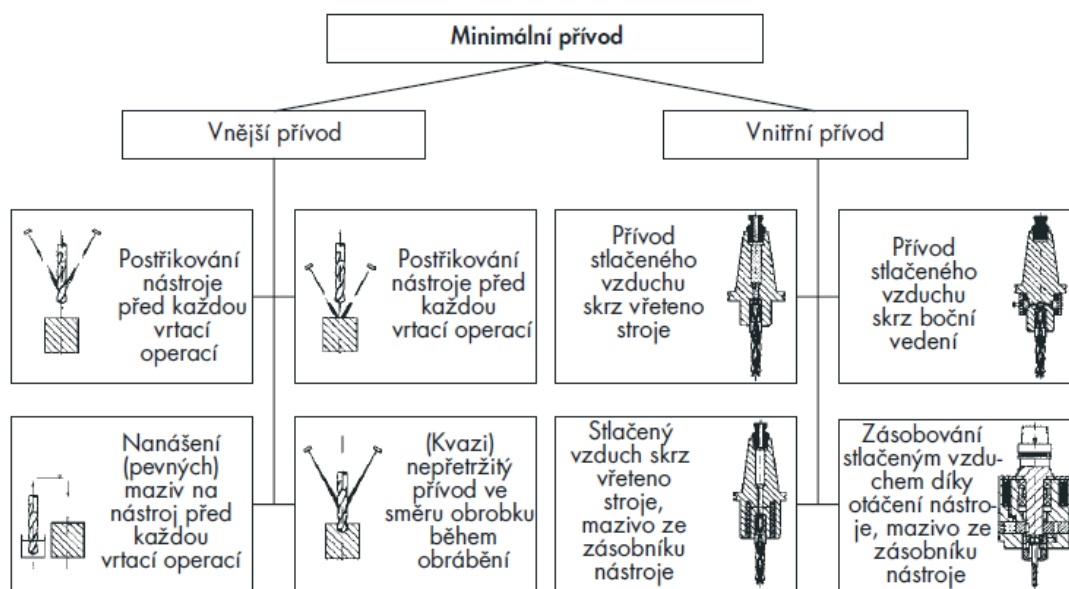
V oblasti kompetencí firmy Gühring jsou k dispozici nástroje, upínače a také upínací zařízení pro tuto technologii. Upínače jsou vyráběny v českém závodě koncernu Gühring v Sulkově. Upínače pro MMS aplikace se odlišují na první pohled *zeleným proužkem* v drážce pro automatickou výměnu. Uvnitř jsou však prvky, které musely být optimalizovány tak, aby zde nedocházelo ke srážení a separaci oleje z proudícího vzduchu. Proudění musí být dokonale plynulé bez nežádoucích turbulencí a bez ostrých přechodů na hranách. Důležité vnitřní komponenty byly řádně zkoušeny a optimalizovány i s pomocí simulačních programů proudění a některá konstrukční řešení jsou také patentována.

Gühring MMS systém (obr. 5.4) se skládá z MMS optimalizovaného nástroje, který má i přizpůsobený konec stopky, a tento nástroj je upnut v tepelném upínači. Správný přívod MMS chladicího média přejímá bez nežádoucích turbulencí šroub pro výškové nastavení, který je osazen speciálním těsnicím kroužkem. (12)



Obr. 5.4 MMS systém (12)

Při použití techniky minimálního mazání je třeba zásadně rozlišovat mezi typem přívodu a typem přípravy směsi, protože tyto faktory mají význam pro konečný výsledek. Pro přívod řezné kapaliny existují různé možnosti, které jsou znázorněny pro obrábění otvorů na obr. 5.5. (2)



Obr. 5.5 Minimální přívod řezné kapaliny při vrtání otvorů (2)

Značný přínos pro životní prostředí

Přínos pro životní prostředí je možné prezentovat na následujícím příkladu nasazení MMS upínačů pro 10 projektů, kde každý projekt znamená jednu velkosériovou až hromadnou produkční linku většinou pro automobilový průmysl.

V případě chlazení klasicky řezným olejem má tato linka zásobník oleje v průměru 80 m³ a za měsíc je třeba doplnit zhruba 5 000 kg. To znamená, že za jeden rok provozu linky je třeba doplnit 60 000 kg řezného oleje.

V případě nahrazení těchto 10 linek technologií MMS by bylo ušetřeno 10 zásobníků s řezným olejem, tj. 10 x 80 m³ = 800 m³. Dále není třeba doplňovat 10 x 60 000 kg = 600 000 kg řezného oleje.

Při stejné produkci s MMS technologií se spotřebuje pouze minimální množství oleje.

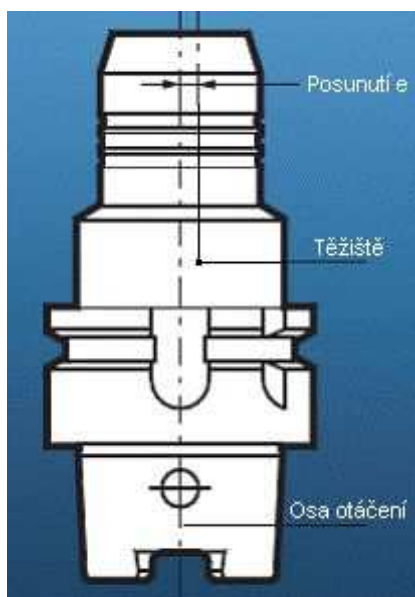
Při průměrném počtu 8 strojů na lince, kdy mazání je v činnosti jen při řezu, tj. $2\,250\text{ h.rok}^{-1}$ a průměrná spotřeba je $0,025\text{ l.h}^{-1}$, je spotřeba pro tuto linku $8 \times 2\,250 \times 0,025 = 450\text{ l.rok}^{-1}$ (360 kg. rok^{-1}).

Pro 10 produkčních linek s MMS technologií je pak spotřeba řezného oleje jen $3\,600\text{ kg.rok}^{-1}$.

Technologii obrábění MMS je věnována v koncernu Gühring nadále velká pozornost. Zkušební pracoviště je vybaveno dvoukanálovým systémem MMS. Zde jsou prováděny testy nástrojů zaměřené právě na aplikace této progresivní technologie, která je zároveň velice šetrná vůči životnímu prostředí. (12)

3.4 Vyvážení upínačů pro nástroje

Dominujícím tématem je v současnosti vysokorychlostní obrábění. Moderní obráběcí stroje s vysoko dynamickými vřeteny vyžadují jemně vyvážené upínače, neboť špatně vyvážený nebo zcela nevyvážený upínač nedodrží výrobní tolerance, poskytuje špatnou kvalitu obrobeného povrchu, zatěžuje uložení vřetena a v delším časovém horizontu může způsobit i jeho poškození.



Obr. 4.2 Nevyváženost (podle 14)

Vyvažování je postup, při kterém se zajišťuje rozložení hmoty „rotoru“ s cílem zabezpečit, aby zbytková nevyváženost nebo vibrace při frekvenci odpovídající provozním otáčkám byly ve specifikovaných mezích.

Nevyváženosti vznikají, když těžiště rotoru leží mimo osu jeho otáčení (obr. 4.2, viz výše).

Charakteristika nevyvážených upínačů:

Odstředivé síly vlivem nevyváženosti zatěžují ložiska vřetene, to vede k zvýšenému opotřebení, příp. zničení vřetene a vznikají vibrace, které mají za následek:

- horší jakost obrobeného povrchu,
- nižší životnost nástrojů,
- nižší přesnost výroby,
- vyšší hlučnost provozu,
- častější ostření nástroje,
- vyšší náklady na pořizování nových nástrojů.

Příčiny nevyváženosti:

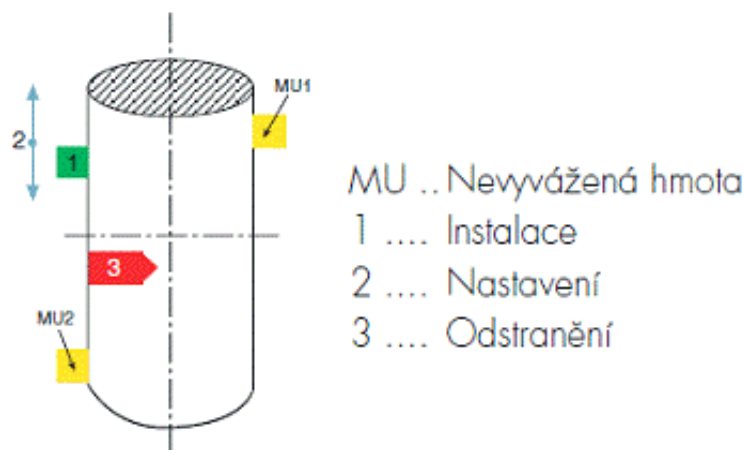
- nesymetrická konstrukce rotoru,
- nesymetrické rozložení hmoty kvůli obvodovému házení,
- chyba souososti při montáži rotoru z více částí (modulární místa řezu, např. vřeteno frézy či upínač pro nástroj),
- obvodové házení v uložení rotoru (např. uložení vřetene).

Vyvažováním upínačů rotačních nástrojů docílíme:

- minimalizaci vibrací,
- zvýšení produktivity,
- zvýšení jakosti obrábění,
- snížení namáhání vřetene,
- snížení hlučnosti provozu aj.

Při vyvažování se vyrovnává nesymetrické rozložení hmoty rotoru. Vyvažování lze provést několika způsoby (obr. 4.2):

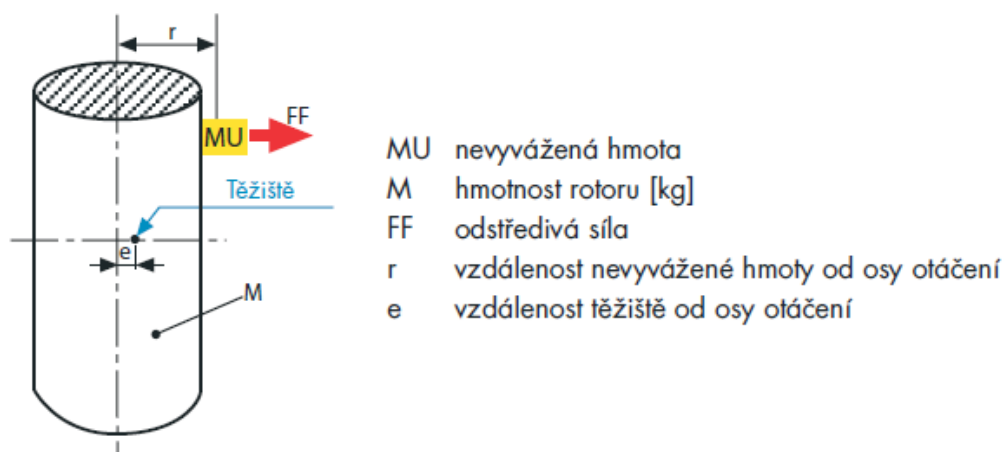
- instalací závaží,
- posunutí závaží,
- odstranění závaží.



Obr. 4.2 Možnosti vyvážení (2)

Vyvážení statické nevyváženosti

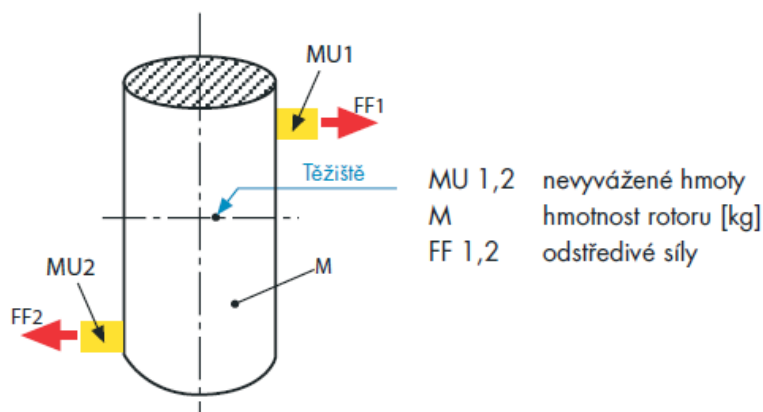
Statická nevyváženost se dá měřit i při zastaveném rotoru. Při rotaci vyvolává odstředivou sílu kolmou k ose otáčení. Je nutné vyvážení v jedné rovině. Poloha rovin vyvážení je přitom libovolná (obr. 4.3).



Obr. 4.3 Statická nevyváženost (2)

Vyvážení dynamické nevyváženosti

Kombinace statické a momentové nevyváženosti způsobuje při rotaci kymácivý pohyb (odstředivé síly šikmé k ose otáčení). V takovém případě je nutné vyvážení ve dvou rovinách. Přitom musí být roviny vyvážení pokud možno co nejdál od sebe (obr. 4.4).



Obr. 4.4 Dynamická nevyváženost (2)

Výpočet vyvážení dle normy ISO 1940

Přesnost vyvážení se udává pomocí jakosti vyvážení G. Platí pouze pro určité provozní otáčky rotoru. Z jakosti vyvážení, provozních otáček a hmotnosti rotoru se vypočítává přípustná zbytková nevyváženost U.

Zbytkový nevážežek U:

- je hodnota naměřená vyvažovacími stroji a je to nevyváženost vytvořená hmotou „m“ rotující ve vzdálenosti „r“ od osy rotace.

$$U = m \cdot r \quad (4.1)$$

Odstředivá síla F:

- způsobuje zatížení ložisek vřetene (obr. 4.5).

$$F = U \cdot \omega^2 \cdot 10^{-6} \quad (4.2)$$

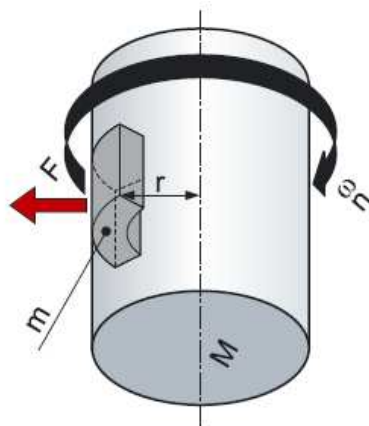
Specifický nevážežek e:

- je nevážežek nebo také excentricita nevážežku. Snižováním hodnoty „e“ se těžiště přibližuje ose rotace.

$$e = \frac{U}{M} = \frac{m \cdot r}{M} \quad (4.3)$$

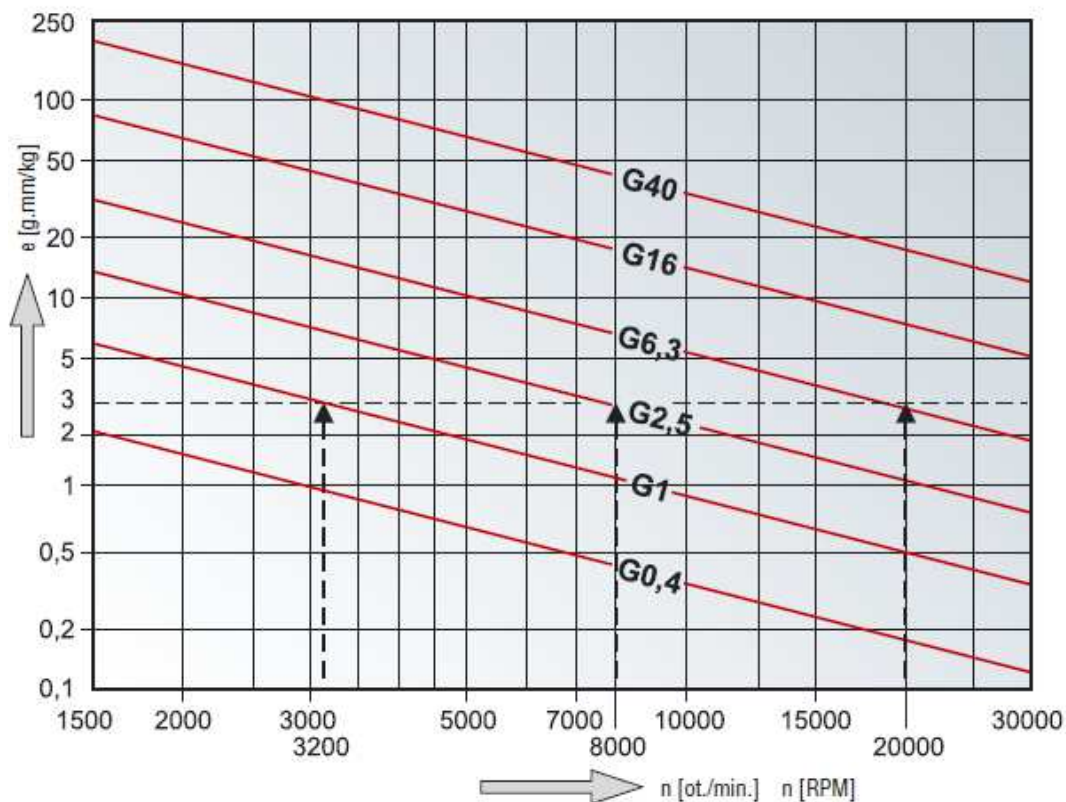
Norma ISO 1940 stanovuje stupeň jakosti vyvážení G:

$$G = \frac{e}{1000} \cdot \omega \Rightarrow G = \frac{U}{1000 \cdot M} \cdot \frac{2 \cdot \pi \cdot n}{60} \quad (4.4)$$



Obr. 4.5 Odstředivá síla působící na rotor (13)

Norma DIN ISO 1940 znázorňuje **přípustnou zbytkovou nevyváženost** v závislosti na stupních jakosti vyvážení a otáčkách. (10)



Obr. 4.6 Přípustná zbytková nevyváženost a provozní otáčky v závislosti na stupních jakosti podle DIN ISO 1940 (13)

Příklad výpočtu**Zadání:**

Fréza je upnuta v upínači (celková hmotnost $M=1,4$ Kg). Nástroj se má použít do otáček $n=15\,000\text{ min}^{-1}$. Výrobce požaduje jakost vyvážení $G\ 2,5$. Vypočtěte v jaké max. vzdálenosti se nachází těžiště upínače s nástrojem od osy jeho otáčení.

Dle vzorce 4.4 platí pro nevyváženost „U“:

$$G = \frac{e}{1000} \cdot \omega \Rightarrow G = \frac{U}{1000 \cdot M} \cdot \frac{2 \cdot \pi \cdot n}{60}$$

Po úpravě:

$$U = \frac{G \cdot M \cdot 30000}{\pi \cdot n}$$

$$U = \frac{2,5 \cdot 1,4 \cdot 30000}{\pi \cdot 15000} = \frac{105000}{47123,89} \cong \underline{\underline{2,23\text{ g} \cdot \text{mm}}}$$

Pro nevyváženost „e“ platí dle vzorce 4.3:

$$e = \frac{U}{M}$$

$$e = \frac{U}{M} = \frac{2,23}{1,4} \cong \underline{\underline{1,6\mu\text{m}}}$$

Závěr:

Těžiště upínače tedy smí být posunuto maximálně o $1,6\ \mu\text{m}$ vzhledem k ose otáčení. Při vyvažování se za osu otáčení považuje osa strmého kužele, resp. upínače.

Vyvažovací systém

Vyvažovací systém nabízí rychlé a maximálně přesné vyvážení kompletního nástrojového systému. Mezi jeho další výhody patří snadná obsluha, měření nevývažku ve 2 rovinách a možnost vyvažování velkých nástrojů (max. délka 400 mm, max. průměr 350 mm).

Zacházení se zařízením (obr. 4.7) je velmi prosté. Po spuštění stroje se měřený upínač vloží do adaptéru. Po zadání dat o nástroji se spustí měřicí proces. Následně řídicí počítač podá informaci o tom, kde se má u nástrojového držáku materiál odstranit nebo přidat. Díky tomu si může uživatel vybrat, jakým způsobem chce *nevyváženost* odstranit. Může *odvrtat* otvor nebo materiál *odfrézovat* - obojí je ale relativně nákladné, protože se nástrojový držák musí vyjmout z přístroje, obrobit na obráběcím stroji a pak znovu upnout do přístroje z důvodů provedení zpětné kontroly. To má smysl při základním vyvážení upínače po jeho výrobě, čímž lze snížit obvodové házení. Jestliže chce uživatel po každé výměně nástroje a upnutí provést opět nové vyvážení, je uvedený postup příliš pracný. Daleko elegantnější řešení představují **vyvažovací kroužky**. Tyto kroužky se používají vždy v páru. Jsou vyrobeny s excentricky položeným otvorem, a tedy s předem definovanou nevyvážeností. Upínají se na válcovou část nástrojového držáku. Pootáčením kroužků lze nevyváženost nástrojů přesně kompenzovat. Pro tento případ udává software přesný úhel, o nějž mají být kroužky pootočený. Vysloveně praktické je zobrazení polohy přímo na nástroji laserem.



Obr. 4.7 Vyvažovací zařízení firmy Haimer (17)

Moderní upínače jsou vybaveny vyvažováním pomocí **vyvažovacích šroubů** (obr. 4.8). Malý šroub, který je do příslušné polohy zašroubován, kompenzuje svou hmotností nevyváženost nástrojů. Rovněž tato metoda je softwarem podporována. Při vyvažování pomocí vyvažovacích kroužků nebo šroubů netrvá celá operace vyvažování déle než dvě minuty. Je přirozené, že proces s odvrtáváním materiálu na vrtacím stroji trvá nesrovnatelně déle, i když i tyto časy jsou zanedbatelné ve srovnání se škodami, které mohou vzniknout použitím nevyváženého nástroje.



Obr. 5.8 Vyvažovací šroubky

Vyvažovací zařízení nabízí firmy v mnoha modifikacích. A to od „jednoduchých“ přístrojů až po velmi sofistikované, které obsahují navíc odměřovací technologii a počítač s výstupním zařízením.

Cena zařízení se pohybuje od 300 000 až do 600 000 Kč (dle vybavenosti a výrobce).

4 TRENDY VÝVOJE UPÍNÁNÍ NÁSTROJŮ

Níže uvedené kapitoly se zaměřují na upínače nejen od firmy SCHUNK, ale také od jiných výrobců, kteří zauímají přední místa ve výrobě upínacích systémů s ohledem na jejich výjimečnost či odlišnosti dané technickými parametry.

Každá specifická aplikace klade jiné nároky na upínače nástrojů. Žádný přesný upínač není schopen plně uspokojit veškeré požadavky bez ohledu na to, jakkoliv je univerzální. Především pokud jde o přesnost, není zde prostor pro žádné kompromisy. A právě zde začíná SCHUNK se svým programem TOTAL TOOLING.

Jako výrobce s vedoucím postavením na trhu v prodeji vysoce přesných upínacích systémů pokrývá firma SCHUNK s programem TOTAL TOOLING celou oblast precizních upínačů stopkových nástrojů.

Program TOTAL TOOLING od firmy SCHUNK zahrnuje tři precizní upínací systémy TENDO, TRIBOS, CELSIO, univerzální upínače SINO a vyvažovací techniku ACURO.

V mnoha případech díky preciznímu provedení (za daných technických podmínek) a použití dostupných materiálů se dostaly upínače již na svoji hranici dokonalosti. U některých typů upínačů už nelze za aktuálně daných technických či materiálových vymožeností dosáhnout lepších vlastností. Obecně avšak platí, že lze stále něco zdokonalovat. Proto trendy v upínání spočívají v zdokonalování již stávajících systémů, avšak již jen v jejich dílčích detailech.

4.1 TENDO - hydraulické upínače

Jde o nejuniverzálnější upínač svého druhu a využívá moderní techniku pro náročné precizní obrábění. TENDO přesvědčuje přesností, širokým sortimentem a flexibilitou.

Nejvýznamnější výhody jsou:

- max. obvodová házivost a opakovatelnost $\leq 0,003 \text{ mm} \Rightarrow$ umožňuje rovnoměrný záběr břitu nástroje,
- výborné tlumení vibrací,

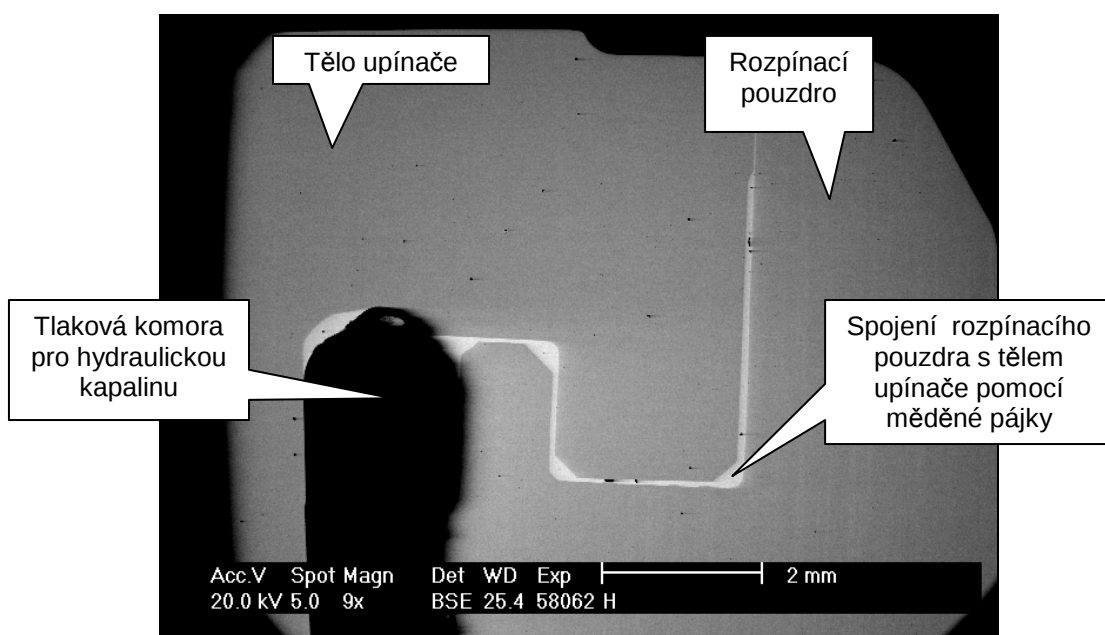
- rychlá výměna nástroje bez periferních (upínacích) zařízení,
- flexibilní rozsah upínaných průměrů díky redukčním pouzdrům,
- exaktní přednastavení délky nástroje (zdvih až 10 mm), axiální a radiální,
- všechny upínače standardně vyvážené,
- veškeré možné typy stopek lze upnout bez redukčních pouzder, např. Weldon, Whistle-Notch atd. (obr. 5.3),
- vhodné pro mazání minimálním množstvím oleje (MMS), pro vysokorychlostní (HSC) a vysokovýkonné obrábění (HPC),
- vysoký účinek upnutí díky speciálním drážkám v pouzdru zachycující nečistoty.

Princip funkce hydraulického upínacího sklíčidla



Obr. 5.1- Princip hydraulického upínače (5)

Upínacím šroubem [1] se spouští píst, který vytlačuje medium do systému tlakových komor. Důležité je, aby šroub byl vždy utáhnut až na doraz. Upínací šroub se ovládá ručně pomocí dodaného klíče (není zapotřebí žádný momentový klíč). Broušený **tlakový píst** [2], který se pohybuje v honovaném otvoru působí jako hydraulický válec, který tlačí olej do olejových komor. **Těsnění** [3] zaručuje těsné upnutí hydraulického upínacího sklíčidla. **Pružné pouzdro** [4] zajišťuje rovnoměrné upnutí stopky nástroje. Při upínacím procesu se nejprve vystředí stopka nástroje pomocí obou velkých komor a poté pouzdro kompletně a těsně přilne k upínanému průměru. V **systému tlakových komor** [5] probíhá vlastní upínací proces. Komorový systém vzniká po vložení rozpínacího pouzdra do těla upínače (obr. 5.2). Pouzdro je připájeno na obou koncích.



Obr. 5.2 Komorový systém upínače (9 x zvětšeno)

Výhodou je, že systém komor má **tlumicí účinek**, který snižuje vznik „mikro-výlomků“ na břitech nástroje, prodlužuje jeho trvanlivost a snižuje mechanické opotřebení břitu. To vede k snížení nákladů na broušení a nákup nástrojů. Zlepšuje se kvalita obrobeného povrchu (redukce stop po chvění nástroje), zvyšuje se přesnost (tolerance) obrábění a také se zvyšuje životnost vřetene stroje.

Upínací část [6], tedy tělo upínače může být v několika provedení jako např.: HSK, SK, JIS-BT aj. **Šroub dorazu** [7] zaručuje snadné axiální přednastavení délky nástroje a lze jej obsluhovat z obou stran (existují i upínače s radiálním přednastavením nástroje tzv. RPN). V upínači mohou být upnuty různé typy **stopek nástrojů** [8] jako válcové, Weldon, Whistle-Notch aj. **Drážky na nečistoty** [9] zabraňují hromadění oleje, tuků nebo jiných maziv mezi nástrojem a pouzdem. Udržuje upínací plochu suchou a zajišťuje tak dosažení uvedených upínacích sil.

Odvzdušňování, plnění a vytvoření vakua v komorovém systému probíhá přes odvzdušňovací otvor a vedení. Odvzdušňovací otvor je zaslepen ocelovou kuličkou a závitovým kolíkem. Proti manipulaci je navíc vše zalito umělou hmotou.

V upínači lze prakticky upnout veškeré nástroje, respektive stopky nástrojů (obr. 5.3). Upínače umožňují přímo upnout všechny hladké válcovité stopky do $\varnothing 32$ mm (variabilita průměrů je dosažena použitím výměnných pouzder s max. obvodovou házivostí $2\text{ }\mu\text{m}$) a také stopky s drážkami (výřezy) dle DIN 1835 resp. DIN 6535.

	Tvar A resp. HA	Tvar B resp. HB	Tvar E resp. HE
$\varnothing$ stopky 6 až 20 mm			
$\varnothing$ stopky 25 až 32 mm			
	Hladká stopka	Stopka Weldon	Stopka Whistle Notch

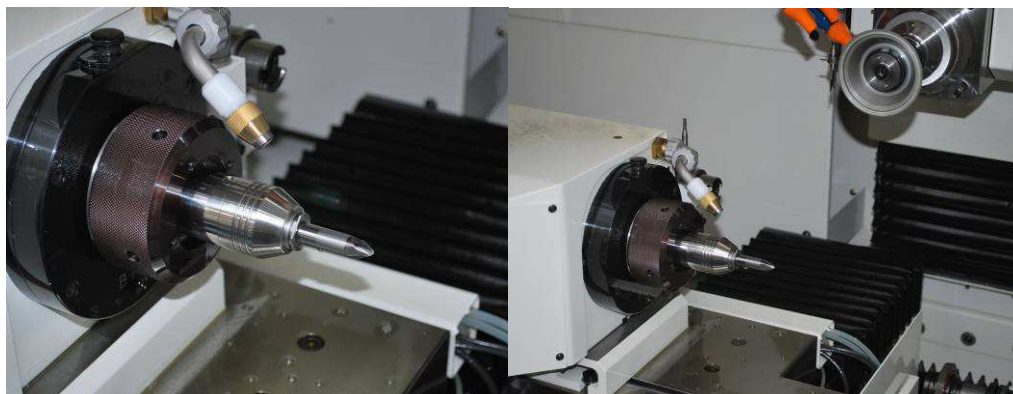
Obr. 5.3 Stopky nástrojů vhodné k upnutí (2)

Oblast použití

Upínače TENDO lze použít pro upínání stopkových nástrojů téměř při všech typech obrábění. Lze upnout stopkové nástroje vhodné pro soustružení (modifikace stávajícího řešení - viz kapitola výše), frézování (HCS i HPC), vnitřní broušení, přesné vystružování, vrtání, zahlubování, ale také obrábění dřeva.

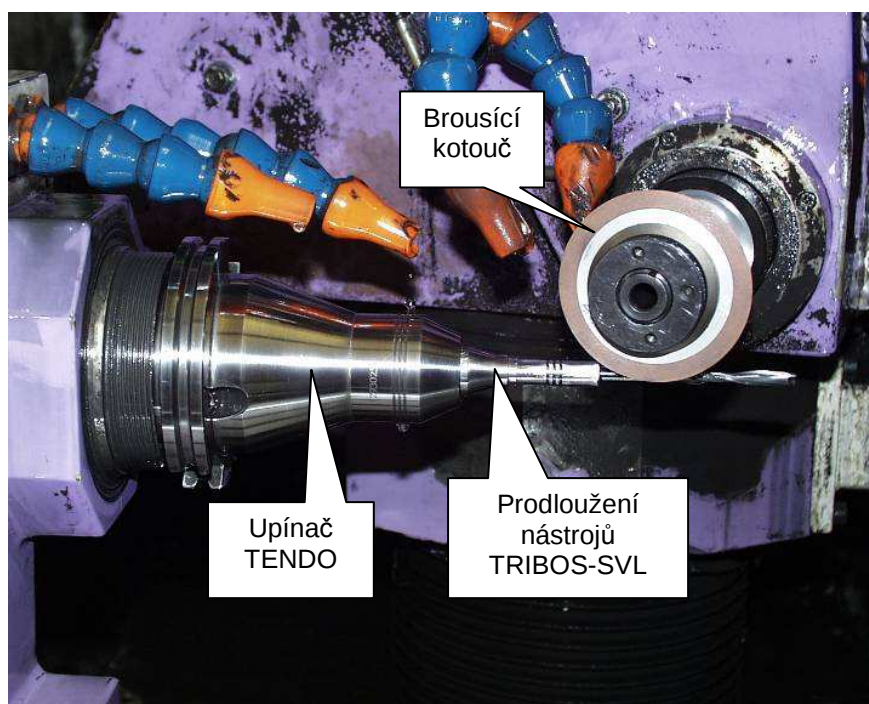
Zvláštní disciplínou použití hydraulických upínačů je *výroba nástrojů broušením*. Lze takto vyrábět stopkové nástroje jako vrtáky, záhlubníky, frézy

apod. Takovýchto upínačů při výrobě nástrojů využívá např. firma Rotana z Velkého Meziříčí (obr. 5.4).



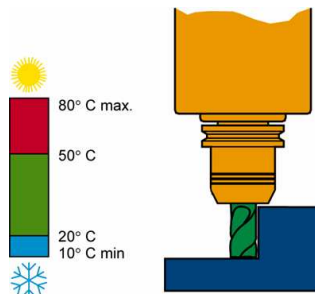
Obr.5.4 Výroba nástrojů broušením (pohled do pracovního prostoru stroje)

Pro lepší dostupnost a obrobení při výrobě nástrojů lze použít tzv. „prodloužení nástrojů“. Jedná se o **prodloužení** stávajících upínačů, které nabízí nespočet variant a kombinací, což umožňuje max. využít jejich potenciál. Takto lze kombinovat různé typy upínačů při výrobě nástrojů nejen při broušení, ale i při jiných operacích. Příklad spojení hydraulického upínače Tendo a prodloužení Tribos-SVL je na obr. 5.5.



Obr. 5.5 Prodloužení nástroje

Nejvhodnější pracovní teploty pro hydraulické upínače (obr. 5.3) jsou v rozmezí mezi 20 a 50°C. *Upínací síla se zvyšuje při ohřívání upínače (zvětšení objemu oleje v upínači).*

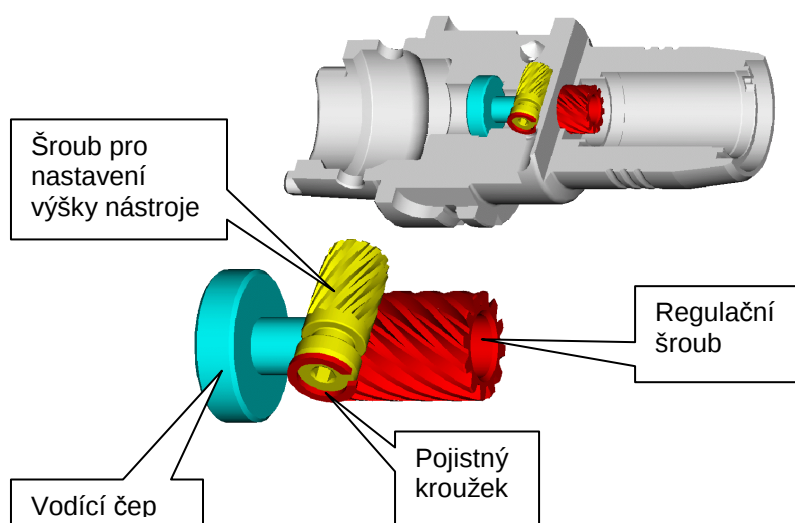


Obr. 5.6 Teplotní rozsah

Přednastavení výšky nástroje

Hydraulické upínače TENDO umožňují výškové nastavení nástroje dvěma způsoby. První způsob je tradiční a již známý z konvenčních typů upínačů, a to pomocí šroubu s vnitřním šestihranem. Axiální nastavení výšky nástroje lze regulovat pootočením šroubu a to je možné z obou stran.

Druhý způsob výškového nastavení nástroje je tzv. radiální přednastavení nástroje RPN. Jde o variantu kde dochází k nastavení nástroje pomocí jednoduchého převodu (obr. 5.7). Toto nastavení se vyznačuje zejména jednoduchou, přesnou a pohodlnou manipulací.



Obr. 5.7 Radiální přednastavení výšky nástroje

Příklady použití v praxi

Obr. 5.8 Výroba frézovací hlavy



Obr. 5.9 Výroba formy



Obr. 5.10 Výroba nástrojů broušením

4.2 TRIBOS - polygonální upínací systém nástrojů

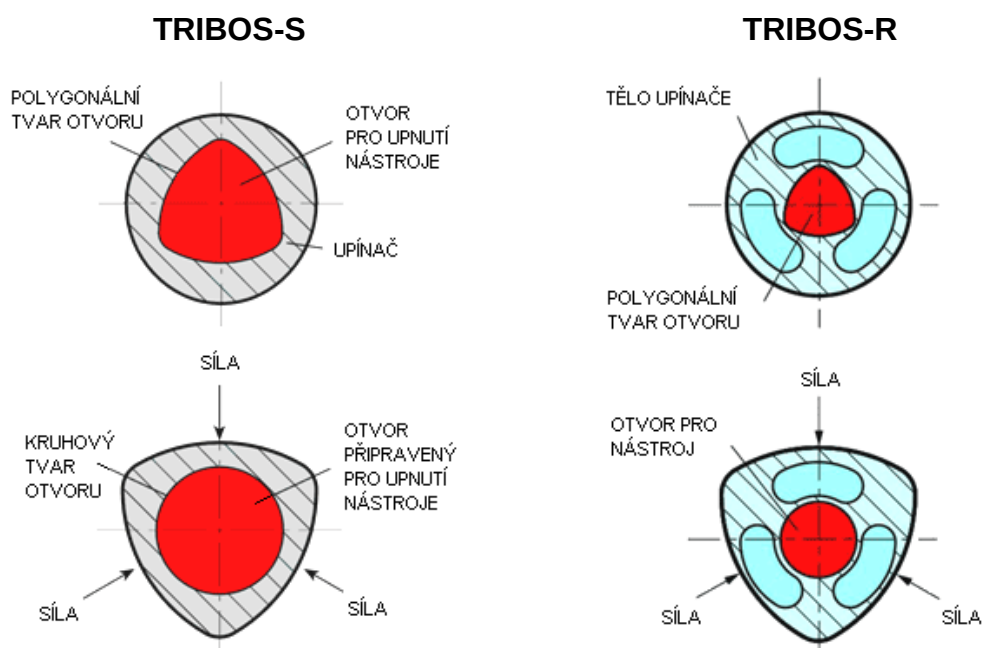
Flexibilní polygonální upínací technika TRIBOS pro upínání stopkových nástrojů nabízí široké spektrum použití pro mnoho aplikací. Hlavními výhodami systému TRIBOS jsou dynamické vlastnosti.

Nejvýznamnější výhody jsou:

- max. obvodová házivost a opakovatelnost $\leq 0,003$ mm,
- vhodné pro HSC (testováno do $205\,000\text{ min}^{-1}$),
- výměna nástroje během 20 sekund (pro upínací zařízení není zapotřebí žádný externí zdroj energie),
- mohou být upnuty všechny stopky (obr. 5.3),
- všechny upínače jsou standardně vyvážené a zcela bezúdržbové.

Princip funkce polygonálního upínacího sklíčidla

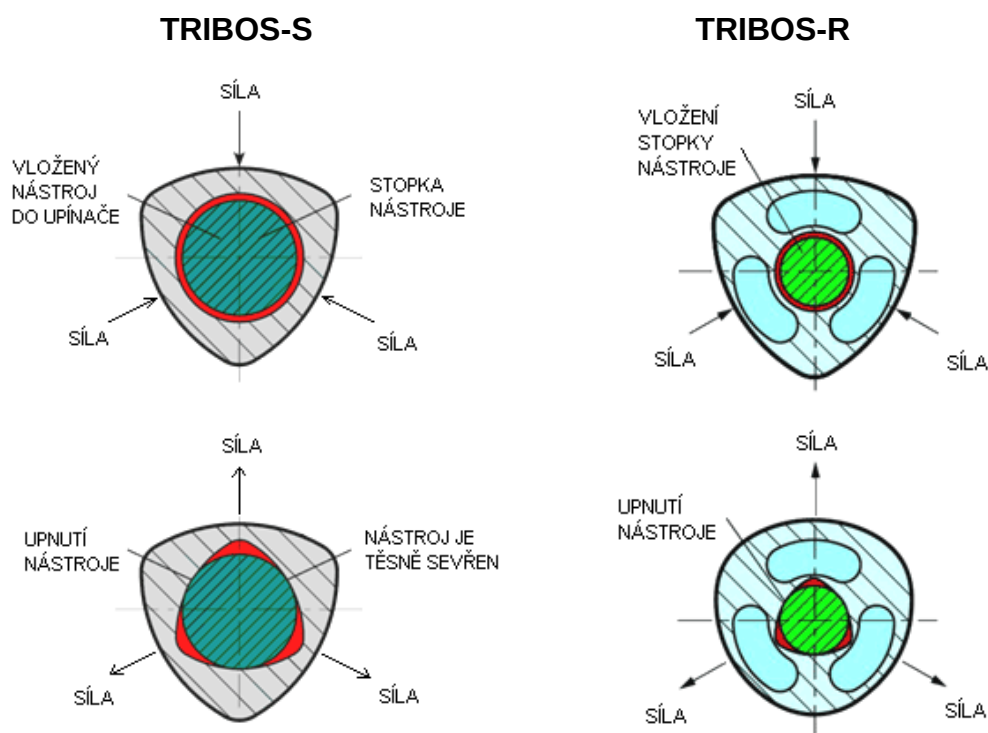
Díky **unikátní geometrii** je tvar upínací dutiny v uvolněném stavu v řezu podobný zaoblenému trojúhelníku. Pomocí hydraulického zařízení na obr. 5.13 (kontrola tlaku manometrem) působí síly ve 3 bodech (na vrcholech trojúhelníku). V důsledku síly dostane upínací dutina **válcový tvar** (obr. 5.8).



Obr. 5.8 Princip funkce polygonálního upínače - 1. fáze (11)

Dutina nástroje je roztáhnuta $\Rightarrow$ může být vložena stopka nástroje. **Uvolněním vnější síly** z hydraulického zařízení se upínací dutina snaží vrátit zpět do **původního tvaru** a upne tak stopku nástroje (kontakt upínacích ploch cca 90 %) - proces upnutí je dokončen (obr. 5.9).

Deformace upínačů TRIBOS probíhá pouze do meze úměrnosti, tj. do meze, kdy se materiál po odlehčení zatěžujícími silami vrátí do původního stavu. V materiálu upínače nevznikají žádné dočasné ani trvalé molekulární změny.



Obr. 5.9 Princip funkce polygonálního upínače-2.fáze (11)

Oblast použití

TRIBOS-S (obr. 5.10) je upínací systém s extrémně štíhlým tvarem. Je vhodný zejména pro **obrábění těžko dostupných míst**. Uplatní se při vrtání, vystružování, řádkování a jemném frézování. Díky vysoké symetričnosti a přesnosti provedení lze TRIBOS-S využít při vysokorychlostním a vysokovýkonném obrábění. Upínač lze použít až do $85\,000\text{ min}^{-1}$.

Jeho další výhodou je, že za pomoci tzv. „**prodloužení nástrojů**“ **TRIBOS SVL** (obr. 5.5), který lze kombinovat s jinými upínači, můžeme

obrobit ještě hůře dostupná místa na obrobku (např. frézování dutin zápustek, forem atd.).



Obr. 5.10 TRIBOS-S (14)

Pro nejjemnější obrábění je k dispozici **TRIBOS-Mini** (obr. 5.11). Jeho využití je zejména při dokončovacím frézování a vrtání. Tribos-Mini se vyznačuje tím, že jeho pomocí lze upnout nástroje již od průměru **0,3 mm**. Tento systém má uplatnění v obráběcích aplikacích pro **lékařské technologie, elektrotechniku**, ale také v průmyslovém odvětví jako je **výroba mechanických hodinek či šperků**.



Obr. 5.11 TRIBOS-Mini (14)

TRIBOS-R (obr. 5.12) je další polygonální upínací systém, který je typický zejména svojí **vysokou radiální tuhostí** (pohlcuje radiální síly) a použitím při **těžkých hrubovacích operacích** (tlumí vibrace). TRIBOS-R garantuje spolehlivé a vyšší sevření nástroje, které je důležité pro HPC (velký

objem odebraného materiálu). Lze jej použít při frézování, vrtání, řezání či tváření závitů (speciální tvářecí závitníky) aj.



Obr. 5.12 TRIBOS-R (14)

Upínací zařízení

Upínací zařízení (obr. 5.14) speciálně zkonstruované pro upínače TRIBOS funguje na principu mechanického stlačení hydraulické kapaliny ⇒ dojde k deformaci upínací části vloženého upínače.

Po zasunutí vyměnitelné redukční vložky i s upínačem do upínacího zařízení se pomocí páky [4] „natlakuje“ kapalina na požadovaný tlak [2] a tak dojde k deformaci upínače (zaujme kruhový tvar). Poté se vloží nástroj a za pomoci přepouštěcího ventilu [3] se tlak působící na pouzdro s upínačem uvolní a dojde k sevření nástroje (princip viz výše). Cena zařízení se pohybuje kolem 60 000 Kč.



Obr. 5.14 Upínací zařízení TRIBOS SVP-2 (14)

K přístroji [1] lze upevnit také délkový měřicí systém k přesnému nastavení délky nástroje (délka vyložení nástroje). Upínací zařízení je výhodné zejména tím, že nepotřebuje žádný externí zdroj energie, je plně mobilní a lehce se obsluhuje.

Existuje avšak ještě podobný typ upínacího zařízení (obr. 5.15) pracující na stejném principu, které je ještě jednodušší na obsluhu. Páku k nastavení ovládacího tlaku zde nahrazuje hydraulické čerpadlo [1]. Požadovaný tlak lze nastavit pomocí LCD displeje s tlačítky [4]. Zařízení disponuje také s rozhraním pro čtecí zařízení [3]. Cena zařízení je asi 300 000 Kč.



Obr. 5.15 Upínací zařízení TRIBOS SVP-3 (14)

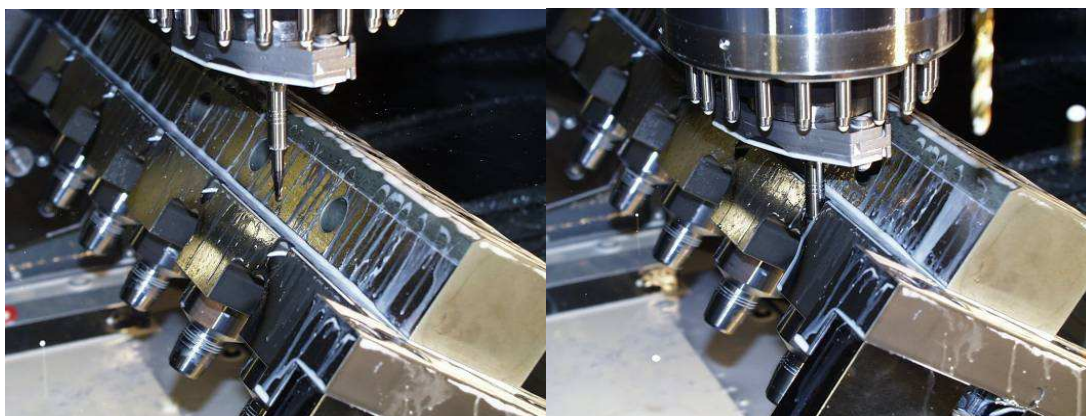
Při upínání nástroje se musí dát pozor zejména na upínací tlak, který je doporučený výrobcem - každý typ upínání TRIBOS potřebuje k upnutí daného průměru nástroje jiný upínací tlak.

Příklady použití v praxi

Obrábění upínačů TENDO (obr. 5.16)

Upínač: TENDO Ø 20 mm s prodloužením TRIBOS SVL-100 Ø 10 mm při obrábění:

- kanálků pro hydraulické médium,
- odvzdušnění.



Obr. 5.16 Výroba upínačů TENDO

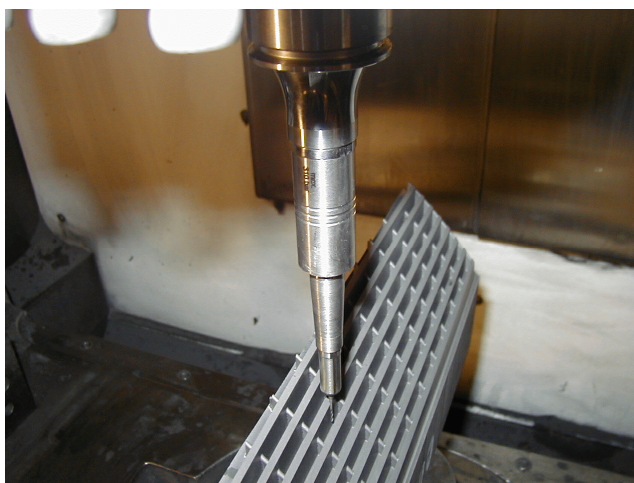
Frézování grafitových elektrod (obr. 5.17) fa Hofmann/Lichtenfels

Stroj: Hermle C 800 U / 36.000 min⁻¹

Upínač: HSK-E 40 Ø 12 mm a prodloužení TRIBOS Mini SVL-100, Ø 3 mm

Nástroj: zaoblovací fréza Ø 1 mm, stopka Ø 3 mm, házivost nástroje **pod 0,003 mm** - kontrola sondou Heidenhain TT120 .

Řezné podmínky: 23 000 min⁻¹ , řezná rychlost: 2 m/min.



Obr. 5.17 Frézování grafitových elektrod

4.3 CELSIO - tepelné upínače

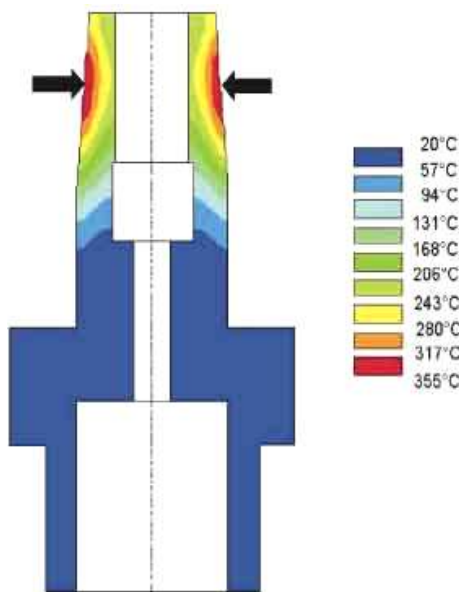
Technika tepelného upínání se těší velké oblibě. Rozsáhlý program firmy SCHUNK zahrnuje všechny běžné velikosti tepelných upínačů, jakož i dva typy indukčních tepelných zařízení, kde mohou být upínány nástroje z tvrdokovu, cermetu i rychlořezné oceli (HSS).

Nejvýznamnější výhody jsou:

- vysoká flexibilita díky téměř neomezeným možnostem kombinací upínačů a prodloužení nástrojů,
- široké spektrum použití díky vysokým přenášeným kroutícím momentům,
- garantovaná max. odchylka obvodové házivosti $< 0,003 \text{ mm}$ měřená v upínacím průměru (podle DIN 69 882-8),
- standardně jemné vyvážení $\Rightarrow$ použití pro nejvyšší otáčky,
- upínání HM a HSS nástrojů s tolerancí stopky h6 (HM od $\varnothing 3 \text{ mm}$, HSS od $\varnothing 6 \text{ mm}$),
- optimální životnost ,
- upínače jsou zcela bezúdržbové.

Princip funkce

Princip smršťovací upínací techniky je založen na změně objemu materiálu, který je úměrný změně teploty. Ohřátí upínacího pouzdra na teplotu cca 250 až 350 °C způsobí zvětšení vnitřního průměru upínače o několik setin milimetru, čímž je umožněno vložení nástroje s válcovou stopkou do otvoru upínače. Upínací pouzdro a nástroj musí být vzájemně vhodné, přičemž mohou být upínány pouze nástroje s tolerancí stopky h6 (dle DIN 6535 nebo DIN 1835).



Obr. 5.14 Průběh teplot v upínači (14)

Protože jsou tepelné upínače při zahřívání místy velmi horké a navíc se do nich zasunují a vytahují ostré nástroje, je bezpodmínečně nutné používat při tepelném upínání **kevlarové rukavice** na ochranu proti popálení a pořezání.

Upínání nástrojů

Při upínání nástrojů nevznikají problémy, protože nástroj je ještě studený, a tím je dán požadovaný rozdíl průměrů. Po ochlazení bude na nástroj působit vysoký, rovnoměrný radiální upínací tlak v celém rozsahu upnutí, přičemž dosažené upínací síly jsou vyšší než při konvenční upínací technice. Protože upínací pouzdro a zejména jeho vnitřní upínací otvor jsou vyrobeny s vysokou přesností, bude také dosažené obvodové házení upnutého nástroje velmi nízké.

Při uvolňování nástroje se během ohřevu upínacího pouzdra může ohřát také nástroj. Pak se rozšíří nástroj i upínací pouzdro a uvolnění spojení je možné pouze tehdy, pokud upínač a nástroj mají *rozdílný součinitel tepelné roztažnosti*. Přitom se musí více roztáhnout upínací pouzdro než nástroj. Tyto předpoklady jsou trvale splněny při použití tvrdokovových nástrojů. HSS nástroje mají v porovnání s tvrdokovovými nástroji podstatně vyšší součinitel tepelné roztažnosti, na což je třeba dát bedlivý pozor.

Upínání nástrojů do upínacího pouzdra lze provádět libovolně často, neboť ke změně rozměru pouzdra vlivem teploty dochází pouze v oblasti pružné deformace materiálu.

Pozor, obecně platí (u všech typů upínačů), že při nedodržení minimální hloubky upnutí nebo při použití jiných než uvedených stopek hrozí pokles přesnosti a upínací síly!

Oblast použití

Tepelné upínače se vyznačují především tím, že jsou schopny přenést vysoké krouticí momenty (500 N.m při průměru nástroje 20 mm), pracují s vysokou upínací silou a jsou dostatečně tuhé. Proto jsou vhodné především pro HSC a HPC obrábění. Upínače jsou univerzální a lze je použít téměř při všech obráběcích operacích jako je hrubovací frézování, dokončovací

frézování, vrtání, vystružování, zahlubování, vnitřní broušení, ale i obrábění dřeva. Lze upnout jak válcové stopky (nejvyšší účinek upnutí) nástrojů, ale i Weldon či Whistle-Notch.

Upínací zařízení

Pro zajištění potřebných teplot pro upínání a odepínání nástrojů je využíváno indukčního ohřevu. Princip indukčního ohřevu spočívá v průchodu střídavého proudu přes navinutou více závitovou cívku, tzv. induktor, který ve svém okolí vytvoří elektromagnetické střídavé pole. Jestliže do tohoto elektromagnetického pole vložíme elektrický vodič, v našem případě upínací pouzdro, indukuje se v něm napětí, mající za následek střídavý proud ohřívající upínací pouzdro.

Z tohoto pohledu pracuje přístroj indukčního ohřevu (obr. 5.15) na principu transformátoru, přičemž induktor představuje primární vinutí a upínací pouzdro sekundární vinutí. Přenos výkonu je bezdotykový, teplo se vytváří přímo v upínacím pouzdře a není tedy přenášeno prouděním, zářením nebo vedením tepla. Vzniklé teplo je označováno jako odporové teplo nebo vířivý tepelný proud. Cena zařízení je asi 325 000 Kč.



Obr. 5.15 Technika pro tepelné upínání (14)

4.4 Univerzální upínač SINO

SCHUNK vyvinul univerzální upínač SINO (obr. 5.16) pro víceúčelové použití. Upínač je inovativní a absolutně cenově optimalizovaný. SINO výrazně předčí běžně používané Weldon a ER-kleštinové upínače po stránce kvality, flexibility a úspory nákladů.

Nejvýznamnější výhody jsou:

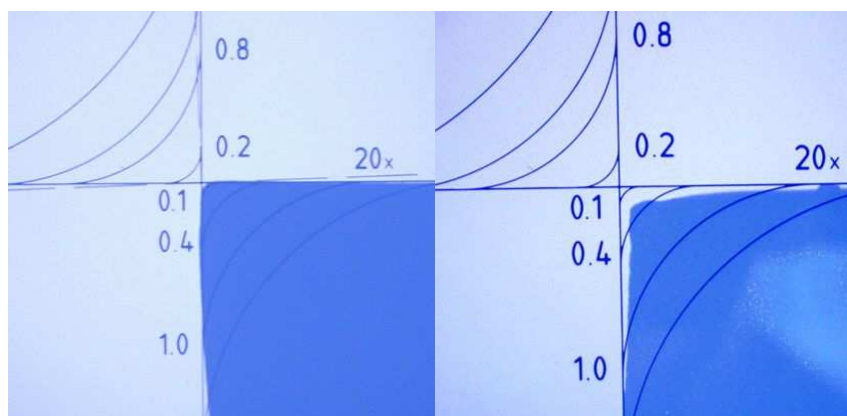
- konstrukce tlumí vibrace,
- vysoká upínací síla,
- rychlejší a jednodušší výměna nástrojů s hákovým klíčem,
- flexibilní upínací rozsah díky redukčním pouzdrům,
- upínače standardně vyvážené,
- vhodné pro HSC obrábění do $40\,000\text{ min}^{-1}$,
- obvodové házení $\leq 0,005\text{ mm}$.

Princip funkce upínacího sklíčidla



Obr. 5.16 Univerzální upínač SINO (14)

Upínače SINO fungují na principu roztažení (stlačení) speciálního **elastomeru** [3], který se používá jako tlakový prostředek. Elastomer je umístěn v expanzní komoře, kterou představuje **matice** [5] s **rozpěrným pouzdem** [4]. Pootočením hákového klíče zasazeného do **speciální drážky** [6] na upínači, docílíme k pootočení matice, která stlačí elastomer $\Rightarrow$ dojde k sevření nástroje. Rozpěrné pouzdro zajišťuje rovnoměrné upnutí stopky nástroje a díky elastomeru pouzdro výborně tlumí vibrace $\Rightarrow$ zlepšuje se obrobená plocha. Jak lze vidět na obr. 5.17 (20 x zvětšeno), upínače SINO díky této schopnosti tlumit vibrace šetří také **břit** nástroje oproti tradičním upínačům Weldon (test byl proveden za stejných řezných podmínek).



Obr.5.17 Použití upínače SINO (vlevo) a WELDON

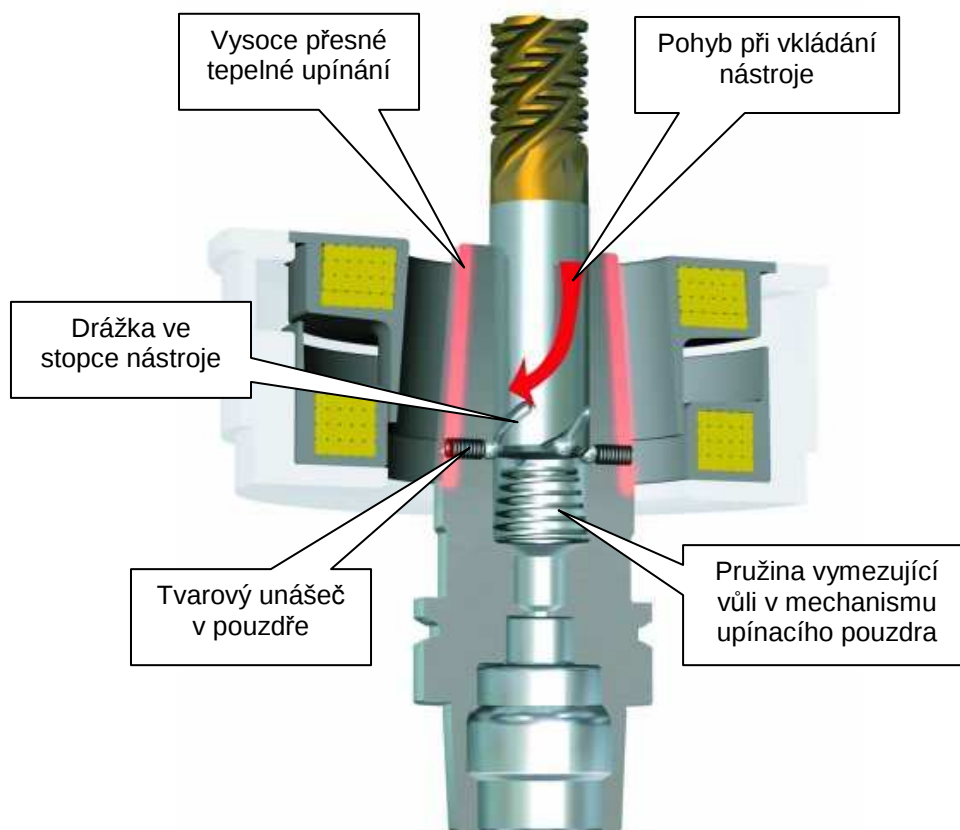
Tělo upínače [1] (část upnutá ve vřetenu stroje) výrobce dodává v mnoha provedeních jako SK, HSK, JIS-BT a díky osovému šroubu [2] lze pohodlně nastavit axiální délku (délku vyložení) nástroje. Upnutí nástroje se realizuje bez periferního zařízení.

Oblast použití

Upínače SINO se vyznačují velkou upínací silou (min. přenosný krouticí moment pro průměr stopky nástroje 32 mm je 850 N.m), dobrou radiální tuhostí a především výborným tlumením vibrací. SINO vyniká také svojí univerzálností. Upínače lze použít téměř při všech obráběcích operacích. Jsou vhodné pro hrubovací i dokončovací frézování, vrtání, řezání závitů, vystružování aj. Mohou být upnuty veškeré stopky nástrojů (obr. 5.3).

4.5 Upínač SafeLock

Patentovaný systém firmy Haimer s názvem SafeLock (obr. 5.18), kombinuje tepelné upínání s tvarovými prvky. Na stopce frézy jsou vybroušeny šroubovité drážky, do kterých zasahují tvarové unašeče. Díky šroubovitému tvaru drážky může být nástroj zajištěn současně proti **protáčení i vytažení**. Unašeče jsou integrovány v upínači. Mohou být tvaru kuličky nebo také čepu. **Touto konstrukcí se dosáhne přesného a tuhého upnutí a současně pojištění nástroje oproti vytažení nebo pootočení v upínacím pouzdru.** Navíc díky šroubovitému tvaru drážek může být nastavena i délka nástroje. Postup upínání je jednoduchý. Upínač se zahřeje a nástroj se otáčením zasune. Kulička nebo čepy samy nacházejí při otáčivém pohybu svou cestu v drážce. Pružina podporuje uložení nástroje bez vůle. Po několika sekundách upínač zchladne tak, že je tvarové i tepelné spojení dokončeno. (9)



Obr. 5.18 SafeLock (10)

Test upínače

Systém SafeLock již několikrát prokázal při intenzivních testech svou praktickou použitelnost. Přesto největší a nejvýznamnější test byl nedávno proveden velkým americkým výrobcem letadel, a to během výroby nových součástek. Při extrémně náročném obrábění titanu se totiž uvolňovaly nástroje z upínače u všech vysoce přesných držáků nástrojů. To vedlo k velkým škodám v případě výroby drahých dílů. Použité držáky Weldon nedosahovaly požadované přesnosti ani životnosti nástroje. Z toho důvodu došlo k testování nového držáku Power Shrink Chucks (obr. 5.18) firmy Haimer vybaveného systémem SafeLock.



Obr. 5.19 Vysokovýkonné držáky Power Shrink Chuck-
dlouhé a krátké provedení (9)

Na vertikální portálové frézce s upínáním HSK-A 100 byl nasazen tepelně upínaný držák Power Shrink SafeLock s otvorem o průměru 32 mm a délkou 120 mm. Pro hrubování a dokončovací obrábění byl použit jeden a tentýž povlakovaný tvrdokovový nástroj s efektivní délkou břitů 83 mm. K testování byla vybrána jedna letadlová součástka vyrobená z titanové slitiny 6AL4V (obsahuje 89-91% Ti, 5.5-6.8% Al, 3.5-4.5% V). (9)

Dosažené výsledky

„Na zkoušku bylo změřeno obvodové házení na špičce nástroje upnutém ve vřetenu stroje (celková délka vyložení: 171 mm). Přesnost

obvodového házení byla se SafeLock držákem firmy Haimer 0,005 mm. Při použití držáku Weldon byly za stejných podmínek dosaženy hodnoty mezi 0,05 a 0,08 mm – tj. desetkrát horší než u Power Shrink SafeLock. Také uvolnění nástroje již nebylo žádným problémem: díky systému SafeLock se nástroj v průběhu celého obrábění v držáku nepohnul. Životnost nástrojů se díky použití držáku SafeLock více než zdvojnásobila.“ (9)

Velké rozdíly byly prokázány také u kvality povrchů. Jak u hrubování, tak u dokončovacího obrábění nebyly pozorovány při použití systému SafeLock žádné vibrace a následkem toho ani žádné stopy po chvění nástrojů – na rozdíl od držáků Weldon. Tento rozdíl byl mimo jiné také zřetelně slyšitelný. Výsledky posledního testu před oficiálním uvedením systému SafeLock na trh zdůrazňují výhody tohoto revolučního upínání nástrojů. (9)

Možnosti rozšíření systému

Systém SafeLock se neomezuje pouze na tepelně upínací držáky firmy Haimer. Je možné jej integrovat stejně tak do kleštinových držáků nebo také v hydraulicky upínaných držácích. Vzhledem k tomu, že by firma Haimer chtěla tento systém patentovat jako standardní řešení v obrábění, je spolupráce s výrobcí nástrojů a dalšími dodavateli držáků nástrojů v plném proudu. Jejich zkušenosti a nápady mohou vyústit v další optimalizaci systému SafeLock. (9)

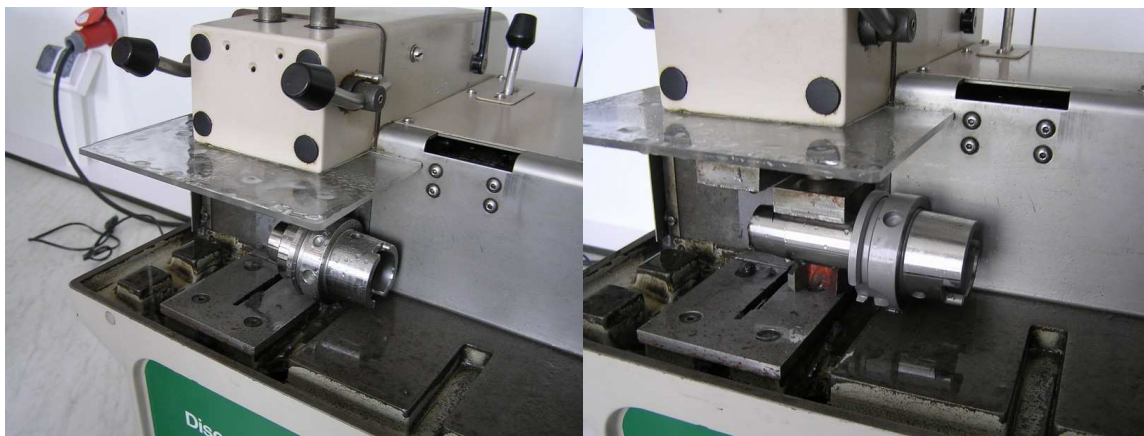
4.6 Experimentální zjištění materiálu upínačů

Pro úplnou analýzu upínacích sklíčidel byly upínače podrobeny materiálovému rozboru. K dispozici byly dva upínače: hydraulický a tepelný fy GÜHRING (obr. 5.20). Cílem analýzy bylo zjištění chemického složení upínače a jeho strukturních vlastností (výrobci si tyto informace přísně střeží, jde o tzv. know-how). Z těchto informací lze odhadnout, o jaký materiál se jedná, jaké má chemické složení, a určit jeho zařazení dle normy ČSN EN $\Rightarrow$ fyzikální a mechanické vlastnosti atd.



Obr. 5. 20 Upínače fy GÜHRING

Samotnému rozboru předcházela tzv. **příprava metalografického vzorku**. Jde o postup, kterým se dosáhne toho, že jedna jeho plocha je připravena do stavu způsobilého k metalografické analýze, tzv. **výbrus**. Příprava výbrusu má svá pravidla, která mají zajistit, aby se struktura vzorku v průběhu přípravy nezměnila a nebyla jednotlivými operacemi ovlivněna.



Obr. 5.21 Pohled do pracovního prostoru stroje Discotom-2

Nejprve musí být vybráno vhodné místo pro odběr vzorku. V našem případě jde o části upínačů, ve které probíhá samotné upnutí. Byly odebrány vzorky pro rozbor materiálu pro rovnoběžný a kolmý směr na osu rotace upínače. Upínače byly děleny pomocí zařízení Discotom-2 fy Struers s řezným kotoučem (obr. 5.21, viz výše). Při dělení vzorku se musí místo řezu neustále chladit chladicí emulzí - nesmí dojít k tepelnému ani mechanickému ovlivnění struktury. Oddělené vzorky (obr. 5.22) pro další ruční zpracování a lehčí manipulaci musí mít takový tvar a velikost, aby se pohodlně udržely v ruce při broušení a leštění - další operace při přípravě vzorků.



Obr. 5.23 Oddělené vzorky

Proto se vzorky zalévají nebo jako v našem případě zalisují do umělé pryskyřice, která se vytvrdí při teplotě 100-180 °C pod vysokým tlakem 30-50 kN. Doba přípravy je 10 min. Vzorky byly zalisovány v přístroji PR-4X fy LECO (obr. 5.24). (16)



Obr. 5.24 Přístroj PR-4X fy LECO

Po zalisování vzorků do pryskyřice nastává další operace, a to jejich **broušení**. Od vybroušeného vzorku se požaduje, aby byl rovnoměrně drsný s minimální povrchovou nerovností, dokonale rovný a aby broušením nedošlo ke změně struktury.

Zkoumané vzorky musí být nejprve umístěny do přípravku - součást brusky (obr. 5.25), který nám zaručí stabilnější a jednoznačné upnutí vzorků při obroušení. Proces broušení se začíná hrubým broušením a postupně se přechází na jemnější brusné papíry. Jako brusivo se používá karbid křemíku, karbid bóru a přírodní korund se zrnitostí brusiva od 63 do 1 μm . Pro naše účely byla použita mikroprocesorem řízená metalografická bruska Abramin fy Struers (slouží i k leštění a lapování). (16)



Obr. 5.25 Metalografická bruska s přípravkem

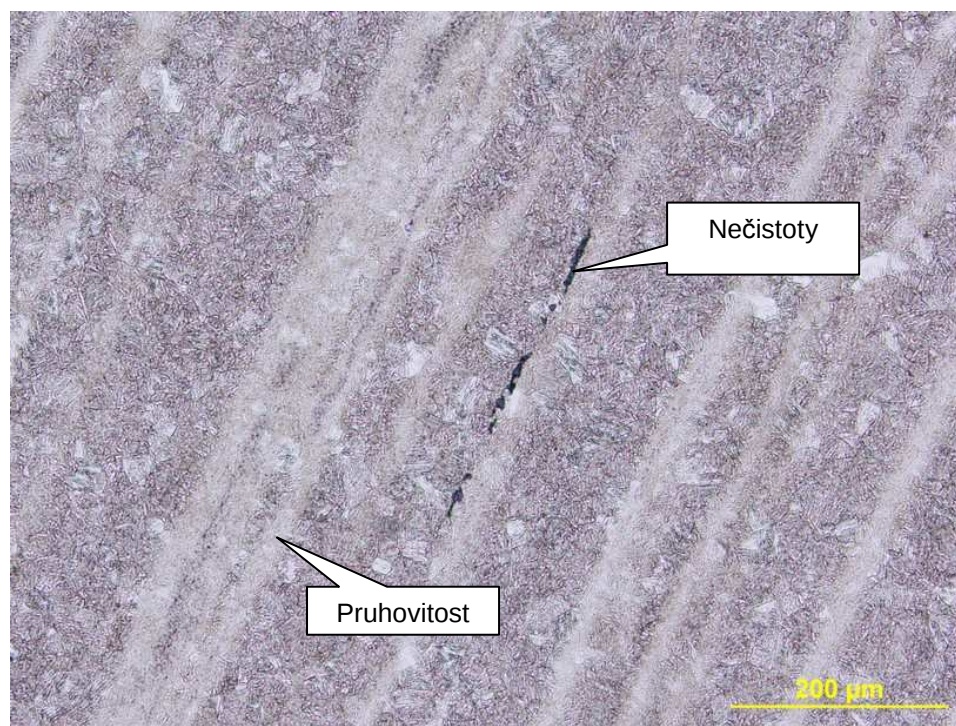
Po broušení vzorků nastává další etapa přípravy, a tím je **leštění**. Leštěním se dosáhne kvalitní rovný zrcadlový povrch a zmizí rýhy po posledním nejjemnějším broušení. Rozdíl mezi mechanickým broušením a mechanickým leštěním je zejména v tom, že při leštění již není materiál vzorku odebírán. Dochází pouze ke srovnání reliéfu povrchu vzorku účinkem leštícího prášku. Naše vzorky byly leštěny leštící pastou OPS (PH 11) s velikostí leštícího prášku 0,25 μm opět na metalografické brusce Abramin fy Struers.

Leštění bývá v některých případech konečnou operací přípravy vzorku. Je to zejména tam, kde se mají hodnotit nekovové fáze v materiálu. Např. při posuzování čistoty oceli, stanovení množství a rozložení oxidů a sulfidů nebo rozložení grafitu v litinách. Kovová matrice se zde jeví jako zářivě bílá pro

mikroskopické pozorování je třeba v ní vytvořit příslušný reliéf. Toho se docílí **naleptáním**. Pro naleptání vzorků bylo použito chemické leptání, a to leptadlo na bázi kyseliny pikrové.

Vzorky upínačů byly pozorovány před naleptáním (pomocí světelného mikroskopu Olympus GX-Série) pro zjištění nečistot, ale i po naleptání (pomocí rastrovacího elektronového mikroskopu Philips XL 30, Oxford – Microspec WDX 400) pro detailnější prozkoumání struktury.

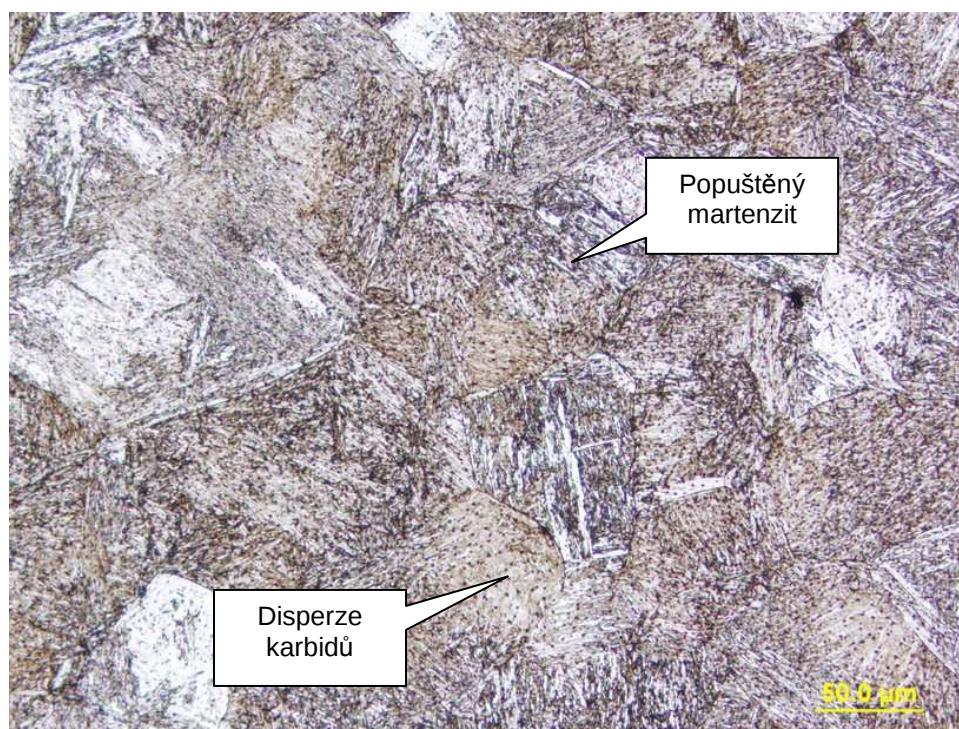
Při **pozorování** v neleptaném stavu (viz příloha č. 1) bylo zjištěno, že oba upínače jsou vyrobeny ze **stejného materiálu**. Ze vzorku rovnoběžného na osu rotace tepelného upínače (obr. 5.26) je patrné, že před třískovým obráběním byly upínače **tvářeny** – to dokazuje tzv. **pruhovitost** materiálu (buď jde o vývalky, nebo výkovky). A také byly na vzorku tepelného upínače zjištěny komplexní **nečistoty** v podobě sulfidů a hlinitanů.



Obr. 5.26 Struktura tepelného upínače (100 x zvětšeno)

Při pozorování vzorku, kolmého na směr tváření hydraulického upínače, je velmi pravděpodobné, že při větším zvětšení jde o strukturu **popuštěného martenzitu s disperzí karbidů** (obr. 5.27). V této fázi lze pouze konstatovat,

že materiál byl zakalený a popuštěný. A také, že pro zlepšení jeho vlastností byly použity legující prvky.

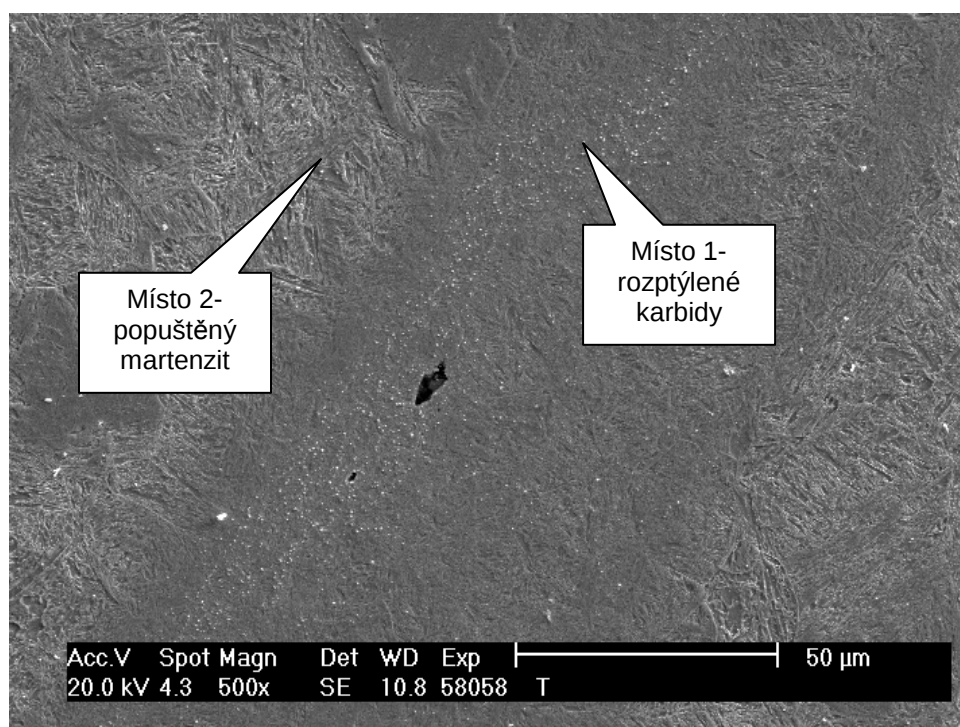


Obr. 5.27 Struktura hydraulického upínače (400 x zvětšeno)

V druhé fázi pozorování byly vzorky naleptány. K chemické analýze a sledování struktury byl použit již elektronový mikroskop (metoda energiově disperzní analýzy - EDS). Podrobeny rozboru byly oba upínače, a to v několika místech výbrusu. *Z níže uvedených tabulek vyplývá chemické složení vzorků v daných místech výbrusu. Bohužel z dostupných technických zařízení nebylo možné zjistit přesný obsah uhlíku, což nám do jisté míry znemožňuje přesně zařadit materiál upínačů dle norem.*

Tab. 5.1 Chemické složení tepelného upínače (obr. 5.28)

Chemický prvek	Hm. % chem. prvku	
	Místo 1	Místo 2
Křemík (Si)	1,8	1,48
Molybden (Mo)	4,21	1,86
Vanad (V)	0,66	0,27
Chrom (Cr)	6,8	4,71
Mangan (Mn)	0,54	0,37
Železo (Fe)	85,99	90,34



Obr. 5.28 Tepelný upínač (500 x zvětšeno)

Na výše uvedeném obrázku je opět zřejmá pruhovitost vniklá po tváření. V místě 1 jsou rozptýleny komplexní karbidy chromu, molybdenu a vanadu. Obsah chemického složení se v upínacích může lišit podle místa chemické analýzy. To dokazuje další tabulka s jiným obsahem chemických prvků naměřená v jiném místě výbrusu.

Tab. 5.2 Chemické složení tepelného upínače (jiné místo analýzy)

Chemický prvek	Hm. % chem. prvku
Si	2,04
Mo	6,43
V	0,91
Cr	7,44
Mn	0,50
Fe	82,68

Jak už bylo výše zmíněno, hydraulický a tepelný upínač je vyroben ze stejného materiálu, což dokazují fotografie pořízené světelným a elektronovým mikroskopem (příloha č. 1 a 2) a také chemické složení získané analýzou

(příloha č. 3). Pro porovnání chemického složení je v tab. 5.3 uveden obsah chemických prvků hydraulického upínače opět ve dvou místech výbrusu.

Tab. 5.3 Chemické složení hydraulického upínače (ve 2 místech)

Chemický prvek	Hm. % chem. prvku	
	Místo 1	Místo 2
Si	1,18	1,34
Mo	1,56	1,53
V	0,37	0,49
Cr	5,1	5,11
Mn	0,48	0,58
Fe	91,31	90,95

Při pozorování vzorků jednotlivých upínačů nebyla viditelná známka po povrchové úpravě kromě broušení a v případě hydraulického upínače i leštění. Povrch upínačů nebyl upraven žádnou z metod chemicko-tepelného zpracování jako je např. cementování, nitridování atd., což dokazují také naměřené tvrdosti daných vzorků.

Tvrdost byla měřena u obou upínačů pomocí Rockwellova tvrdoměru ve 3 různých místech vzorku. Naměřená tvrdost podle Rockwella (HRC), měřená na stupnici C, je uvedena v tab. 5.4.

Tab. 5.4 Tvrdost dle Rockwella (jednotky ve stupních HRC)

Místo měření	Hydraulický upínač	Tepelný upínač
1	49,7	51,3
2	49,7	51,2
3	49,6	50

Zařazení materiálu dle ČSN a ČSN EN

Jak už bylo výše zmíněno, vzhledem k tomu, že z dostupných analýz nebylo možné zjistit množství uhlíku v oceli, bude její zařazení dle norem pouze orientační, a to na základě struktury a chemického složení, tj. na množství legujících prvků.

Lze usuzovat, že materiál obou upínačů je **nástrojová středně legovaná ocel** s převládajícím obsahem legujících prvků jako je chrom (Cr), molybden (Mo) a vanad (V). Podle obsahu prvků z chemické analýzy nejvíce

odpovídá materiálu upínačů dle ČSN 41 9552 nástrojová ocel s označením **19 552**. Dle systému označování ocelí ČSN EN 10 027-1, tj. značky vytvořené na základě chemického složení, lze danou ocel označit **X38CrMoV5-1** a dle normy ČSN EN 10 027-2 jako **1.2343**.

Použití oceli

Nástroje pro stříhání za tepla. Malé až velké, tepelně i mechanicky velmi namáhané nože strojních nůžek, dále střížníky a střížnice při velkých nárocích na houževnatost, zejména při stříhání materiálů větších tloušťek. *Nástroje pro tváření za tepla.* Malé až středně velké, tepelně velmi namáhané zápustky i jiné nástroje pro kování na lisech při velkých nárocích na houževnatost. Nástroje je možno chladit při provozu vodou. Menší, ale i rozměrnější i velmi namáhané lisovací trny pro lisování dutých těles. Rozměrnější, velmi výkonné nástroje k protlačování Ni, Cu, Al, Mg, Zn a jejich slitin.

Technologické údaje oceli

Některé vybrané vlastnosti nástrojové oceli 19 552 jsou v tab. 5.5 a 5.6. Ostatní technologické, mechanické a fyzikální vlastnosti včetně kalícího a popouštěcího diagramu jsou uvedeny v materiálovém listu (příloha. č. 4).

Tab. 5.5 Technologické údaje oceli 19 552

Žíhání na měkko	780–820 °C	tvrdost max. 240 HB
Žíhání ke snížení pnutí	600–650 °C	ochlazování v peci
Kalení	1 000–1 050 °C	ochlazování olej, vzduch
Popouštění	550–650 °C	tvrdost 40–53 HRC
Prokalitelnost		v celém průřezu do 150 mm

Tab. 5.6 Mechanické údaje oceli 19 552

Mez kluzu Rp 0,2 [MPa]	1 050–1 650 (při tvrdosti 40–53 HRC)
Mez pevnosti Rm [MPa]	1 220–1 880 (při tvrdosti 40–53 HRC)
Tažnost A5 [%]	12–15 (při tvrdosti 53–40 HRC)
Kontrakce Z [%]	53–59 (při tvrdosti 53–40 HRC)

5 TECHNICKO - EKONOMICKÉ HODNOCENÍ

V technické části této kapitoly se práce zaměřuje na mechanické, technologické a jiné aspekty vybraných upínačů resp. na jejich srovnání. Porovnání upínačů (tab. 6.1) má objasnit, v kterých kategoriích je daný upínač dokonalejší či vhodnější pro dané hledisko použití. Mezi srovnávané parametry patří např. obvodové házení, upínací síla, kvalita vyvážení, tlumení vibrací, radiální tuhost, vhodnost pro vysoké otáčky, životnost, jednoduchost obsluhy aj. Upínače nejsou vybrány dle konkrétních typů s konkrétním označením, ale podle jejich samotného principu upnutí stopkového nástroje. Pro srovnání byl vybrán tepelný upínač Celsio, hydraulický Tendo a upínač s polygonálním upínáním Tribos, všechny od firmy Schunk.

Tab. 6.1 Srovnání upínačů dle principu upnutí

SROVNÁVACÍ PARAMETR / PRINCIP UPNUTÍ	CELSIO-tepelné upínače	TENDO- hydraulické upínače	TRIBOS- polygonální upínače
OBVODOVÁ HÁZIVOST	$\leq 0,003 \text{ mm}$	$\leq 0,003 \text{ mm}$	$\leq 0,003 \text{ mm}$
DLOUHODOBÁ OBVODOVÁ HÁZIVOST	Až 0,01 mm podle četnosti upínání. Zhoršování házivosti je podmíněno změnou vlastností materiálu upínače neustálým ohříváním a ochlazováním.	$\leq 0,003 \text{ mm}$ bez systémového zhoršování.	$\leq 0,003 \text{ mm}$ bez systémového zhoršování.
UPÍNACÍ SÍLA	Nový upínač o asi 30 % vyšší než běžné hydraulické upínače.	Vysoké upínací síly, např. 320 Nm při $\varnothing 20 \text{ mm}$.	Vysoké upínací síly pro vrtání, vystružování, dokončovací frézování.

KVALITA VYVÁŽENÍ	Podle provedení až 3 g/mm (rozhraní, velikost), může se vyvažovat prakticky na libovolném místě. Nutné vyvážení upínací stopky, např. HSK.	Podle provedení až 3 g/mm (rozhraní, velikost), nemůže se vyvažovat na libovolném místě. Nutné vyvážení upínací stopky, např. HSK.	Podle provedení až 3 g/mm (rozhraní, velikost), může se vyvažovat prakticky na libovolném místě. Nutné vyvážení upínací stopky, např. HSK.
TLUMENÍ VIBRACÍ	Menší tlumení, tvrdé upnutí, vznikající vibrace nejsou pohlcovány a negativně ovlivňují kvalitu obrobené plochy. Navíc vibrace snižují životnost nástroje i vřetena stroje.	Velmi dobré tlumení vibrací (olejová komora). Mikro-výlomky na nástroji jsou omezeny, zvyšuje se trvanlivost nástroje a zlepšuje se kvalita obrobené plochy.	Vynikající tlumení vibrací (TRIBOS-R). Mikro-výlomky na nástroji jsou omezeny, zvyšuje se trvanlivost nástroje a zlepšuje se kvalita obrobené plochy.
RADIÁLNÍ TUHOST	U štíhlých konstrukcí žádná vyšší radiální tuhost.	Přibližně stejná radiální tuhost jako u tepelných upínačů.	Velmi dobrá radiální tuhost u TRIBOS-R. Průměrná radiální tuhost u TRIBOS-S (extrémně štíhlé upínače).
ŽIVOTNOST UPÍNAČE	Z praktických zkušeností se již po cca 80-100 upínacích cyklech mohou vyskytnout mikro-trhlínky v materiálu a zvýší se vnitřní pnutí.	Počty upnutí v řádů tisíců nejsou žádným problémem. 1 rok záruka bez omezení počtu upnutí.	Dlouhá životnost. Jednoduchá výměna a oprava upnutí nástroje, krátké časy pro výměnu nástroje, bez čekání na „zchlazení“ upínače.

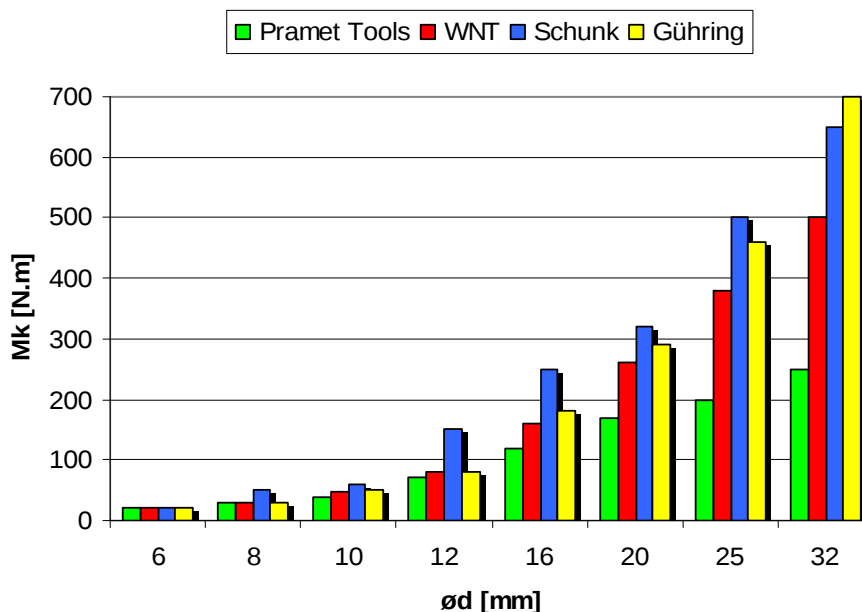
BEZPEČNOST PRÁCE	Možnost popálení při nepozornosti nebo nedodržení bezpečnostních pokynů.	Zcela bezpečné upínání pro člověka a okolí.	Zcela bezpečné upínání pro člověka a okolí.
ODOLNOST VŮČI VYSOKÝM OTÁČKÁM	Vhodný pro otáčky do 60.000 ot./min.	Vhodný pro otáčky do 50.000 ot./min.	Vhodný pro otáčky do 60.000 ot./min.
SYSTÉMOVÉ NÁKLADY	Nutné dokoupit upínací zařízení. Cena podle výrobce 3 000 – 13 000 €/ks.	Není nutné žádné upínací zařízení. K upnutí postačí pouze upínací klíč.	Nutné dokoupit upínací zařízení. Cena dle výrobce 2 400 – 12 000 €/ks.
ZÁRUKA (fa SHUNK)	½ roku	Standardní upínače 1 rok bez omezení počtu upnutí. Speciální upínače 50 000 upnutí nebo půl roku.	1 rok bez omezení počtu upnutí.

Upozornění

Silnější konstrukce u tepelných upínačů není praktická, neboť se pak několikanásobně prodlužují časy pro zahřívání a chlazení. Tepelné upínače mohou v průběhu obrábění ztrácet upínací sílu (zahřátí upínače např. při suchém obrábění) a krouticí moment se sníží po cca 30 upnutích. U tepelných upínačů se házivost měří (viz katalogové údaje) v upínacím průměru a nikoliv na hřídeli měřicího trnu (Tendo, Tribos). Upínací síla u hydraulických upínačů se zvyšuje při ohřívání upínače (zvětšení objemu oleje).

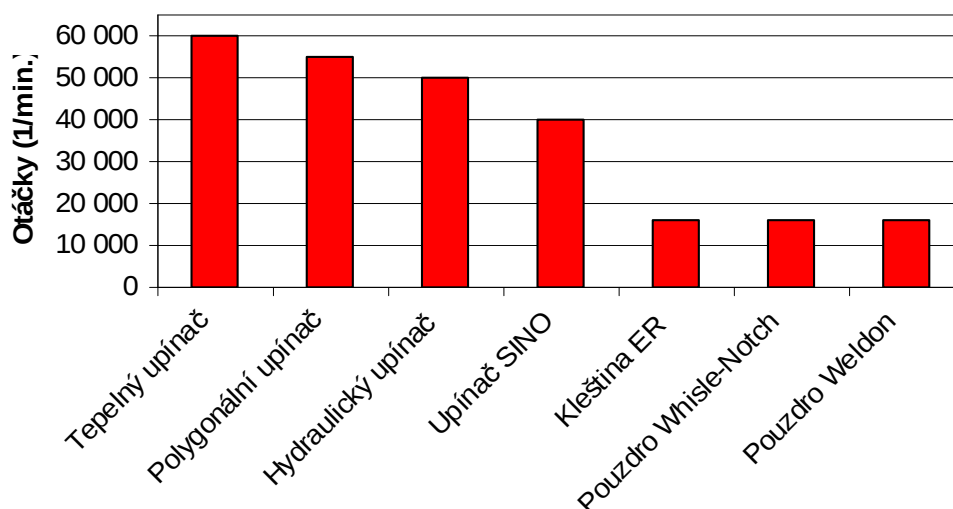
Jako další srovnávací parametr upínačů může být minimální přenosný krouticí moment. Graf na obr. 6.1 vyjadřuje závislost průměru upnutí stopky nástroje na min. přenosném krouticím momentu a to pro upínače od různých

výrobců. Pro porovnání byly vybrány hydraulické upínače tuzemské firmy PRAMET TOOLS a německých firem WNT, SCHUNK a GÜHRING.



Obr. 6.1 Graf závislosti průměru upnutí "d" ($\varnothing$ stopky nástroje) na min. přenosném kroutícím momentu "Mk" hydraulického upínače

Na obr. 6.2 jsou vzájemně porovnány dosažitelné mezní otáčky různých upínacích pouzder. Je vidět, že především při vysokorychlostním obrábění (HSC) je třeba dávat přednost tepelným upínačům, hydraulickým upínacím pouzdrům a polygonálním upínačům, protože mohou pracovat v rozsahu vysokých otáček. Pro srovnání byly použity upínače firmy Schunk.



Obr. 6.2 Mezní otáčky upínacích pouzder

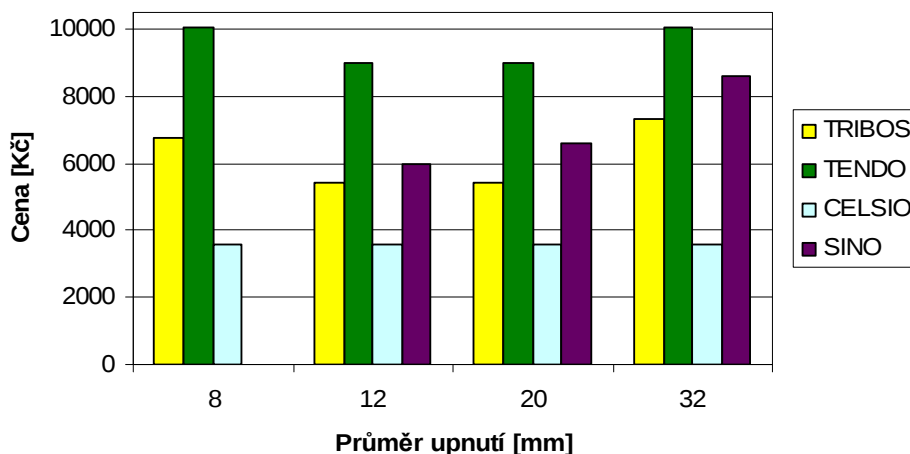
Uvedené mezní otáčky upínacích pouzder jsou obvyklé pro daný typ upnutí. Avšak existují upínače speciálních konstrukcí, které mohou dosahovat i vyšších otáček. Jedná se spíše o speciální výrobu.

V ekonomické části hodnocení se práce zabývá porovnáním cen upínačů od předních výrobců. Náklady na pořízení samotných upínačů se různí dle výrobce. Avšak musí být bráno v potaz i to, že k cenně některých typů se musí připočíst také cena přídatných zařízení. Např. při použití tepelných či polygonálních upínačů je třeba přikoupit přístroje sloužící k samotnému upnutí stopkového nástroje v upínači.

Pro porovnání byly vybrány upínače fy Schunk, Gühring, WNT a Haimer. Jako kritérium pro srovnání byl(a):

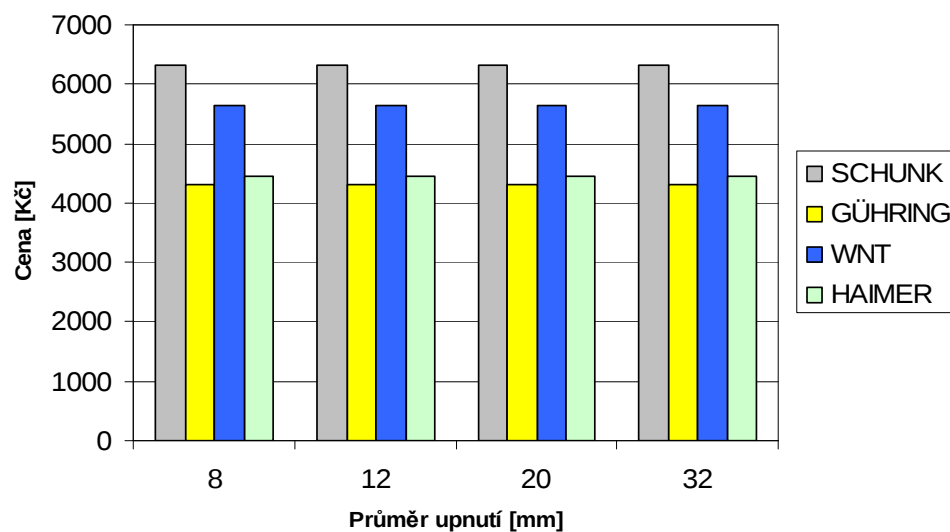
- způsob upnutí upínače ve vřetenu stroje (SK, HSK),
- způsob přívodu chladicí kapaliny (AD/B, přívod přes střed nástroje),
- přednastavení výšky nástroje (radiální, axiální),
- průměr otvoru pro upnutí nástroje (průměr stopky nástroje),
- podobná konstrukce.

Na obr. 6.3 je znázorněn graf porovnání různých upínacích systémů od firmy Schunk. Pro srovnání byly vybrány upínače se strmým kuželem SK 40, chlazením AD/B s axiálním přednastavením nástroje.



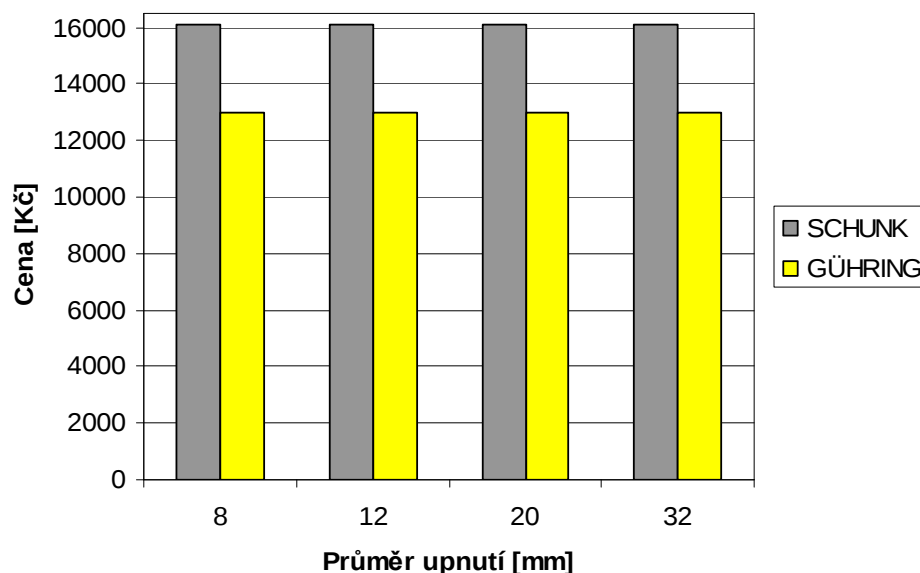
Obr. 6.3 Ceny upínačů v provedení SK 40-AD/B

Graf na obr. 6.4 porovnává pořizovací náklady tepelných upínačů od různých výrobců v provedení HSK-A s chlazením AD/B a axiálním přednastavením nástroje. Upínače jsou v krátkém provedení podobné konstrukce.



Obr. 6.4 Ceny tepelných upínačů v provedení HSK-A, AD/B

V grafu na obr. 6.6 je porovnání cen hydraulických pouzder od výrobců upínačů s radiálním přednastavením nástroje (RPN). Jde o upínače v provedení HSK-A a s chlazením přes střed nástroje podobné konstrukce.



Obr. 6.6 Ceny hydraulických upínačů v provedení HSK-A s RPN

Z grafů plyne, že hydraulické upínače jsou nejdražší a naopak tepelné upínače lze pořídit za nejnižší cenu. Ceny upínačů od výrobce Schunk patří mezi nejvyšší. Ostatní grafy srovnání jiných typů upínačů jsou v příloze č.5.

ZÁVĚR

Trendem dnešního strojírenství je neustálé zvyšování nároků, a to především v oblasti jakosti výroby, přesnosti, efektivnosti a také schopnosti dodání požadované zakázky v co nejkratším časovém termínu. Upínače stopkových nástrojů v dnešní době hrají nemalou roli v třískovém obrábění a mohou výše uvedené požadavky ovlivnit. Proto je jejich vhodný výběr a následné použití velmi podstatné. Upínače dokáží znatelně přispět k zlepšení jakosti povrchu obrobku a také k zvýšení jeho rozměrové přesnosti. Avšak upínače plní i jiné neméně důležité funkce, jako je např. tlumení vibrací při obrábění a tím zvyšují životnost nejen nástroje, ale i celého stroje.

Upínače stopkových nástrojů nabízí v současnosti již nemálo výrobců, ale mnoho z nich poskytuje pouze již známé konvenční držáky, jako jsou plošná upínací pouzdra Weldon, Whistle-Notch či upínače s kleštinou. Avšak výrobců zabývajících se moderními metodami upnutí již není mnoho. V produkci moderních metod upínání stopkových nástrojů vedou zejména ve střední Evropě německé firmy jako Schunk, Gühring, WNT či Haimer. Tyto podniky se specializují obzvláště na výrobu tepelných či hydraulických upínacích pouzder. Ale jen některé z nich vyvinuly nové systémy upnutí, jako jsou např. polygonální upínače Tribos fy Schunk či teprve čerstvě patentovaný upínací systém SafeLock fy Haimer.

Všechny upínače (tepelné, hydraulické, polygonální) umožňují na rozdíl od konvenčních metod upnutí použití pro vysokorychlostní obrábění. Avšak každý z upínačů má své specifické vlastnosti, kterými převyšuje nad ostatními. Tepelné upínače jsou, pro svoji štíhlou konstrukci a velmi vysokou upínací sílu, preferovány před ostatními upínači při výrobě dutin či hůře dostupných míst. Avšak značnou nevýhodou může být při suchém obrábění to, že se upínače mohou zahřát, a tak se kvůli tepelné roztažnosti může snížit upínací síla. Kdežto u hydraulického upínače může dojít k opačnému účinku díky roztažnosti upínacího média v podobě oleje. Hydraulické a ještě více polygonální upínače dokáží skvěle tlumit vibrace a odolávat radiálním silám. Proto se hodí například pro vysokovýkonné obrábění. Hydraulické upínače mají další výhodu a to, že k upnutí nástroje není zapotřebí žádného periferního zařízení a lze nástroj snadno upnout pomocí klíče. Naproti tomu

tepelné či polygonální upínače potřebují pro upnutí nástroje upínací zařízení někdy i v hodnotě několika set tisíc korun.

Každý výrobce stejného typu upnutí zaručuje jiné technické parametry, jako je např. minimální přenosný krouticí moment, a to může být dalším rozhodujícím faktorem při výběru upínače. V neposlední řadě hrají nemalou roli také pořizovací náklady na ně samotné. Ty se mohou lišit opět dle výrobce.

V mnoha případech díky preciznímu provedení a použití dostupných materiálů se dostaly upínače již na svoji hranici dokonalosti. U některých typů upínačů už nelze za aktuálně daných technických či materiálových vymožeností dosáhnout lepších vlastností. Obecně však platí, že lze stále něco zdokonalovat. Proto trendy v upínání spočívají v zdokonalování již stávajících systémů, avšak již jen v jejich dílčích detailech.

Každá specifická aplikace klade jiné nároky na upínače nástrojů. Žádný přesný upínač není schopen plně uspokojit veškeré požadavky bez ohledu na to, jakkoliv je univerzální. „Který z výše jmenovaných upínacích systémů je však nejlepší? Na takovou otázku prakticky nelze odpovědět. Správná otázka zní: který upínací systém je pro daný obráběcí proces ten správný, čili optimální? A na tuto otázku již lze poskytnout odpověď.“ (1)

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. AMBROŽ, Pavel. Upínače stopkových nástrojů. *MM Průmyslové spektrum*. Duben 2008, č. 4, str. 38-39. ISSN 1212-2572.
2. Garant. *Příručka obrábění*. [Německo] : [s.n.], [2006]. 640 s.
3. AB SANDVIK COROMANT - SANDVIK CZ s.r.o. Příručka obrábění - Kniha pro praktiky. Přel. M. Kudela. 1. vyd. Praha: Scientia, 1997. Přel. z: Modern Metal Cuttig - A Practical Handbook.
4. KOČMAN, K. a PROKOP, J. Technologie obrábění. 1.vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2001. 270 s. ISBN 80-214-1996-2.
5. KOČMAN, K. Speciální technologie – Obrábění. 2. vyd. Brno: PC-DIR Real, 1998.
6. HUMÁR, A. Materiály pro řezné nástroje. 1.vyd. Praha: MMPublishing, 2008. 235 s. ISBN 978-80-254-2250-2.
7. ŘASA, J., GABRIEL, V. *Strojírenská technologie 3: Metody, stroje a nástroje pro obrábění*. Blanka Prášilová. 1. vyd. Praha : Scientia, 2000. 256 s. ISBN 80-7183-207-3.
8. KOČMAN, K., PROKOP, J. *Výrobní technologie II: Obrábění*. Brno : Akademické nakladatelství CERM, 2002. 83 s. ISBN 80-214-2189-4.
9. DVOŘÁK, Luděk. Větší bezpečnost při upínání nástrojů. *MM Průmyslové spektrum*. Říjen 2008, č. 10, str. 48-49. ISSN 1212-2572.
10. ZIEGLTRUM, Franz. Srovnání upínačů pro frézovací nástroje. *MM Průmyslové spektrum*. Únor 2008, č. 1,2, str. 78. ISSN 1212-2572.
11. PRAMET, *Upínání rotačních nástrojů 2007*. [PDF]
12. PLÁNIČKA, František. Obrábění s minimálním množstvím mazání. *MM Průmyslové spektrum*. Duben 2009, č. 4, str. 28-29. ISSN 1212-2572.
13. *Upínače rotačních nástrojů*. Šumperk : Pramet Tools, s.r.o., 2007. 100 s.
14. Schunk. *SCHUNK GmbH & Co. KG* [online]. 2009 [cit. 2009-05-16]. Dostupný z WWW: <<http://www.schunk.com>>.
15. WNT. *WNT Home* [online]. 2009 [cit. 2009-05-20]. Dostupný z WWW: <<http://www.wnt.com>>.
16. PTÁČEK, L. *Nauka o materiálu I.2.* opr. a rozš. vyd. vyd. Brno : Akademické nakladatelství CERM, 2003. 516 s. ISBN 80-7204-283-1.

17. Haimer. *Haimer GmbH* [online]. 2009 [cit. 2009-05-20]. Dostupný z WWW: <<http://www.haimer.com>>.
18. Gühring. *Guehring* [online]. 2009 [cit. 2009-05-01]. Dostupný z WWW: <<http://www.guehring.cz>>.

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

Zkratka/Symbol	Jednotka	Popis
ω	[rad/s]	úhlová rychlost
m	[g]	hmotnost nevývažku
r	[mm]	vzdálenost osy rotace a nevývažku
e	[g .mm/kg]	specifický nevývažek
U	[g . mm]	zbytkový nevývažek
F	[N]	odstředivá síla
n	[ot/min]	otáčky
M	[kg]	hmotnost upínače
G	[mm/s]	stupeň jakosti vyvážení
MMS		minimální mazání
CNC		číslicové řízení počítačem
VBD		vyměnitelná břitová destička
EDS		energiově disperzní analýza
HRC		tvrdost dle Rockwella (stupnice C)
HB		tvrdost dle Brinella

SEZNAM PŘÍLOH

- Příloha 1 Světelný mikroskop
Příloha 2 Elektronový mikroskop
Příloha 3 Chemická analýza
Příloha 4 Materiálové listy
Příloha 5 Grafické srovnání cen upínačů

Příloha 1