

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV VÝROBNÍCH STROJŮ, SYSTÉMŮ
A ROBOTIKY

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF PRODUCTION MACHINES, SYSTEMS
AND ROBOTICS

DESKRIPCE NÁSTROJOVÝCH SOUSTAV PRO OBRÁBĚNÍ NEROTAČNÍCH SOUČÁSTÍ

DESCRIPTION OF TOOL SYSTEMS IN MACHINE TOOLS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

STANISLAV KACHYŇA

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. PETR BLECHA, Ph.D.

BRNO 2008

ABSTRAKT

Bakalářská práce shrnuje poznatky z oblasti nástrojových soustav používaných u obráběcích strojů se zaměřením na výrobu nerotačních součástí, popisuje jednotlivé výrobní metody a používané nástroje. Hlavním cílem bakalářské práce je učinit průřez danou problematikou a shrnout jak klasické, tak moderní postupy a směry vývoje nástrojových soustav v obráběcím procesu.

Klíčová slova

Nástrojová soustava, Upínací držák, Kuželová stopka ISO, Kuželová stopka HSK, Prodlužovací mezikus, Nástrojová jednotka, Upínání nástroje, Nástrojové materiály, Zásobníky nástrojů, Životnost nástroje, Měření a seřizování nástrojů, Chlazení nástrojů, Frézování, Vrtání, Vyvrtávání.

ABSTRACT

Bachelor thesis summarises knowledge from area of tool systems in machine tools used at machines aimed on non-rotating parts production. It describes processes, methods and tools in use. Main target of the thesis is to make an overview above this problems and summarize the classics and modern ways of machine tools development in production process.

Key words

Tool sets, tool holder, conical ISO stem, conical HSK stem, tool unit, grip tools, tool materials, tool magazine, tool life-time, measuring and adjusting tool sets, tool cooling, mill unit, drill unit, boring unit.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

KACHYŇA, S., Deskripce nástrojových soustav pro obrábění nerotačních součástí. Brno, VUT-FSI, 2008, 50 s.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma Deskripce nástrojových soustav pro obrábění nerotačních součástí vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

V Brně, 23.5.2008

.....

Stanislav Kachyňa

Poděkování

Za podporu a obětavou pomoc, cenné připomínky a rady při zpracování bakalářské práce tímto děkuji vedoucímu bakalářské práce panu Ing. Petru Blechovi, Ph.D. Dále chci poděkovat za spolupráci a poskytnutí podkladů firmě TOS KUŘIM – OS, a.s., zvláště panu Ing. Jiřímu Michelemu, vedoucímu školicího střediska.

OBSAH

Abstrakt

Zadání práce

Prohlášení

Poděkování

OBSAH

ÚVOD

1. Nástrojové soustavy pro obrábění nerotačních součástí	1
1.1 Nástrojové držáky	2
1.1.1 Upínání kužele ISO	3
1.1.2 Upínání kužele HSK	5
1.2 Prodlužovací mezikusy	6
1.3 Nástroje	7
1.3.1 Nástrojové materiály	8
1.3.2 Zásobníky nástrojů	13
1.3.3 Výměna nástrojů	17
1.3.4 Opatření, trvanlivost a životnost nástroje	18
1.3.5 Kontrola nástrojů	20
1.3.6 Měření a seřizování nástrojů	21
1.3.7 Chlazení nástrojů	22
1.3.8 Moderní způsoby upínání stopkových nástrojů	24
2. Nástrojové soustavy pro vrtací operace	29
3. Nástrojové soustavy pro vyvrtávací operace	35
4. Nástrojové soustavy pro frézovací operace	38
5. Univerzální nástrojové soustavy	41

ZÁVĚR

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

SEZNAM POUŽITÝCH OBRÁZKŮ

SEZNAM POUŽITÝCH TABULEK

46

47

49

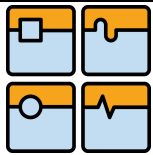
50

ÚVOD

Široký typorozměrový sortiment obráběných součástí s možností provádění různých druhů technologických operací na obráběcích centrech klade na konstrukční provedení nástrojových systémů náročné požadavky. Mezi tyto požadavky patří především spolehlivý systém upnutí (pro dokončovací i pro hrubovací obrábění, samosvornost upínacího systému nebo spolehlivé zajištění upínacího mechanismu, vhodnost i při vysokých otáčkách), přesnost polohy nástroje (zachování definované přesnosti i po mnohonásobné výměně nástroje, vysoká statická a dynamická tuhost nástrojové jednotky, symetrická skladba nástrojové jednotky, a tím minimální nevyváženost), rychlá vyměnitelnost a následná minimalizace vedlejších časů při obrábění (čištění připojovacích ploch emulzí nebo stlačeným vzduchem, dostatečně velké vůle s naváděcími plochami mezi základními připojovacími plochami), snadná obsluha (dobrá údržba, odolnost proti opotřebení, minimální možnost znečištění připojovacích ploch), normalizace a standardizace (daný typorozměr musí odpovídat instalovanému příkonu stroje, plochy pro chapače výměníků musí mít jednotné rozměry, jednotné rozměry připojovacích ploch pro celý sortiment velikostí nástrojů) a vhodný systém kódování (jednotný systém kódování nástrojových jednotek pro minimalizaci nákladů na přípravu, údržbu a provozní spolehlivost). V současné době jsou s ohledem na tyto požadavky využívány tři základní nástrojové soustavy (Obr.1) pro celou oblast obráběcích center. Jedná se o nástrojové soustavy pro obrábění nerotačních obrobků, rotačních obrobků (soustružnické) a kombinované (univerzální) [1].

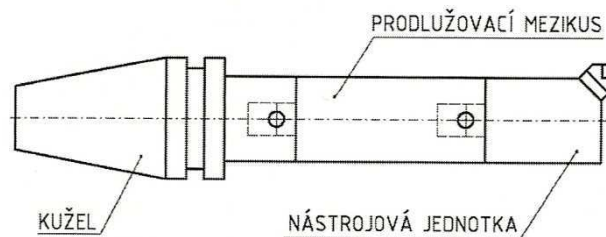


Obr.1 Morfologie nástrojových soustav [1]



1 NÁSTROJOVÉ SOUSTAVY PRO OBRÁBĚNÍ NEROTAČNÍCH SOUČÁSTÍ

Tyto soustavy jsou tvořeny stavebními nástrojovými jednotkami (Obr.2). Kužel, který je upínán do dutiny vřetena, je tvořen kuželem: ISO, HSK, Capto a BIG Plus [1]. Konstruktivní řešení stavební soustavy prvků pro skladbu upínacího nářadí umožňuje volbu optimální varianty pro danou technologickou úlohu a dané provozní podmínky [3].

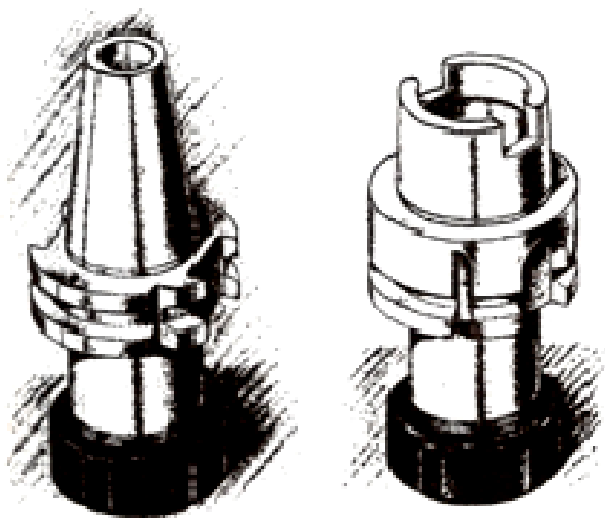


Obr.2 Stavební nástrojová soustava [2]

1.1 Nástrojové držáky

Podle dutiny vřetena, která je umístěna na pracovní straně, užíváme následující nástrojové držáky:

- kuželová stopka ISO (kuželovitost 7:24)
- krátká kuželová stopka HSK (kuželovitost 1:10)
- válcová stopka (méně časté)
- speciální profil (např. trojúhelníkový profil Sandvik Coromant Capto)
- BIG Plus (v podstatě jako ISO sedící na čele)



Obr.3 Stopky nástrojových držáků ISO a HSK [1]

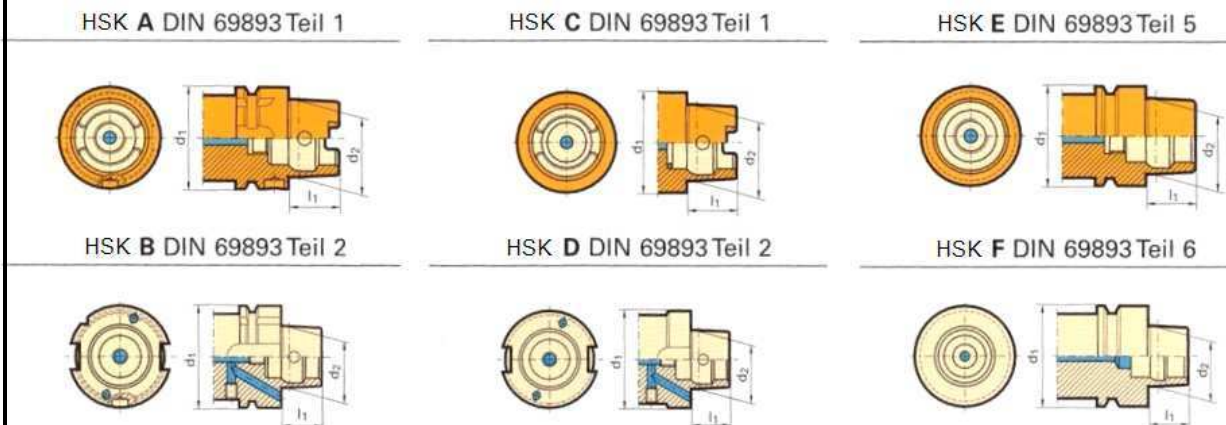


Obr.4 Stopka BIG Plus [14]



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Nástrojové držáky se stopkou HSK a především se stopkou ISO jsou nejpoužívanější. Jejich tvar a rozměry jsou normalizovány normou DIN, přičemž podrobnější označení pak dále rozlišuje jejich základní rozměry – ISO kužel: např. ISO 30, ISO 40 a HSK kužel: HSK A, HSK B, HSK C atd. Příklady jednotlivých typů HSK kužele jsou uvedeny v Obr.5 a příslušné rozměry pak v Tab.1.



Obr.5 Typy kuželů HSK [5]

Tab.1 Rozměry jednotlivých typů stopek HSK [5]

HSK Form A C E			HSK Form B/D/F		
Nenngröße d ₁ mm	Kegel-Ø d ₂ mm	Schaftlänge l ₁ mm	Nenngröße d ₁ mm	Kegel-Ø d ₂ mm	Schaftlänge l ₁ mm
25	19	13	-	-	-
32	24	16	-	-	-
40	30	20	40	24	16
50	38	25	50	30	20
63	48	32	63	38	25
80	60	40	80	48	32
100	75	50	100	60	40
125	95	63	125	75	50
160	120	80	160	95	63

Pozn.: Nenngröße = jmenovitý rozměr (velikost)
 Kegel = kužel
 Schaftlänge = délka dříku

Více používaný je nástrojový držák se stopkou ISO, avšak v dnešní době již existuje i takové příslušenství, že lze upnout držák s HSK stopkou do nástrojového držáku se stopkou ISO. Jeho dutina je speciálně upravena pro upínací segment, který je na jedné straně upevněn v dutině stopky HSK a na druhé straně zašroubován do dutiny v držáku se stopkou ISO. Celý spoj je pak zpevněn na svém obvodu krátkou vřetenou přírubou – viz Obr.6 a 7.



Obr.6 Příslušenství pro upínání HSK stopky do nástrojového držáku ISO [5]

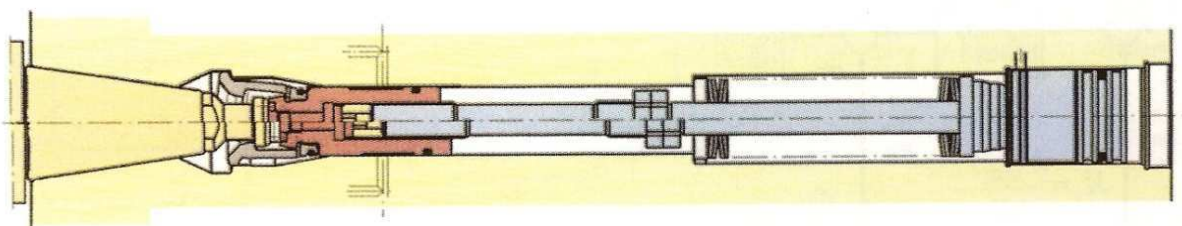


Obr.7 Nástrojový držák s upravenou dutinou pro upnutí kužele HSK [5]

Základní rozdíl mezi ISO stopkou a HSK stopkou je v tom, že stopka ISO má při upnutí vůli mezi stopkou a čelem vřetena, narozdíl od HSK stopky, která dosedá na čelo vřetena [1].

1.1.1 Upínání kužele ISO

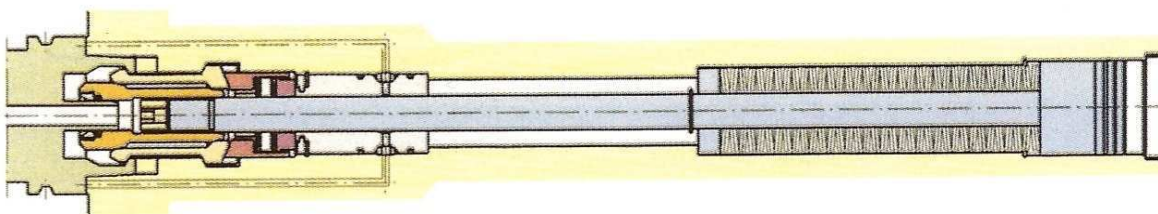
Upnutí kužele ISO je provedeno svazkem talířových pružin přes kuličky, které vtahují nástrojový držák do dutiny vřetena přes upínací šroub, který je našroubovaný do zadní části nástrojového držáku (Obr.8) [1].



Obr.8 Příklad upínání kužele ISO [1]

1.1.2 Upínání kužele HSK

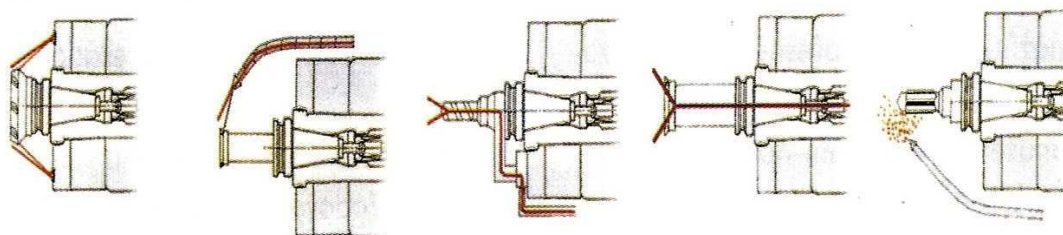
HSK kužel je upínán za vnitřní dutinu táhly předepjatými talířovými pružinami (Obr.9) [1].



Obr.9 Příklad upínání kužele HSK [1]

K uvolnění dojde v obou případech pomocí hydraulického válce, který stlačí sloupec talířových pružin. Tento hydraulický válec může být konstruován jako vestavěný nebo nastavný v tzv. uvolňovací jednotce. Kromě přívodu oleje musí uvolňovací jednotka umožňovat přívod chladicí (řezné) kapaliny, čistícího a kontrolního vzduchu. Upínací kleštiny mají v sobě integrován i mechanický násobič síly, aby svazek pružin nevycházel neúměrně velký. Různé druhy přívodu řezné kapaliny k břítu nástroje ukazuje Obr.10. Maximální možné otáčky dosažitelné na vřetenu jsou určeny typem kužele a způsobem upnutí - viz Tab.2 [1].

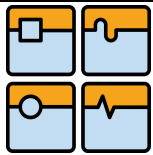
Na konvenčních obráběcích strojích nalezneme spíše mechanické upínání nástrojů, avšak současné CNC stroje a obráběcí centra využívají především automatické upínání nástrojů – pneumatické či hydraulické, které je mnohem výhodnější z hlediska přesnosti a kvality upnutí nástroje, ale je také mnohonásobně rychlejší.



Obr.10 Způsoby přívodu řezné kapaliny [1]

Tab.2 Otáčky vřetena v závislosti na typu kužele [1]

Typ kužele	Otáčky vřetena [min^{-1}]	Poznámka
ISO (SK)	10 000	ISO 40
	8000	ISO 50
HSK	18 000	HSK 63
	15 000	HSK 100
Coromant Capto	11 000	C6
	8000	C8
BIG Plus	11 000	BIG Plus 50



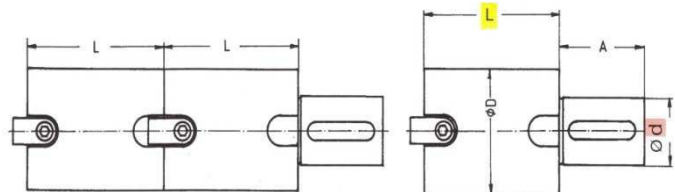
1.2 Prodlužovací mezikusy

Druhů prodlužovacích mezikusů je velmi mnoho. Tuto část nástrojových soustav spolu s vlastním nástrojem si nejčastěji modifikuje výrobce příslušných nástrojů za účelem co největšího odběru svých produktů, a nebo se naopak za stejným účelem drží předepsaných rozměrů, aby vybrané části bylo možné použít i v kombinaci s nástroji od jiného výrobce, a tedy byla zajištěna jejich univerzálnost. Obecně však platí, že čím více těchto mezikusů použijeme pro sestavení vlastní nástrojové soustavy, tím více vystavujeme obráběnou součást možnosti dosažení větších nepřesností. Hlavním důvodem je samozřejmě čelní a obvodové házení nástroje, protože použitím každého dalšího mezikusu klesá tuhost nástrojové soustavy a házení tak narůstá. Také klesá přesnost polohy nástroje. Každý nástroj a také prodlužovací mezikus je totiž vyroben pouze v určité přesnosti a při použití většího počtu těchto mezikusů se tato nepřesnost přirozeně zvětšuje.

Jako příklad bych zde uvedl typický prodlužovací mezikus WNT plus používaný pro frézovací trny s příčnou drážkou (Obr.11). Je možné použít jednoduchého či zdvojeného prodlužovacího prvku (Obr.12), avšak o délce maximálně 50 mm, aby nebyly překročeny předepsané tolerance tvaru a polohy nástroje. Na Obr.13 můžeme vidět všechny prvky použité pro sestavení celé nástrojové soustavy – upínací držák se stopkou HSK + prodlužovací prvek + nástroj (rohová fréza) + šroub pro utažení frézy. V obrázku chybí pouze unášecí kroužek (Obr.14), který se používá především při upínání větších nástrojů a slouží nám k lepšímu přenosu krouticího momentu. Na Obr.15 je pak zobrazena již hotová sestavená nástrojová soustava.



Obr.11 Prodloužení pro frézovací trny s příčnou drážkou [4]



Obr.12 Schéma skládání jednoduchého a zdvojeného prodlužovacího prvku [4]



Obr.13 Prvky použité pro sestavení nástrojové soustavy [4]



Obr.14 Unášecí kroužek [4]



Obr.15 Sestavená nástrojová soustava [4]

1.3 Nástroje

Nástrojů pro výrobu nerotačních součástí je celá řada, avšak výrobní operace pro výrobu takové součásti jsou především frézování, vrtání a vyvrtávání. Výrobci vlastních nástrojů je velmi mnoho, těmi nejznámějšími jsou například Walter, Iscar či Sandvik-Coromant. Řezné části těchto nástrojů jsou vyráběny z kvalitních nástrojů s velkou řezivostí. Jejich trvanlivost se pohybuje řádově v minutách, protože pracují při vysokých řezných rychlostech, a seřizování těchto nástrojů probíhá většinou na specializovaných pracovištích umístěných mimo stroj, což se děje především z důvodu zkrácení vedlejších časů při obrábění na minimum.

Frézovací nástroje

Frézování je obráběcí metoda, při které je materiál obrobku odebrán břity rotujícího nástroje. Posuv nejčastěji koná obrobek, převážně ve směru kolmém k ose nástroje. U moderních frézovacích strojů jsou posuvové pohyby plynule měnitelné a mohou se realizovat ve všech směrech (obráběcí centra, víceosé CNC frézky). Řezný proces je přerušovaný, každý zub frézy odřezává krátké třísky proměnné tloušťky. [6]

Frézovací nástroje lze rozdělit z několika hledisek, např. [6]:

Podle umístění zubů na těle nástroje:

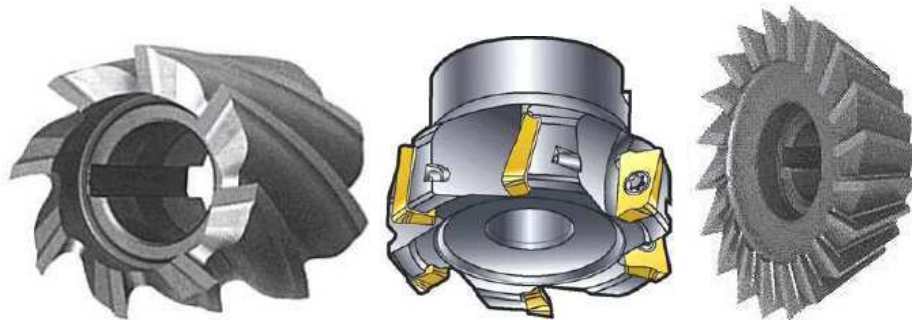
- a) válcové – mají zuby na válcové ploše
- b) čelní – mají zuby na čelní ploše
- c) čelní válcové – zuby mají na čelní i válcové ploše

Podle směru zubů vzhledem k ose rotace frézy:

- a) frézy s přímými zuby
- b) frézy se zuby ve šroubovici

Podle způsobu upnutí:

- a) frézy nástrčné – upínají se na centrální otvor
- b) frézy stopkové – upínají se za válcovou nebo kuželovou stopku nástroje



Obr.16 Příkladů frézovacích nástrojů [6]

Vrtací nástroje

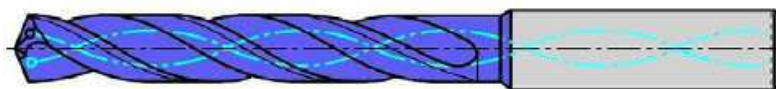
Vrtání je výrobní metoda, kterou se zhotovují díry zcela, nebo zvětšují již předpracované díry (předvrtané, předlité, předlisované, předkované atd.). Hlavní pohyb je rotační a vykonává ho obvykle nástroj (vrták), méně často obrobek. Osa vrtáku je zpravidla kolmá k obráběné ploše, na které vrták vstupuje do obráběného materiálu. Posuvový (vedlejší) pohyb ve směru své osy vykonává vrták [18]. Pro dosažení lepší jakosti povrchu a vyšší přesnosti zhotovené díry se pak používá výhružníků a výstružníků.

Vrtací nástroje lze podle technologie vrtání, konstrukce a geometrie nástroje rozdělit do několika hlavních skupin, např. [18]:

- šroubovitě vrtáky – nejpoužívanější. Na těle vrtáku jsou vytvořeny dvě protilehlé drážky pro odvod třísek. Šroubovitě vrtáky jsou vyráběny z rychlořezné oceli, mohou být i s otěruvzdornými povlaky. Mohou mít šroubovitě díry pro centrální přívod chladicí kapaliny [18].



*Monolitní SK vrták firmy
Gühring s povlakem TiN*



*Vrták firmy Klenk s centrálním
přívodem řezné kapaliny*

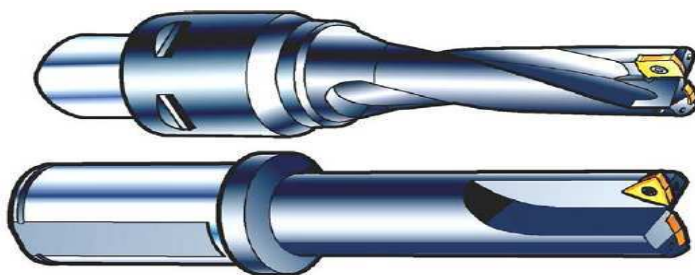
Obr.17 Příkladů šroubovitých vrtáků [18]

- b) vrtáky s vyměnitelnou špičkou – mají dvě základní konstrukční provedení (s vyměnitelnou destičkou nebo hlaví). Špičky mívají různou geometrii, která závisí na druhu materiálu a druhu technologické operace, pro kterou jsou určeny. Mohou umožňovat vnitřní přívod chladicí kapaliny [18].



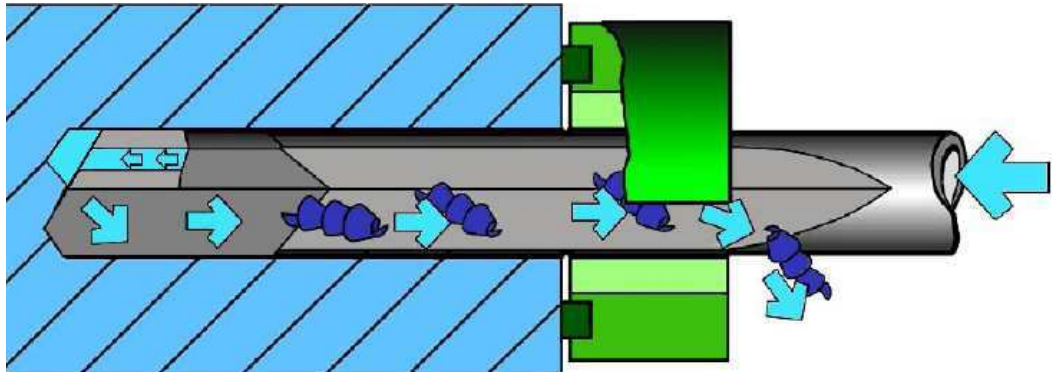
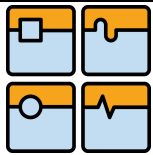
Obr.18 Příklady vrtáků s vyměnitelnou destičkou a hlaví [18]

- c) vrtáky s vyměnitelnými břitovými destičkami – mají několik břitových destiček ze slinutých karbidů, které jsou na vrtáku upnuty pomocí šroubů se zapuštěnou hlavou. Většinou umožňují vnitřní přívod chladicí kapaliny [18].



Obr.19 Příklady vrtáků s VBD [18]

- d) dělové a hlavňové vrtáky – používají se pro vrtání hlubokých děr. Řezná kapalina je přiváděna do místa řezu pomocí děr v tělese vrtáku, které zaručují také vyplavování třísek [18].

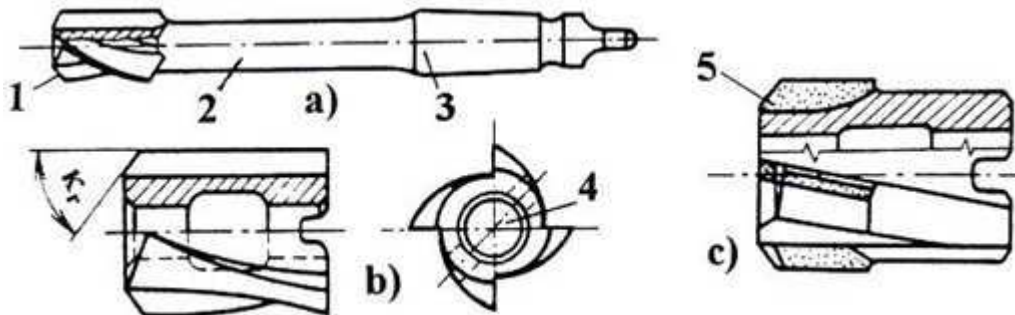


Obr.20 Odvod třísky při vrtání hlavňovým vrtákem [18]

Výhrubníky a výstružníky

Protože vrtání je hrubovací operace, má vyvrtaná díra většinou špatné geometrické parametry (velká tolerance jmenovitého průměru, špatná kruhovitost i válcovitost, případně i vychýlení osy z požadovaného směru) a vysokou drsnost obrobeneho povrchu. Při vyšších požadavcích na výslednou kvalitu vyrobené díry je proto třeba použít další obráběcí operace, a to vyhrubování a vystružování. Díry do průměru 10 mm se pouze vystružují, větší díry se vyhrubují a pak vystružují. Je tedy zřejmé, že vyhrubování nikdy není konečnou obráběcí operací a vždy po něm musí následovat vystružování [18].

- a) Výhrubníky - jsou vícebřité nástroje, obvykle mají 4 břity, u větších průměrů 5 i více břitů. Jsou vyráběny ve dvou konstrukčních provedeních - jako stopkové (Obr.21a, do jmenovitého průměru $D=32$ mm, kuželová stopka) a nástrčné (Obr.21b, Obr.21c, od jmenovitého průměru $D=24$ mm). Zuby jsou většinou frézované, v pravé šroubovici, nástrojovým materiálem je rychlořezná ocel. Stopkové výhrubníky mají tělo z kvalitní konstrukční oceli a z rychlořezné oceli je vyrobena pouze jejich řezná část. Oba typy výhrubníků mohou mít připájené břity ze slinutých karbidů (v tomto případě je celé tělo nástroje vyrobeno z konstrukční oceli) [18].



Pozn. Části: 1 = řezný kužel, 2 = tělo, 3 = upínací stopka, 4 = upínací díra, 5 = pájené břítové destičky ze slinutého karbidu

Obr.21 Výhrubníky: a) stopkový; b), c) nástrčné [18]

- b) Výstružníky - mají zuby přímé nebo ve šroubovici. Pracovní část se podobně jako u výhrubníků skládá z rezného kužele a válcové části. U výstružníků s přímými zuby se s výhodou používá nerovnoměrná rozteč zubů, která zabezpečuje dobrou kruhovitost díry a vysokou kvalitu jejího povrchu. Počet zubů výstružníku závisí na jeho průměru a pohybuje se v rozsahu od 4 do 18 [18].



Obr.22 Výstružník s kuželovou a válcovou stopkou [18]

Vyvrťovací nástroje

Vyvrťování je metoda obrábění, při níž se rozšiřují předlité, předkované, předlisované, předvrtané nebo jinými způsoby předpracované díry na požadovaný rozměr nebo tvar. Tato metoda se používá jak pro hrubování, tak pro práci na čisto. Při vyvrťování se obrábí vyvrťovacími noži upevněnými ve vyvrťovacích tyčích nebo hlavách. Obráběné rotační plochy mají geometrický tvar válce, kužele, čelního mezikruží nebo rotační tvarové plochy. Vyvrťováním lze též obrábět vnitřní zápichy a řezat vnitřní závity [18].

Nástrojem jsou vyvrťovací tyče nebo vyvrťovací hlavy, většinou umožňují vnitřní přívod chladicí kapaliny. Seřízení jejich rezné části se provádí pomocí číselníkových úchylkoměrů nebo na seřizovacích přístrojích.

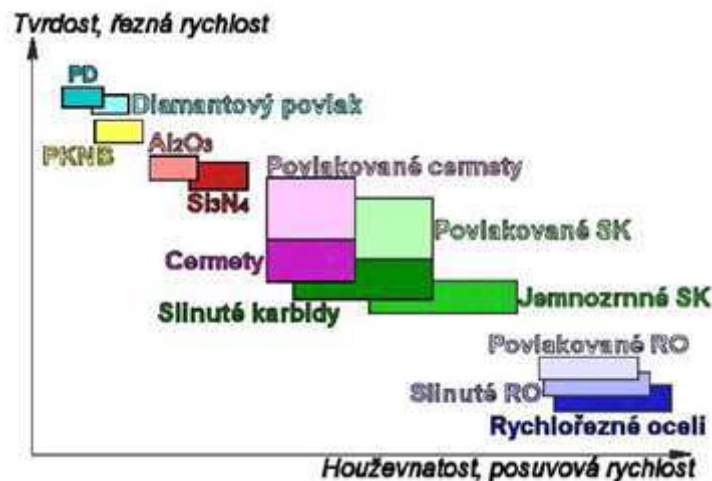


Obr.23 Vyvrťovací tyče firmy Kaiser [18]

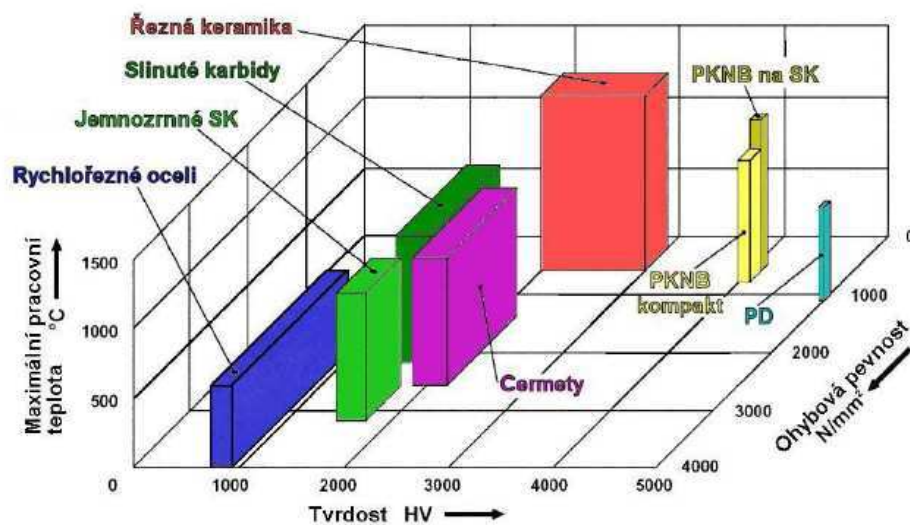


1.3.1 Nástrojové materiály

Současný poměrně široký sortiment materiálů pro řezné nástroje od nástrojových ocelí až po syntetický diamant je důsledkem celosvětového dlouholetého a intenzivního výzkumu a vývoje v dané oblasti. To souvisí také s rozvojem konstrukčních materiálů určených pro obrábění, s vývojem nových obráběcích strojů, zejména pak CNC strojů a obráběcích center. Na Obr.24 jsou schematicky uvedeny hlavní oblasti aplikace všech současných materiálů pro řezné nástroje, vyjádřené vztahem mezi základními řeznými podmínkami (řezná rychlost - posuvová rychlost), který odpovídá vztahu mezi jejich základními vlastnostmi (tvrdost - houževnatost). Obr.25 specifikuje konkrétní hodnoty vybraných vlastností řezných materiálů (tvrdost, ohybová pevnost, pracovní teplota) [6].



Obr.24 Oblasti použití řezných materiálů [6]



Obr.25 Hodnoty vybraných vlastností řezných materiálů [6]

Supertvrdé materiály (polykrystalický diamant - PD a polykrystalický kubický nitrid boru - PKNB) svými vlastnostmi, zvláště pak tvrdostí a ořezuvzdorností, výrazně převyšují dosud používané řezné nástroje ze slinutých karbidů a řezné keramiky. Z hlediska provedení břitové destičky existují dvě rozdílné varianty: a) monolitní destičky (celý objem destičky je tvořen supertvrkým materiálem), b) vrstevnaté destičky (na podložce z SK je přislinuta vrstva supertvrkého materiálu o max. tloušťce 0,5mm) [10]. Polykrystalický diamant se používá pro obrábění vláknově vyztužených kompozitů a zejména hliníkových slitin (se zvýšeným obsahem Si, v automobilovém průmyslu), kde lze aplikovat řezné rychlosti až do hodnoty 5000 m min⁻¹. Protože diamant je uhlík v kubické modifikaci, nesmí se pro svoji vysokou afinitu k železu používat pro obrábění ocelí ani litin. PKNB je obecně doporučován pro obrábění tvrdých, kalených materiálu, s tvrdostí minimálně 45 HRC [6].



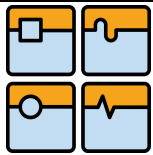
Obr.26, 27 Vrstevnaté destičky s přislinutou vrstvou ze supertvrkého materiálu [11]

Řezná keramika se z hlediska složení a použití rozděluje na 3 základní typy: a) keramika oxidová na bázi oxidu hlinitého Al_2O_3
b) keramika směsná na bázi Al_2O_3 a karbidu titanu TiC
c) keramika nitridová na bázi nitridu křemíku Si_3N_4

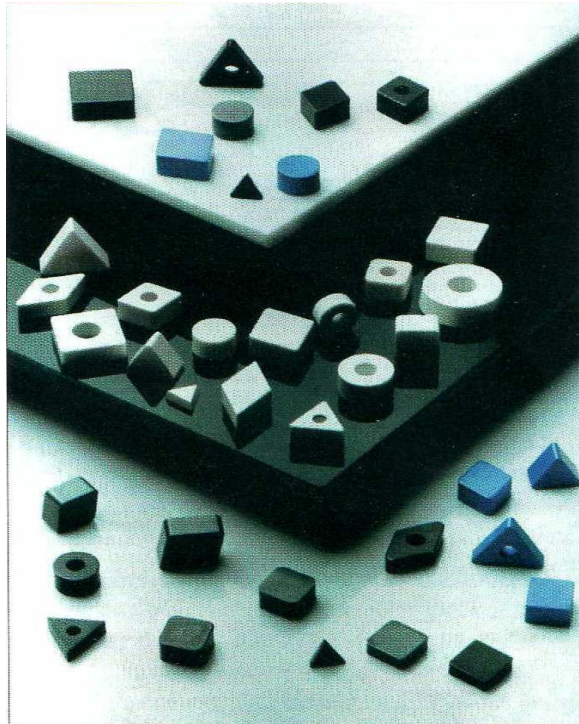
Oxidová keramika je tvořena velmi čistým jemnozrnným oxidem hlinitým s přidavkem velmi malého množství látek usnadňujících slinování a zabraňujících růstu zrn. Po slinování za teplot $\sim 1600^\circ C$ se destičky dokončují rozřezáváním a broušením diamantovými kotouči. Čistá oxidová keramika je méně houževnatá, a proto i méně odolná proti křehkému lomu. Tyto nepříjemné vlastnosti lze zlepšit přidáním až 20% oxidu zirkoničitého ZrO_2 [7].

Směsná keramika je tvořena směsí oxidu hlinitého a neoxidických materiálů TiC, TiN a dalších v průměrném obsahu přibližně 25 až 40%. Materiál má lepší tepelnou vodivost, odolnost proti tepelným rázům a vyšší pevnost v ohybu. Destičky mají charakteristickou černou barvu [7].

Nitridová keramika na bázi nitridu křemíku má vyšší lomovou houževnatost než keramika směsná, má výrazně vyšší tepelnou vodivost a nižší citlivost vůči tepelným rázům, její slinování je však obtížné [7].

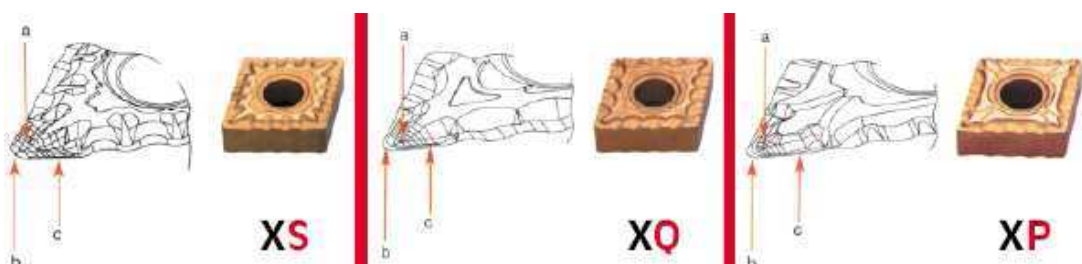


Oxidová keramika je užívána pro obrábění vysokou řeznou rychlostí a nízkou posuvovou rychlostí, protože má vysokou tvrdost za tepla a vysokou termochemickou stabilitu, ale nízkou houževnatost. Řezná keramika na bázi Si_3N_4 má vyšší houževnatost a vydrží vyšší posuvovou rychlost než keramika Al_2O_3 , ale její užití je omezeno na obrábění šedé litiny, protože při obrábění ocelí a tvárné litiny vykazuje rychlé opotřebení [6].



Obr.28 Břítové destičky z řezné keramiky turnovské firmy DIAS [7]

Cermety jsou materiály, které svými vlastnostmi leží mezi keramikou a slinutými karbidy. Jsou vysoce otěruvzdorné, stále při vyšších teplotách, mají vysokou odolnost proti opotřebení a dostatečnou houževnatost. Uplatňují se zejména při obrábění korozivzdorných ocelí. V současné době jsou vyvinuty povlakované i nepovlakované cermetové destičky, které jsou svým složením přesně určené pro jeden typ operace – např. TN100M je houževnatý cermet Kyocera na bázi TiCN-NbC s vysokou odolností proti tepelným rázům, určený pro frézování. [8]



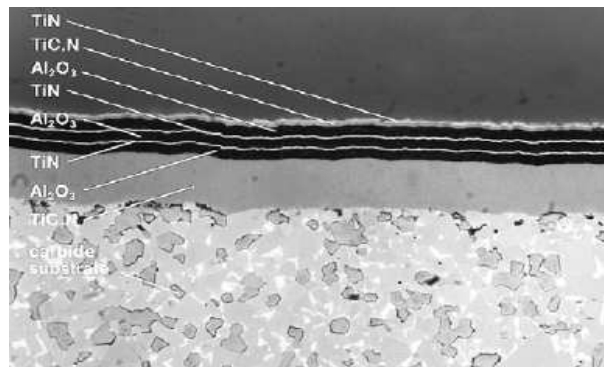
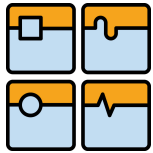
Obr.29 Cermetové břítové destičky firmy Kyocera [7]

Slinuté karbidy (SK) dnes tvoří největší část celkového objemu všech materiálů využívaných pro výrobu řezných nástrojů [9]. Jsou nejpevnějšími materiály mezi tvrdými nástrojovými materiály a mohou být použity pro obrábění vysokými posuvovými rychlostmi a pro těžké přerušované řezy. Nemohou být ale použity pro vysoké řezné rychlosti, zejména v důsledku své nízké termochemické stability [6].



Obr.30 Nástroje s destičkami ze slinutých karbidů [12]

Povlakované slinuté karbidy jsou složeny z pevného karbidového podkladu a termochemicky stabilního tvrdého povlaku (karbidy, nitridy, oxidy a jejich kombinace) [6]. Výsledkem je zvýšení výkonu obrábění využitím vyšší řezné rychlosti a posuvu, volených s ohledem na utváření třísek. Podstatou příznivého působení otěruvzdorných povlaků je především snížení tření mezi nástrojem a obrobkem, což vede ke snížení teploty v místě řezu, snížení velikosti řezných sil a tím také menšímu opotřebení nástroje. Dosáhneme tím také lepší jakosti povrchu a přesnosti rozměrů a tvaru obrobku. V současné době je používáno, zejména na vyměnitelných břitových destičkách, několik desítek povlaků a jejich kombinací, tvořených až 13 vrstvami. Většina předních výrobců slinutých karbidů nabízí několik druhů speciálních podkladových materiálů s vícevrstevnými povlaky. Jsou převážně doporučovány pro široký rozsah použití, avšak v poslední době i stále více pro určitou skupinu obráběných materiálů – např. hůře obrobitelných materiálů, litých a tvářených nerezavějících ocelí atd. [12].



Obr.31 Příklad vícevrstvého povlakování SK [6]

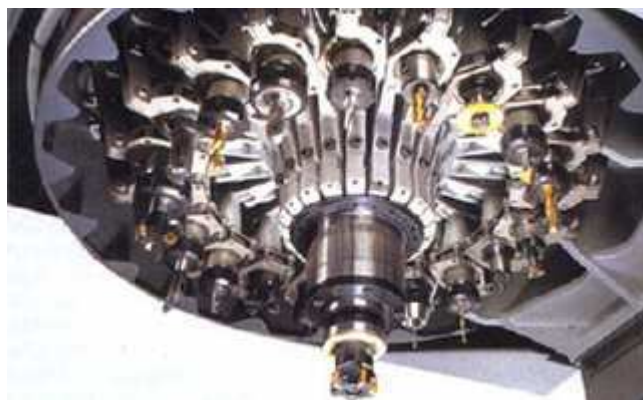
Rychlořezné oceli mají nejvyšší houževnatost, ale ve srovnání s ostatními materiály je jejich tvrdost poměrně nízká. Proto jsou z nich vyráběny nástroje určené pro obrábění nízkými řeznými rychlostmi a též tvarově složité nástroje, který nemohou být vyrobeny z ostatních řezných materiálů [6].



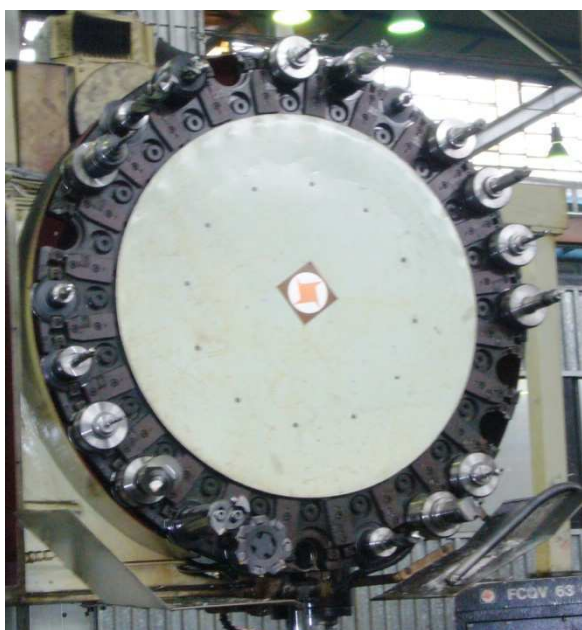
Obr.32 Nástroje z rychlořezné oceli [13]

1.3.2 Zásobníky nástrojů

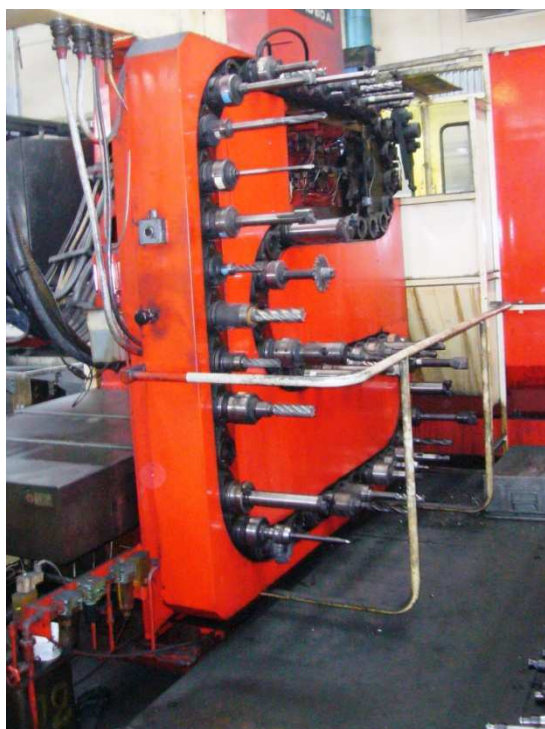
Všechny nástroje jsou na obráběcích centrech uloženy v zásobnících nástrojů (s kapacitou 15÷60, někdy i 100÷150 nástrojů), které mohou být umístěny na pracovním vřeteníku, na stojanu nebo stole stroje, případně i mimo stroj. Podle konstrukce lze zásobníky nástrojů dělit na revolverové, bubnové (Obr.34), deskové (Obr.33), řetězové (Obr.35) atd. Výměnu nástrojů zajišťuje speciální manipulační zařízení, které je schopno vyjmout nástroj z vřetena a uložit ho do zásobníku a dále vyjmout nový nástroj ze zásobníku a nasadit ho do vřetena stroje. Poloha nástroje v zásobníku, případně i vlastní nástroj, mají svoje identifikační kódy pro umožnění výběru a výměny nástroje podle řídicího programu obráběcího centra. Sled nástrojů a jejich seskupení v zásobníku může odpovídat technologickému postupu výroby konkrétní součásti (kódováno je místo v zásobníku) nebo může být libovolné (kódován je nástroj). Výhodou prvního způsobu jsou krátké časy výměny nástrojů a minimální pohyby zásobníku, nevýhodou nutnost výměny většiny nástrojů pro výrobu každé nové součásti. Relativní nevýhodou druhého způsobu jsou velké pohyby zásobníku při vyhledávání a výměně nástrojů. [6]



Obr.33 Deskový zásobník [6]



Obr.34 Bubnový zásobník



Obr.35 Řetězový zásobník

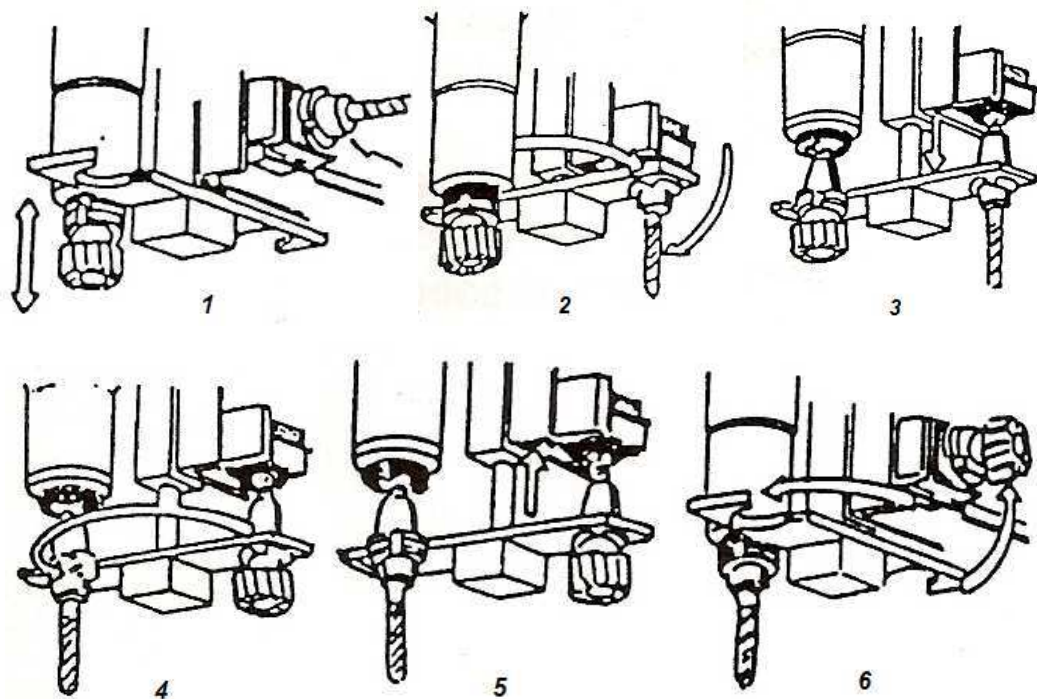
1.3.3 Výměna nástrojů

Pro výměnu nástrojů do vřetenových hlav je stroj vybaven zásobníky nástrojů, nejčastěji řetězovými, které bývají většinou umístěny na boku stroje. Vlastní výměnu pak obstarává manipulátor s napichovací rukou (Obr.37 a Obr.38), který pohybem po vedení realizuje manipulaci s nástroji mezi úložným lůžkem zásobníku a pracovním vřetenem.

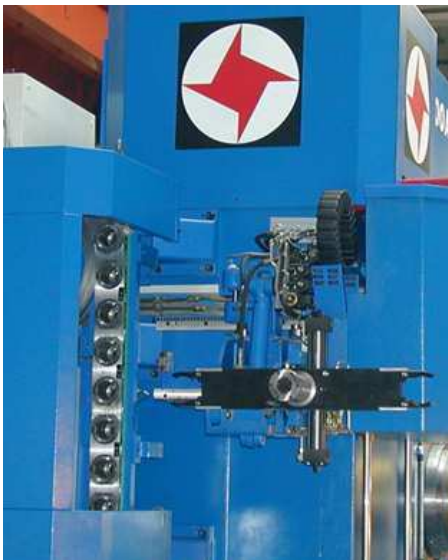


BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Postup výměny nástroje je takový, že na konci pracovní operace se hlavice vřetene zvedne k nastavitelnému výměníku nástrojů, kde byl mezitím dopraven do přípravného držáku nový nástroj. Po sklopení přípravného držáku do svislé polohy se otočí rameno výměníku o 90° a uchopí současně nástroj ve vřetení i nástroj v přípravném držáku. Rameno výměníku pak sjede dolů, otočí se o 180°, poté vyjede nahoru a současně vsadí nový nástroj do vřetena a použitý nástroj do přípravného držáku. Rameno výměníku se potom vrátí do klidové polohy, zároveň se vzpřímí přípravný držák a začíná další pracovní operace [15].



Obr.36 Postup výměny nástroje [15]

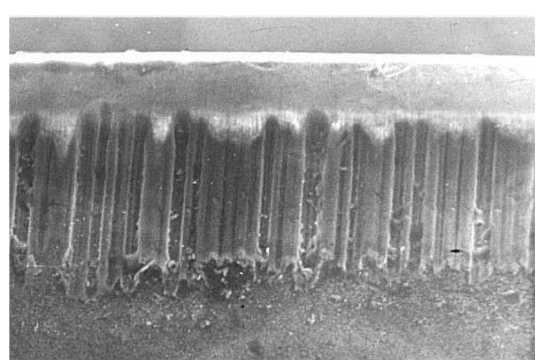


Obr.37, 38 Manipulátor s napichovací rukou

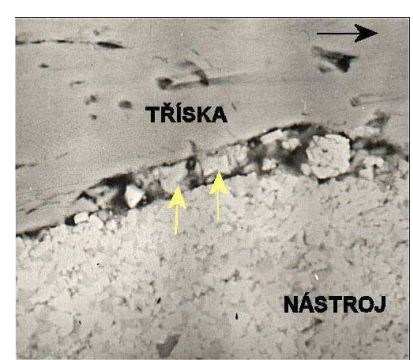
1.3.4 Opotřebení, trvanlivost a životnost nástroje

Opotřebení je běžným důsledkem funkce všech strojních součástí, které jsou ve vzájemném kontaktu a relativním pohybu. Při obrábění dochází v důsledku řezného procesu ke kontaktu nástroje s obrobkem (na hlavním a vedlejším hřbetě a špičce nástroje) a odcházející třískou (na čele nástroje), což musí nutně vést k opotřebení nástroje. Proces opotřebení nástroje je velmi složitý děj, který závisí na mnoha faktorech - fyzikální a zejména mechanické vlastnosti obráběného a nástrojového materiálu, druh operace, geometrie nástroje, pracovní podmínky, řezné prostředí atd. V průběhu tohoto procesu působí mnoho mechanismů opotřebení, k těm základním patří zejména [6]:

- abraze – brusný ořer vlivem tvrdých mikročástic obráběného materiálu i mikročástic uvolněných z nástroje
- adheze – vznik a okamžité následné porušování mikrosvarových spojů na stýkajících se vrcholcích nerovností čela a třísky
- difúze – migrace atomů z obráběného materiálu do nástrojového a naopak, a z ní vyplývající vytváření nežádoucích chemických sloučenin ve struktuře nástroje
- plastická deformace – důsledek vysokého tepelného a mechanického zatížení v čase
- křehký lom – důsledek cyklického mechanického zatížení (např. přerušovaný řez, vměstky v obráběném materiálu)



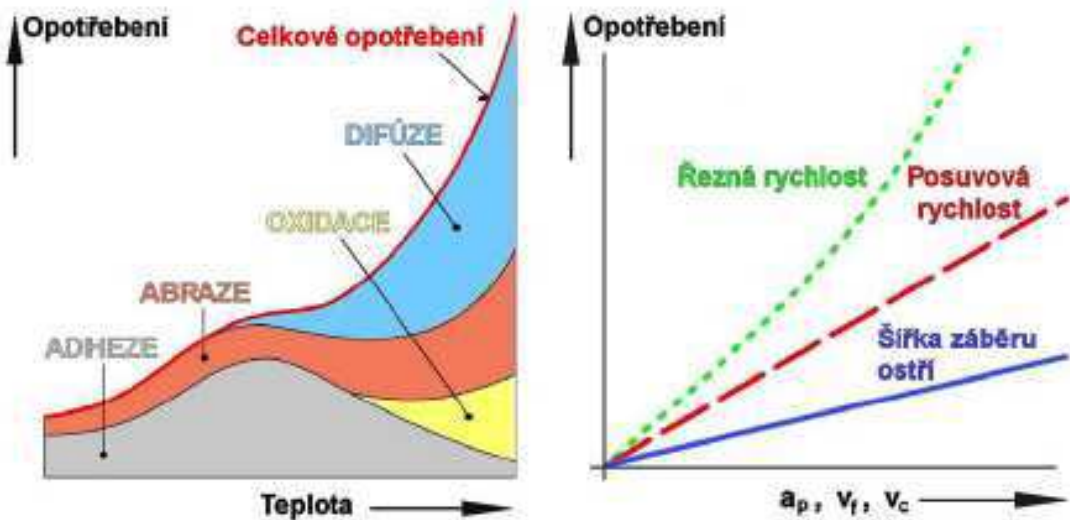
Obr.39 Abrasně opotřebený hřbet nástroje z řezné keramiky [6]



Obr.40 Adheze u nástroje ze slinutého karbidu [6]

Plynule působící základní mechanismy opotřebení mají různý podíl na celkovém opotřebení a tento podíl se mění s narůstající teplotou. Z řezných podmínek má na intenzitu celkového opotřebení největší vliv řezná rychlost v_c , menší vliv vykazuje posuvová rychlost v_f a nejmenší šířka záběru ostří a_p [6].

Vliv teploty a jednotlivých řezných podmínek na opotřebení nástroje jsou zahrnuty v grafech na Obr.41.



Obr.41 Vliv teploty a řezných podmínek na opotřebení nástroje [6]

Trvanlivost řezného nástroje lze definovat jako součet všech čistých časů řezání, od začátku obrábění, až po opotřebení břitu nástroje na předem stanovenou hodnotu vybraného kritéria. Kritérium opotřebení a jeho hodnota musí být stanoveny tak, aby vyráběný obrobek měl požadovaný tvar, rozměry a kvalitu povrchu a to po celou dobu trvanlivosti nástroje. Trvanlivost nástroje, podobně jako opotřebení nástroje, závisí zejména na metodě obrábění (soustružení, frézování, vrtání, atd.), vlastnostech obráběného a nástrojového materiálu a řezných podmínkách (řezná a posuvová rychlost, šířka záběru ostří, řezné prostředí). Z řezných podmínek má na trvanlivost nástroje největší vliv právě řezná rychlost [6].

Životnost nástroje je definována jako součet všech jeho trvanlivostí, nebo též jako celková doba funkce nástroje od prvního uvedení do činnosti až do jeho vyřazení. Nástroje, které lze ostřit jsou vyřazeny v případě, že byla odbroušena celá jejich funkční část, vyměnitelné břitové destičky v případě, že byly použity všechny jejich břity [6].

1.3.5 Kontrola nástrojů

Ačkoliv se to na první pohled nemusí zdát důležité, je rychlé a spolehlivé zjišťování poškozeného nástroje na obráběcích centrech nesmírně důležité. Poškozené nástroje mohou způsobovat vznik zmetků, nákladné opravy a zvýšení vedlejších obráběcích časů. Jedním ze způsobů detekce poškozeného nástroje je detekce pomocí kontaktního systému. Princip je takový, že nástroj se při kontrole dostane do kontaktu se spínacím dotekem sondy, ta vygeneruje spínací signál a zaznamená současný stav opotřebení daného nástroje. Jedná se o velmi běžný způsob, který je však pro nástroje menších rozměrů často nepoužitelný [27].



Obr.42 Měření pomocí dotykové sondy [28]

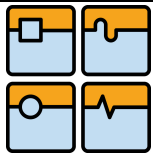
Daleko modernějším a rozvinutějším způsobem zjišťování poškození nástroje je detekce bezkontaktním systémem pomocí laserového paprsku procházejícího mezi vysílačem a přijímačem. Systém může být umístěn na pracovním stole stroje nebo po jeho stranách, takže paprsek prochází pracovním prostorem. Průchod nástroje paprskem vyvolá určitý pokles intenzity světla v přijímači, jenž pak vygeneruje spínací signál, pomocí kterého se stanoví současný stav opotřebení nástroje. V závislosti na typu nástroje je snímán jeden či více bodů [27].



Obr.43 Bezkontaktní systém pro detekci poškozeného nástroje [27]

1.3.6 Měření a seřizování nástrojů

Zvýšení produktivity a kvality, snížení výdajů na nástroje a prodloužení jejich životnosti, minimalizace počtu vadných výrobků a vedlejších výrobních časů na minimum – to jsou hlavní důvody použití měřicího a seřizovacího přístroje [25].



Velmi efektivním způsobem je mít nástroj seřízený ještě před tím, než se vloží do zásobníku stroje. Laserové sondy jsou sice dnes již běžnou výbavou obráběcích strojů, ale při seřizování ve stroji má obráběcí centrum vedlejší neproduktivní časy, které nejsou žádoucí. Zjištění korekčních hodnot nástroje se tedy provádí většinou na seřizovacím přístroji mimo obráběcí stroj [26].

Jedním ze způsobů měření a seřizování nástroje je optickou metodou prostřednictvím profil projektoru a obsluhujícího pracovníka. Tato metoda je však značně nespolehlivá, neboť díky chybám obsluhy se dá realizovat pouze v určité přesnosti. Mnohem spolehlivější metodou je seřizování přes elektronické ukazatele, čímž se minimalizuje chyba obsluhy a dosahovaná přesnost je až 0,002mm. Přístroje využívají zcela automatizovanou technologii zpracování obrazu, díky níž jsou během několika sekund pomocí počítače vyhodnoceny základní údaje nástroje – délka, průměr, poloměr špičky, úhly břítu apod. Systém dále umožňuje další důležité programy měření, jako například měření házivosti, kontrolu opotřebení či nulového bodu nástroje, což umožňuje zabránit možné kolizi stroje [26].



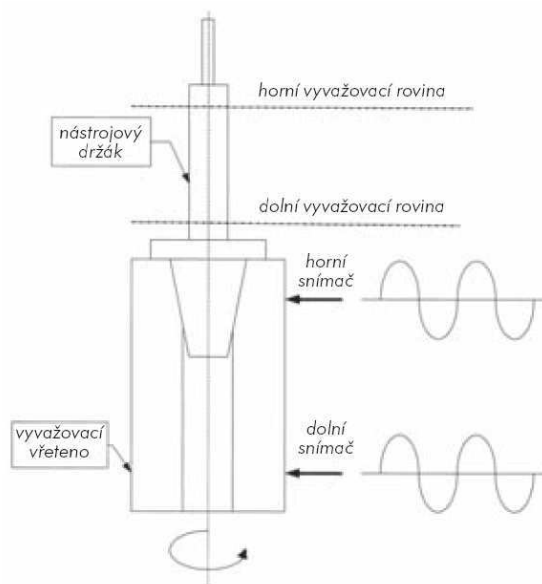
Obr.44, 45 Měření a seřizování nástrojů [26]

Především u vysokootáčkových obráběcích strojů je velmi důležitým faktorem seřízení nástroje také jeho vyvážení, které musí být velmi přesné, jinak trpí ložiska a zřetelně se snižuje i životnost nástrojů i vřetena stroje. Příčin nevyváženosti je mnoho – například nevyváženost vyplývající z nesymetrických prvků, jako je třeba boční upínací šroub na nástrojovém držáku, dále vliv výrobní tolerance či obvodové házení vnějšího průměru držáku. Různé příčiny vedou k různým druhům nevyváženosti, které mohou být odstraněny statickým nebo dynamickým vyvažováním v jedné či dvou rovinách, přičemž vyvažování ve dvou rovinách má smysl především u dlouhých nesymetrických nástrojů [29].

Vyvažování nástrojů se provádí na vyvažovacím přístroji horizontálního nebo vertikálního typu. Princip horizontálního vyvažování je takový, že vyvažovaný díl je poháněn jako rotor a je uložen ve dvou ložiskových opěrách. Snímače měří odstředivé síly v místě obou opěr, přičemž nevyváženost rotoru může být pomocí měřicího softwaru velmi přesně korigována. Horizontální vyvažovací přístroje jsou velmi běžné, protože jejich použití je velmi jednoduché. Přesnější je však vyvažování vertikální, u kterého je nástrojový držák upnut přímo do kuželu ve vyvažovacím vřetenu. Tento způsob vyvažování kompenzuje také odchylku v upnutí nástroje [29].



Obr.46 Vyvažovací přístroj Haimer Tool Dynamic [29]

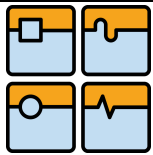


Obr.47 Princip vertikálního vyvažování [29]

1.3.7 Chlazení nástrojů

Prostředí v zóně řezání má významný vliv na kvantitativní, kvalitativní a ekonomické parametry řezného procesu. Řezné prostředí je vytvářeno řeznými médii - řeznými (procesními) pastami, kapalinami, plyny a mlhami. Všechna tato média jsou vyrobena a užívána tak, aby měla především chladicí, mazací a čistící účinek. K dalším důležitým specifickým požadavkům kladeným na řezná média lze zařadit provozní stálost, ochranný účinek, zdravotní nezávadnost a přiměřené provozní náklady [6].

Chladicí účinek je v podstatě schopnost řezného média odvádět teplo z místa řezu. Odvod tepla vzniklého při obrábění se uskutečňuje tím, že řezné médium obklopuje nástroj, třísky i obrobek a přejímá část vzniklého tepla. Důsledkem chladicího účinku je snížení teploty řezání, což má příznivý vliv na opotřebení a trvanlivost nástroje i na jakost povrchové vrstvy obrobene plochy. Chladicí účinek řezného média závisí na jeho smáčecí schopnosti, na výparném teple, rychlosti vypařování za určitých teplot, tepelné vodivosti a dalších faktorech [6].



Mazací účinek je schopnost řezného média vytvářet na povrchu obrobku a řezného nástroje vrstvu, která brání přímému styku kovových povrchů a snižuje tření mezi nástrojem a obrobkem. Lepší mazací účinek znamená zmenšení řezných sil, zmenšení spotřeby energie a také zlepšení jakosti obrobeného povrchu. Mazací schopnost řezného média je závislá na viskozitě řezného média. Negativním důsledkem jeho vyšší viskozity je omezení průniku média mezi třecí plochy, zhoršení jeho proudění a snížení odvodu tepla [6].

Čisticí účinek řezného média spočívá zejména v odstraňování třísek z místa řezu. Je významný zejména při broušení, kdy se v důsledku vyplavování zanesených pórů a zabránění slepování částic třísky zlepšuje řezivost kotouče. Čisticí účinek je důležitý také při řezání závitů nebo vrtání hlubokých děr [6].

Provozní stálost řezného média je faktor, jehož měřítkem je doba jeho výměny. Dlouhá doba mezi jednotlivými výměnami média je podmíněna tím, aby se jeho vlastnosti po celou tuto dobu neměnily. Stárnutí řezného média olejového typu se projevuje tvořením pryskyřičnatých usazenin, které mohou způsobit i poruchu stroje. Nepříznivě ovlivňuje také funkční vlastnosti média, především jeho mazací účinek a ochranné schopnosti [6].

Ochranný účinek řezného média se projevuje tím, že nenapadá kovy a nezpůsobuje korozi. Pro zvýšení antikorozičního účinku jsou do řezného média přidávány pasivační přísady. Dalším důležitým požadavkem je, aby řezné médium nerozpouštělo nátěry obráběcích strojů a nebylo agresivní vůči gumovým a pryžovým těsněním [6].

Kromě všech uvedených faktorů nesmíme opomenout ani zdravotní nezávadnost řezného média, protože při práci na obráběcích strojích s ním obsluhující pracovník přichází do přímého styku. Důležitým faktorem je samozřejmě také ekonomické hledisko, které souvisí především se spotřebou řezného média [6].

Řezné kapaliny lze členit na kapaliny s převažujícím chladicím účinkem a kapaliny s převažujícím mazacím účinkem. Toto rozdělení však přesně nevystihuje sortiment kapalin, které jsou v současné době na trhu. Stále více se totiž projevuje snaha zvyšovat mazací účinky i u řezných kapalin s převažujícím chladicím účinkem. Všechny moderní druhy řezných kapalin tento požadavek plní, čímž je prakticky rozdíl mezi oběma skupinami stírán [6].

Jak lze vidět již v kapitole 1.1 na Obr.10, řeznou kapalinu lze do místa řezu přivádět různými způsoby, což však má velký vliv na parametry řezného procesu, především na trvanlivost bříty nástroje a na jakost obrobené plochy.

- a) Standardní chlazení – tento způsob přívodu řezné kapaliny nevyžaduje žádnou úpravu přívodního potrubí a vystačí se standardním zařízením, dodávaným výrobcem obráběcího stroje. Toto zařízení je tvořeno nádrží na řeznou kapalinu, čerpadlem a rozvodovým potrubím. Množství dodávané řezné kapaliny je dáno typem čerpadla a škracením průtoku výstupním kohoutem [6].
- b) Vysokotlaké chlazení – teplota v místě řezu dosahuje přibližně 600 až 800°C, při takto vysoké teplotě se každá běžná chladicí kapalina začne rychle měnit v páru, která začne bránit přísunu nové kapaliny. Kromě dalšího nárůstu teploty také prudce klesá mazací účinek kapaliny, čímž se zvětšuje opotřebení nástroje a také se zhoršuje jakost obrobenej plochy. Řešením těchto problémů je správně aplikované vysokotlaké chlazení [16].

Řezná kapalina je přiváděna pod vysokým tlakem přímo do místa řezu. Tento způsob chlazení je vhodný tam, kde vzniklé teplo má prokazatelný nepříznivý vliv na trvanlivost nástroje. Nedostatkem tohoto způsobu chlazení je, že se řezná kapalina rozstříkuje a tvoří mlhu, proto je třeba pracovní prostor stroje uzavřít, aby se zabránilo znečištění pracovního prostředí [6].

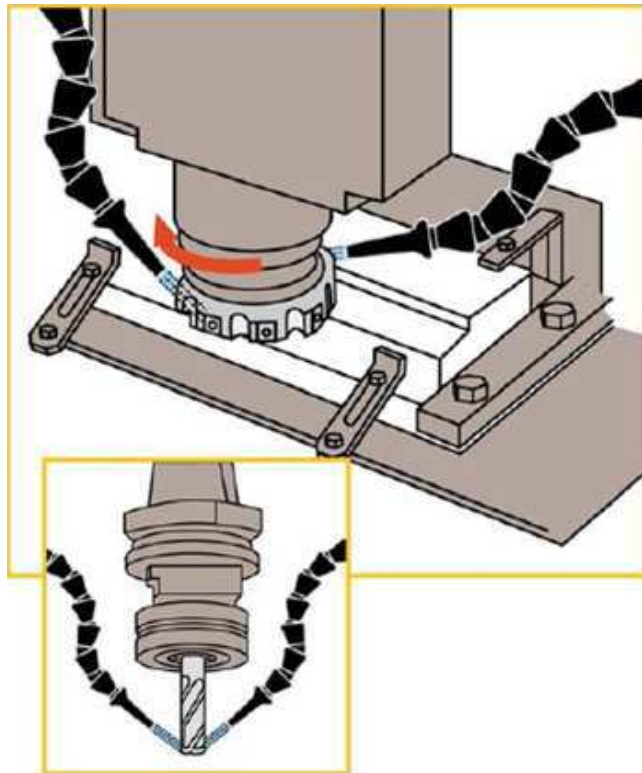


Obr.48, 49 Příklady aplikace vysokotlakého chlazení u nástrojů [16]

- c) Chlazení řeznou mlhou – zde je řezná kapalina rozptýlena tlakem vzduchu vytékajícího z trysky velmi vysokou rychlostí (až $300\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$) přímo na řeznou část nástroje. Velmi dobrého odvodu tepla z místa řezu dosáhneme tím, že rozpínající se vzduch obsahuje částičky řezné kapaliny, a má tak větší schopnost přejímat vzniklé teplo [6].

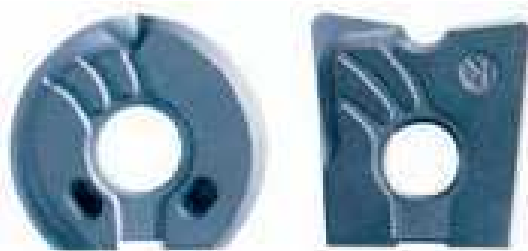


BAKALÁŘSKÁ PRÁCE



Obr.50 Chlazení mlhou při frézování [3]

- d) Vnitřní chlazení – tento způsob chlazení umožňuje zvýšení řezné rychlosti a tím se výrazně zvýší produktivita obrábění. Vnitřní přívod chladicí kapaliny je vhodný pro nástroje s vyměnitelnými břitovými destičkami, kde se kapalina do místa řezu přivádí prostřednictvím drážek na těchto destičkách (Obr.51).



Obr.51 Drážky u VBD pro vnitřní chlazení [17]



Obr.52 Vnitřní chlazení přes drážky břitových destiček [17]

U vrtáků a často i u fréz je vnitřní chlazení upraveno tak, že řezná kapalina je přiváděna centrálními otvory v tělese nástroje až do místa řezu. Mimo vrtáků s vyměnitelnými břitovými destičkami je vnitřní chlazení používáno i u klasických šroubových vrtáků vyrobených z monolitních slinutých karbidů i rychlořezné oceli. Zvýšení tlaku řezné kapaliny přiváděné do místa řezu vede ke zvýšení výkonu obrábění a také k lepšímu odvodu třísek [6].

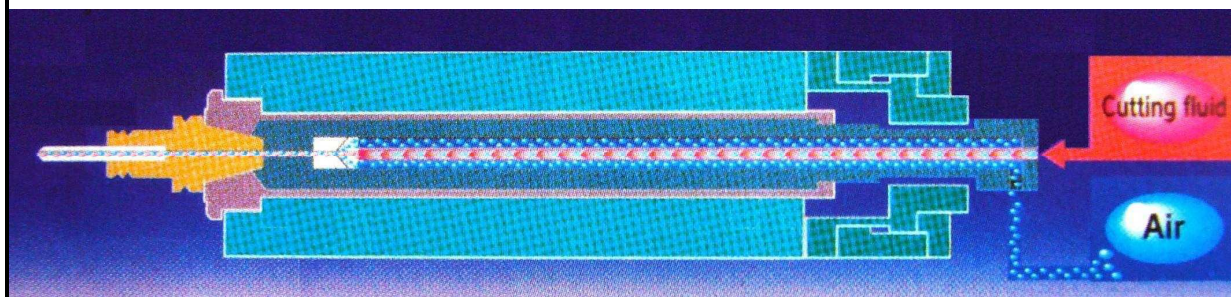


Obr.53 Fréza firmy Stellram s vnitřním chlazením [6]



Obr.54 Vrták firmy Sandvik - Coromant s vnitřním přívodem chladicí kapaliny [6]

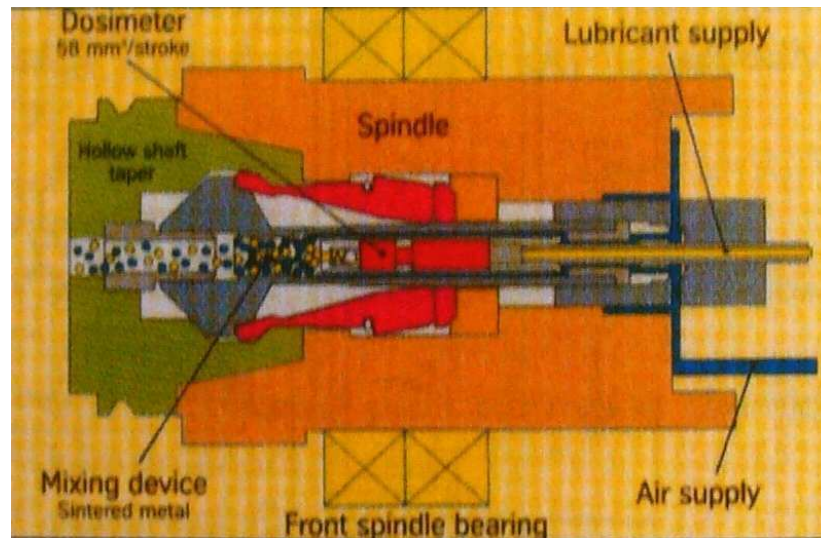
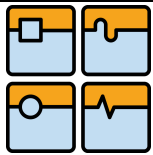
Protože je řezná kapalina do místa řezu přiváděna středem vřetena, musí tomu být přizpůsobena také konstrukce stroje – viz Obr.55.



Pozn.: Cutting fluid = řezná kapalina
Air = vzduch

Obr.55 Schéma vnitřního přívodu chladicí kapaliny [1]

- e) Suché obrábění (tzv. MQL systém) – tímto způsobem výrazně šetříme okolí stroje. Řezná kapalina je zde dopravena pomocí stlačeného vzduchu do dutiny stopky nástroje, kde dojde ke smíšení. Tento způsob obrábění souvisí s vývojem nových řezných materiálů, které jsou schopny výkonně a efektivně obrábět i bez použití chlazení. Využívá se především u vysokorychlostního obrábění [1].



Obr.56 Smíchání řezné kapaliny a vzduchu [1]

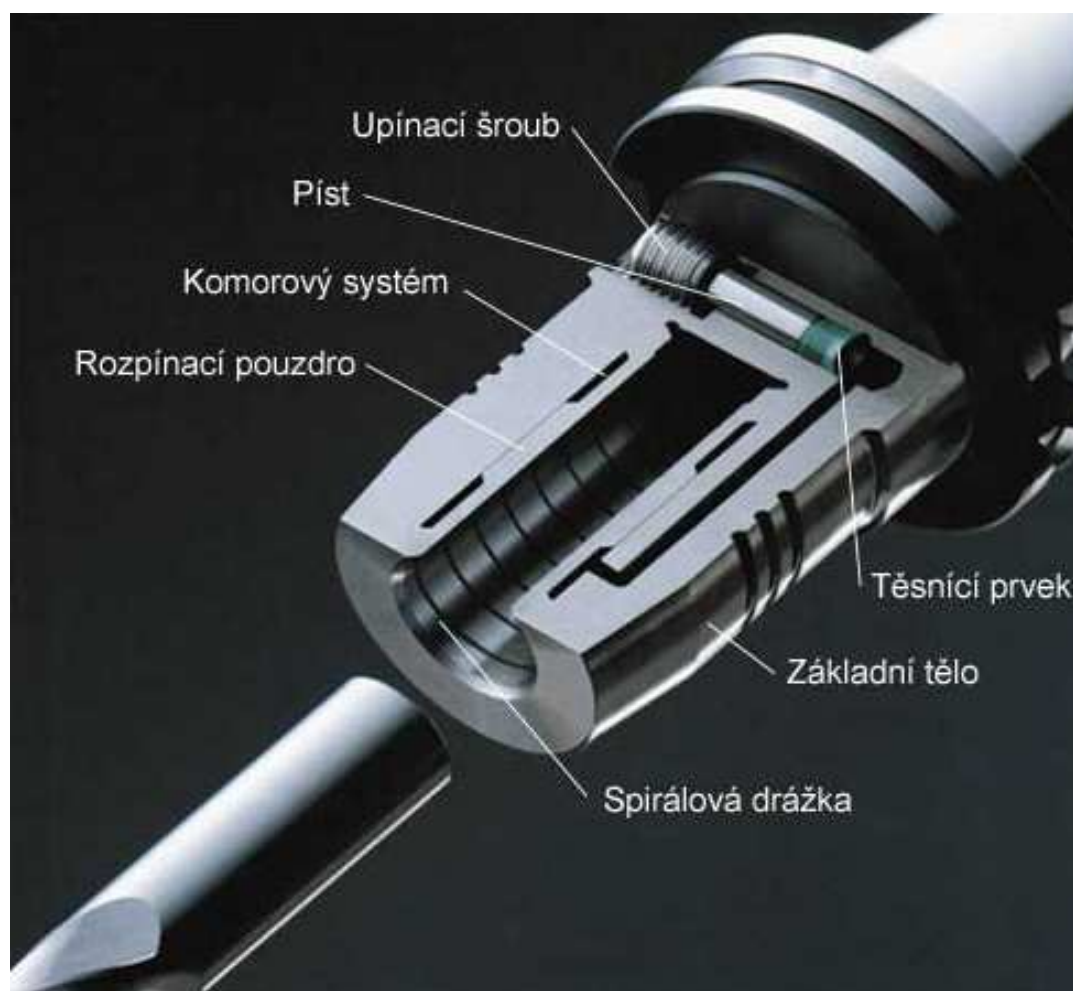
- Pozn.: Lubricant supply = zásobník řezné kapaliny
Air supply = zásobník stlačeného vzduchu
Spindle = vřeteno
Front spindle bearing = ložiska čelní části vřetena
Mixing device = směšovací zařízení
Dosimetr = dozimetr (zařízení sloužící k měření dávek)

1.3.8 Moderní způsoby upínání stopkových nástrojů

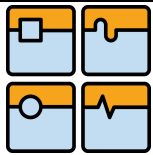
Přestože je cena upínače minimální vzhledem k ceně kompletního obráběcího stroje, jsou upínače důležitým a rozhodujícím spojujícím členem mezi vřetenem a nástrojem. Výběr správného upínače výrazně ovlivní budoucí výsledky celého obráběcího procesu. Nejdůležitějšími požadavky na upínač jsou především dostatečná upínací síla i při vysokých otáčkách, přesnost upnutí nástroje (má velký vliv na obvodové házení) a také hodnota vyvážení upínače. Kromě toho mohou upínače plnit i ochrannou funkci například tím, že svojí konstrukcí dokážou tlumit vibrace vznikající při obráběcím procesu, a tak nejen chrání vřeteno stroje, ale tím také prodlužují životnost nástroje a ve výsledku snižují náklady na celý obráběcí proces. Vliv tlumení vibrací ve spojení s přesným upnutím je názorně vidět na následujícím grafu, který znázorňuje trvanlivost nástroje (při daných řezných parametrech) v závislosti na použitém upínači. 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 [19].

Moderními systémy upínání jsou hydraulické upínače, polygonální upínače a upínače tepelné. Jedním z největších specialistů v tomto oboru je firma Schunk, na jejíž produkty bych se zde zaměřil.

Hydraulické upínače Tendo využívají zcela jiného principu upnutí nástroje než konvenční upínače. Rozpínací pouzdro je samostatná část, která je vložena do základního těla a zavařena, čímž vznikne komorový systém, který je přes odvzdušňovací otvor naplněn kapalinou, odvzdušněn, uzavřen a zajištěn proti manipulaci. Upínání nástroje je realizováno utahováním upínacího šroubu, což následně vyvodí pohyb pístu s těsnicím prvkem a zvyšuje tím tlak kapaliny v komorovém systému. Tím dojde k deformaci rozpínacího pouzdra a upnutí vložené stopky nástroje. Upínací tlak vytěsňuje olej ze stopky nástroje do spirálové drážky, čímž je zaručeno, že upínací plochy nástroje zůstanou prakticky suché, a garantují tak přenos vysokého krouticího momentu. Výhodou těchto upínačů je velmi přesné a tuhé upnutí, vysoká schopnost tlumení vibrací, odolnost vůči vnějším znečišťujícím látkám a také flexibilita upínaných průměrů díky redukčním pouzdrům [19].

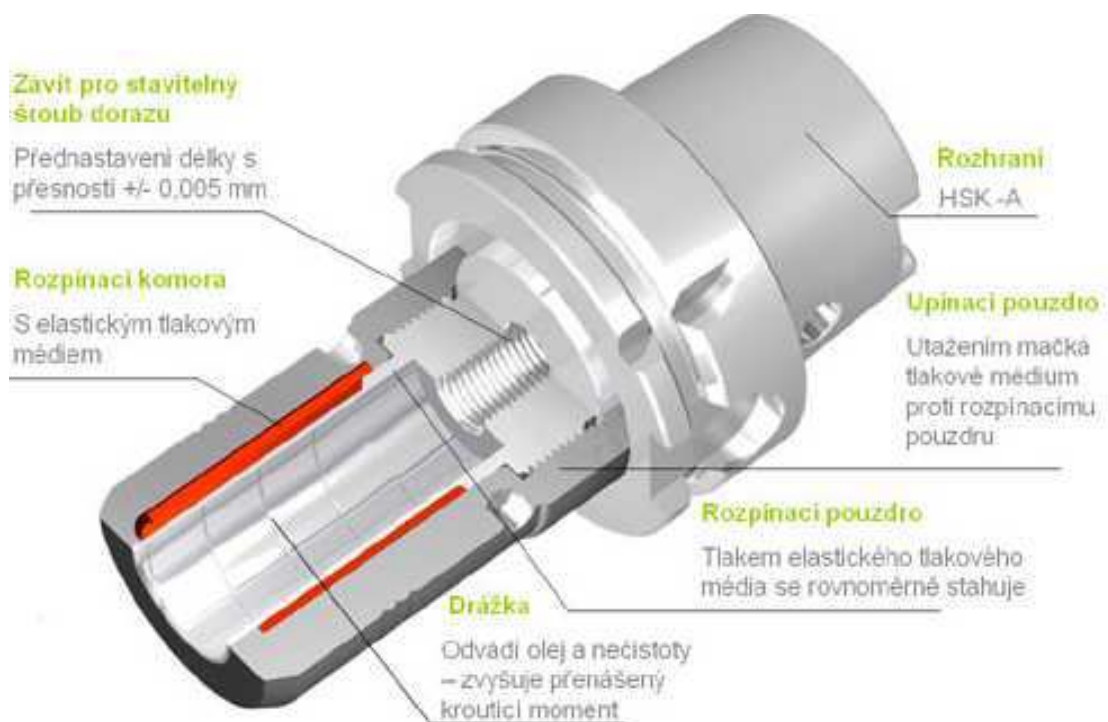


Obr.57 Schéma hydraulického upínače Tendo [20]



Univerzální upínače Sino pracují na podobném principu jako upínače hydraulické, avšak kapalné médium je nahrazeno pevnými plastovými deformačními segmenty. Tlak, který vzniká axiálním dotahováním upínacího pouzdra prostřednictvím klíče, se přes elastické tlakové médium přenáší na rozpínací pouzdro. To se pak rovnoměrně stahuje k ose otáčení celého upínače, a tím upíná nástroj. Tyto systémy mají velmi dobrou schopnost tlumení vibrací, zaručují vysokou přesnost upnutí a minimální obvodové házení. Sortiment redukčních pouzder opět zaručuje flexibilitu upínaných průměrů nástrojů [21].

Tento systém byl speciálně vyvinut jako náhrada klasických mechanických upínačů typu Weldon, které jsou velmi rozšířené v oblasti upínání frézovacích nástrojů. Avšak oproti těmto běžným upínačům zaručují především vysokou radiální tuhost při velmi dobrém tlumení vibrací, což jsou dvě vlastnosti, které lze u klasického mechanického upínače považovat za nekompatibilní [19].

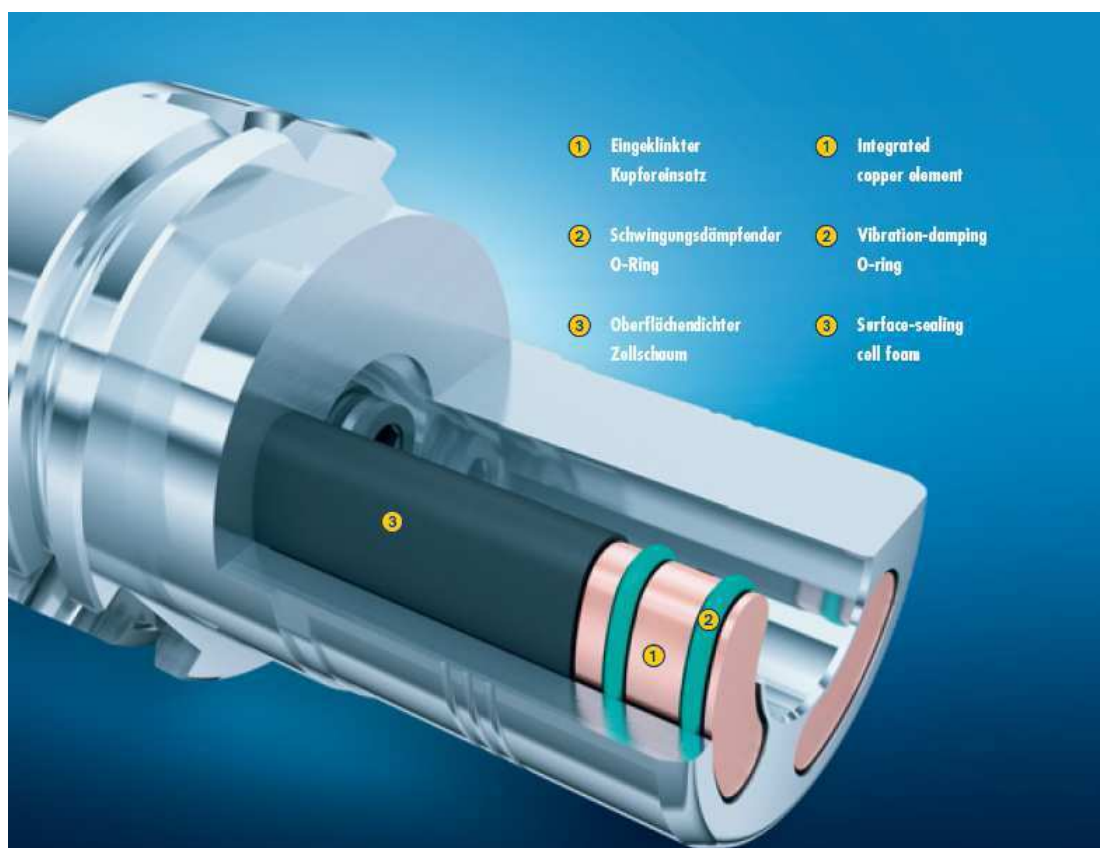


Obr.58 Schéma univerzálního upínače Sino [21]



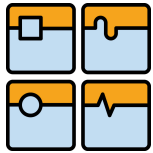
Polygonální upínače Tribos poskytují vysoce flexibilní upínací techniku pro stopkové nástroje. Princip polygonálního upínání patří k těm vysoce sofistikovaným principům, které jsou však překvapivě jednoduché. Na Obr.60-1 je v řezu schematicky znázorněn normální stav upínače, jehož upínací dutina má tvar podobný zaoblenému trojúhelníku. Upínání nástroje se provádí pomocí hydraulického zařízení. Princip je takový, že síla působí pouze ve 3 bodech (ve vrcholech trojúhelníku) a důsledkem tohoto silového působení dostane upínací dutina válcový tvar (Obr.60-2). Vlastní deformace upínače se děje pouze v oblasti pružné deformace, postup je tedy možno opakovat bez omezení počtu cyklů. Po provedení tohoto kroku je již možné vložit stopku nástroje do upínací dutiny (Obr.60-3). Uvolněním vnější síly z hydraulického zařízení se pak upínací dutina snaží vrátit zpět do původního tvaru, a upne tak stopku nástroje (Obr.60-4) [19].

Upínače Tribos existují ve dvou provedeních. Tribos-S je štíhlá verze s minimálním upínacím průměrem nástroje 0,3mm. Tribos-R je robustní verze, která poskytuje větší radiální tuhost a výborné tlumení vibrací. Obě verze mohou být použity v kombinaci s prodloužením nástrojů [19].

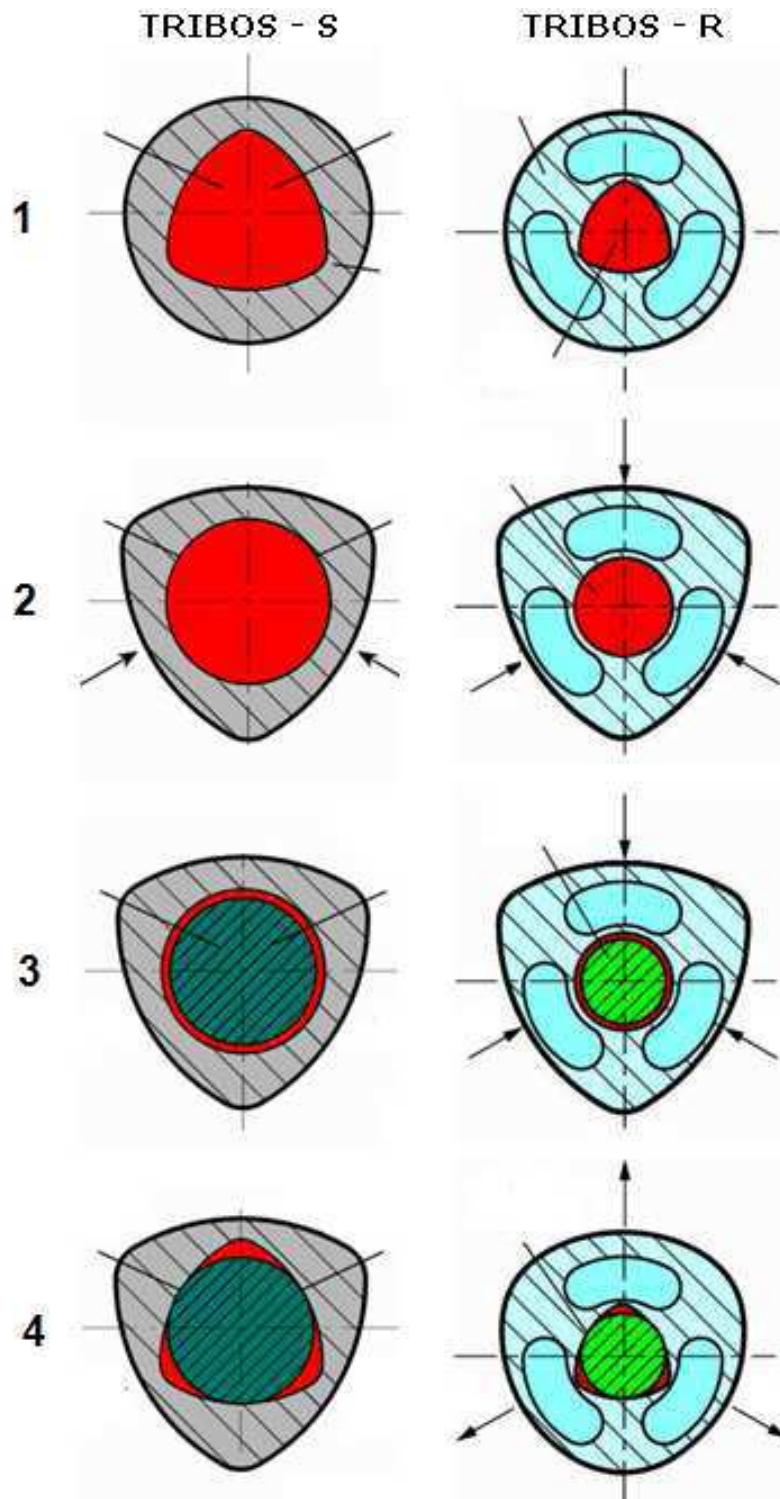


Pozn.: 1 = integrovaná měděná část,
2 = těsnicí kroužek tlumící chvění,
3 = ochranná povrchová pěna

Obr.59 Schéma polygonálního upínače Tribos [22]

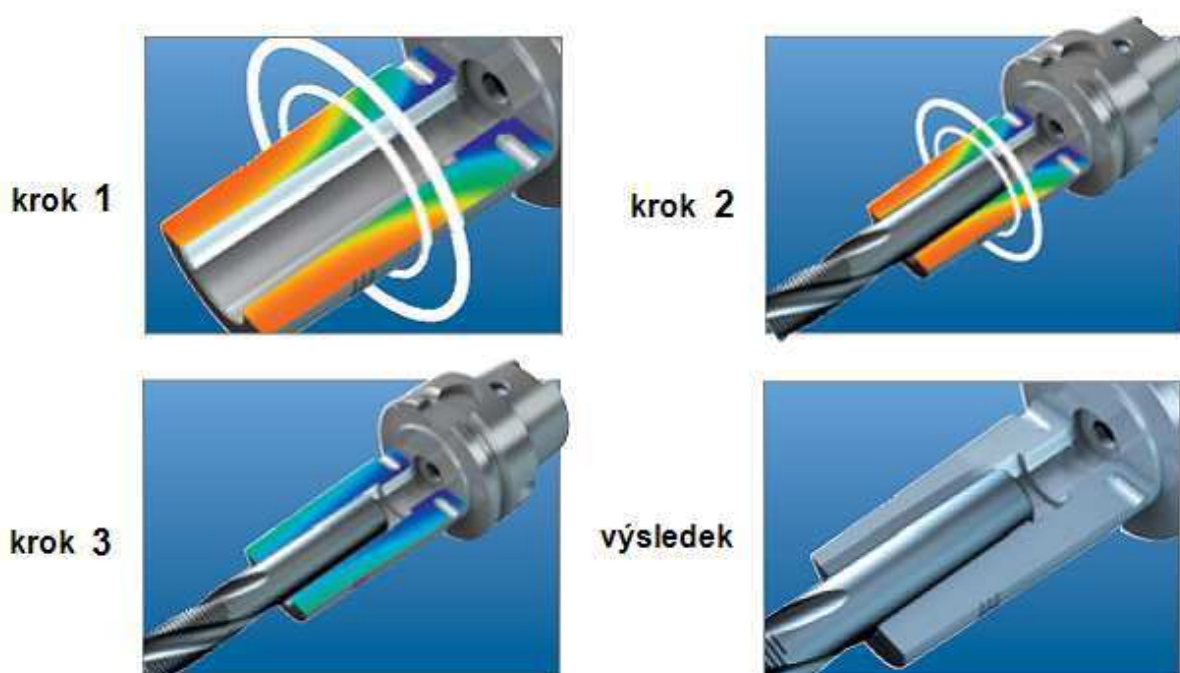


BAKALÁŘSKÁ PRÁCE



Obr.60 Princip polygonálního upínače Tribos [23]

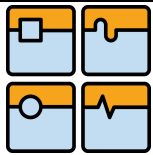
Tepelné upínače Celsio jsou upínače, které využívají princip tepelné roztažnosti kovů při vysokých teplotách. Upínač se ohřívá pomocí vysokofrekvenční indukční cívky, prostřednictvím které se velmi rychle ohřeje přesně na místě, kde se nástroj upíná. Upínací otvor tak zvětší svůj průměr (Obr.61-krok 1). Poté vložíme stopku nástroje do upínací dutiny (Obr.61-krok 2). Po vsunutí nástroje je upínač nutné ochladit pomocí chladicího systému. Průměr upínacího otvoru se tak vrátí na svou původní hodnotu a dojde k upnutí nástroje (Obr.61-krok 3). Výsledkem tohoto procesu je téměř homogenní nástroj s vysokou přesností upnutí zaručující přenos vysokého krouticího momentu [24].



Obr.61 Princip tepelného upínače Celsio [24]



Obr.62 Tepelné upínače Celsio [30]



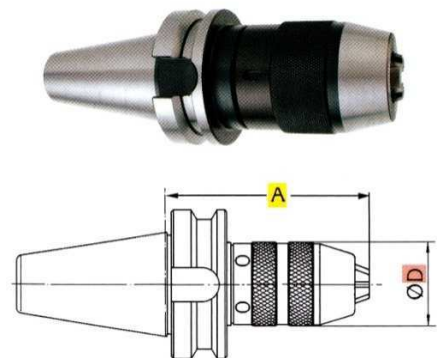
2 NÁSTROJOVÉ SOUSTAVY PRO VRTACÍ OPERACE

Na Obr.68 je uvedena ukázka schématu skladby nástrojů pro oblast operací vrtacích. Skladba vychází opět z normalizované dutiny vřetena stroje. Dutina je též uzpůsobena pro vložení stavěcích matic, které slouží pro axiální nastavení nástroje ve vřetení, pro upnutí vložky pomocí rychlovýměnného zařízení nebo upnutí pomocí stavěcího šroubu, dále vložky provedení Morse pro upnutí nástrojů s kuželovou stopkou a vložky pro upnutí nástrojů s válcovou stopkou. Zde je též možné použít pouzdra se stavitelnou stopkou [3].

Nejpoužívanější způsob upnutí vrtacích nástrojů je upnutí do vrtacího pouzdra, které se následně upne do nástrojového držáku. Pouzdra existují buď klasická, jejichž sklíčidlo ozubený věnec, se kterým spoluzabírá klíč, jehož prostřednictvím je vrták utažen (Obr.63). Dalším druhem jsou pouzdra s bezklíčovým sklíčidlem – tzv. rychloupínací pouzdra (Obr.64), avšak ta jsou určena pouze pro jeden smysl otáčení vřetena (většinou pravý), protože při opačných otáčkách vřetena by se vrták mohl uvolnit a následně vypadnout. Dalším častým způsobem je upínání přímo do upínacího držáku nebo do redukce a ta pak následně do nástrojového držáku. Toho využíváme při upínání vrtáku s kuželovou stopkou. Moderním způsobem upínání jsou také i speciální způsoby upínání jako například tepelné nebo hydraulické – viz kapitola **1.3.8**.



Obr.63 Sklíčidlo s ozubeným věncem včetně upínacího klíče [4]



Obr.64 Rychloupínací sklíčidlo [4]

Také upínání do vlastního nástrojového držáku se provádí odlišným způsobem než u nástrojů frézovacích. Držák má kuželovou dutinu a na kuželové stopce má vyrobenou drážku (Obr.65), která se využívá při demontáži, kdy se upnutý prvek ručně vyrazí klínem. V kuželové dutině může být upnut již přímo vlastní nástroj, který má kuželovou stopku, a nebo další část (např. redukce). Tento způsob upínání se realizuje z toho důvodu, že vrtací nástroj provádí při obrábění pouze lineární pohyb a kuželová stopka je tak stále více vtačována do kuželové dutiny držáku, takže nehrozí její vypadnutí.

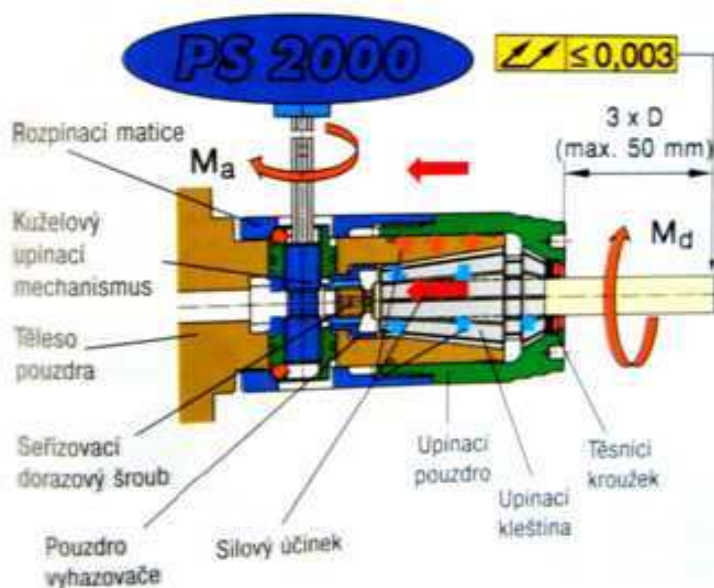


Obr.65 Kuželová stopka s drážkou [4]

Velmi častým prodlužovacím muzikusem používaným u vrtacích a především pak u frézovacích nástrojových soustav jsou kleštiny, které se používají jako průměrová redukce nástroje s válcovou stopkou. Kleštiny se používají v kombinaci s kleštinovým pouzdem nebo naleznou také uplatnění tehdy, kdy se rozhodneme místo upínacího sklíčidla použít stavitelné vložky, které slouží především k délkové redukci nástroje. Průchozí otvory v těchto součástech jsou upraveny tak, aby bylo možné stopky nástrojů zasunout co nejdále do upínače. Nástroje je tak možné upínat s optimální délkou vyložení. Kleštinová pouzdra využívají kuželový upínací mechanismus, kde se požadované tuhosti upnutí docílí utahováním pomocí momentového klíče. Svou konstrukcí tak pouzdra zajišťují rovnoměrné rozložení upínací síly na stopku nástroje a také vysokou přesnost obvodové házivosti, která se pohybuje okolo 3 μm .



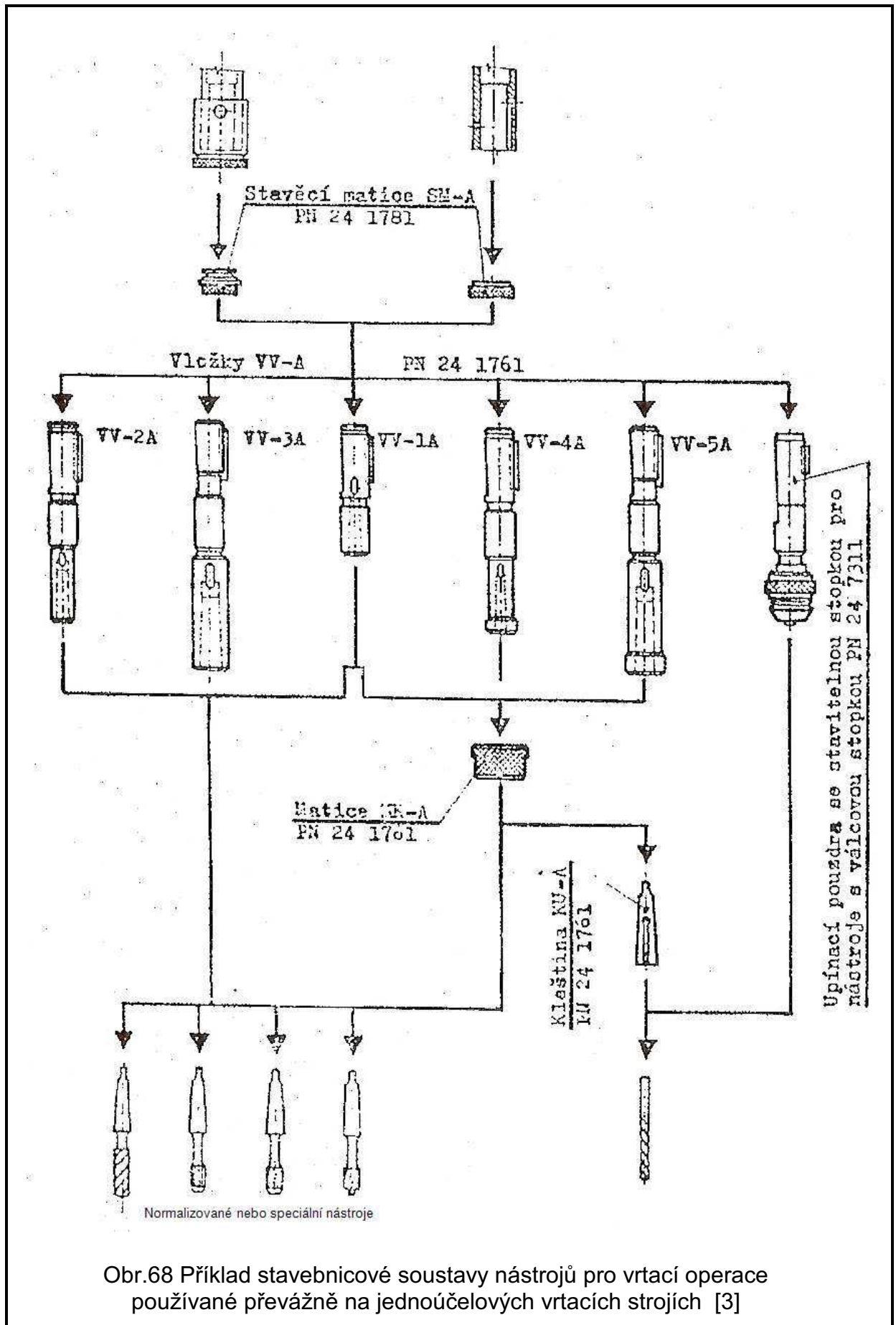
Obr.66 Kleština s kleštinovým pouzdem [4]



Obr.67 Princip upínání pomocí momentového klíče [4]

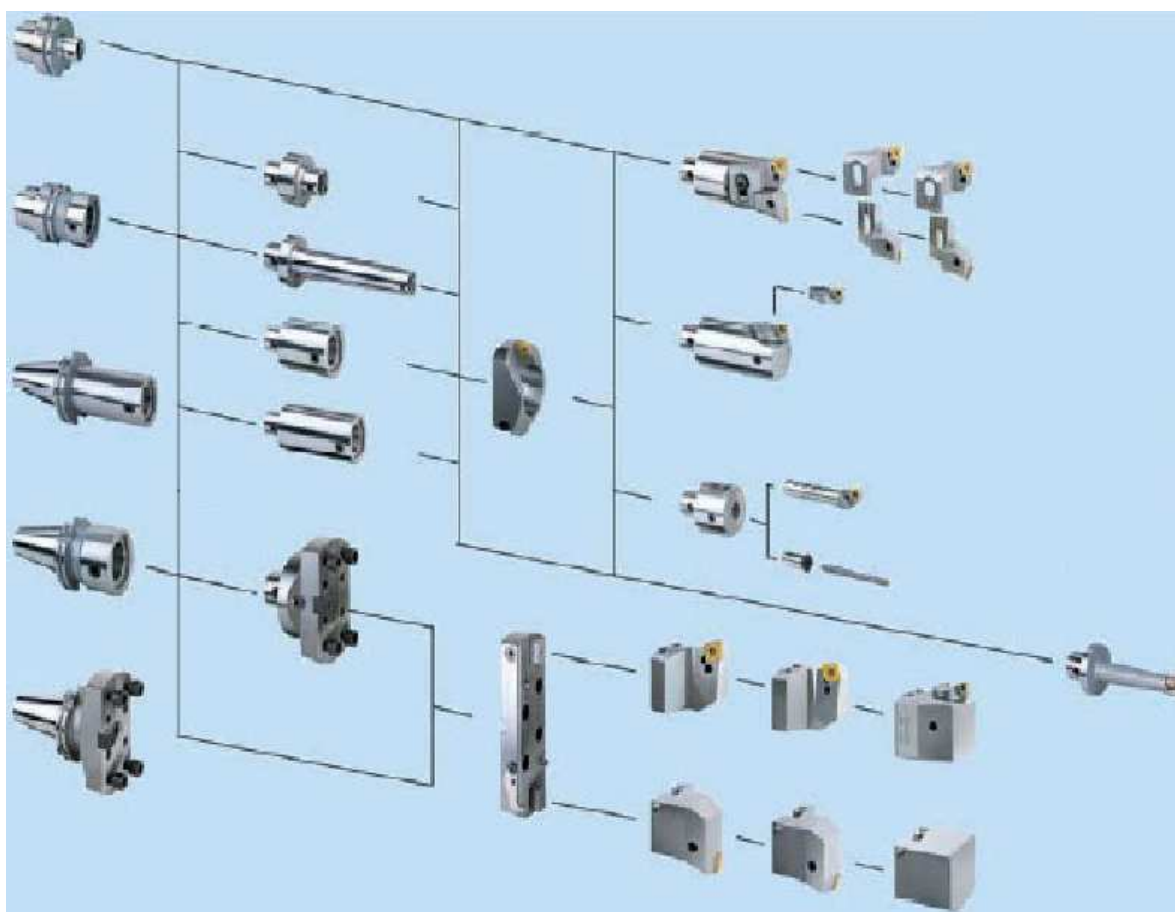


BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

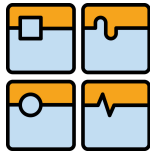


3 NÁSTROJOVÉ SOUSTAVY PRO VYVRTÁVACÍ OPERACE

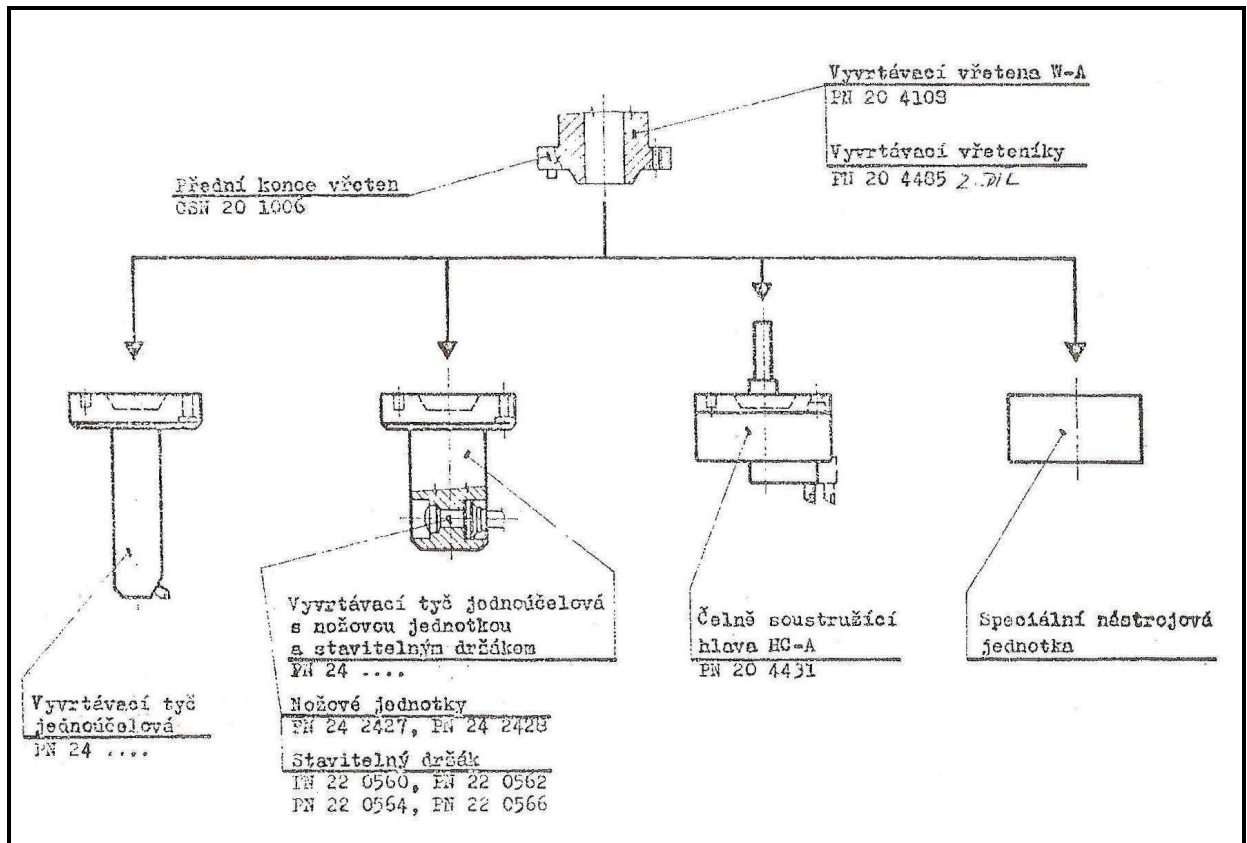
Základem těchto stavebnicových soustav je tuhý rychlovýměnný upínací systém, jehož vysoká tuhost je dosažena díky velkým a přesným stykovým plochám. Upnutí do stroje je zajištěno pomocí základních adapterů se stopkami ISO, HSK atd. Tyto adaptéry je možné nastavovat na požadované délky pomocí širokého sortimentu redukci a prodloužení, které jsou zpravidla vybaveny šrouby, které jsou radiálně dotahovány, a tím se dosáhne požadovaného předpětí a tuhosti upnutí nástroje či prodlužovacího mezikusu. Průměr vyvrtávací tyče se nastavuje přímo na nástroji pomocí ručně stavitelného číselníku, který seřízuje rozměr tyče přes broušený mikrometrický šroub, čímž je zajištěná vysoká přesnost nastaveného rozměru. U těchto nástrojů je nutno kvůli jejich asymetrickému tvaru zvláště dbát na správné vyvážení nástroje. Toho dosáhneme použitím vyvažovacího kroužku, který je schopen redukovat nevyváženost nástroje až o 90%. Vyvažovací kroužek se nastavuje velmi jednoduše na základě vyvažovacích diagramů dodaných výrobcem, pro jemnější seřízení je pak třeba použít vyvažovací zařízení [31].



Obr.69 Stavebnicový systém pro vyvrtávací nástroje firmy Swiss Tool Systems AG [31]



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE



Obr.70 Příklad stavebnicové soustavy nástrojů pro vyvrtávací operace používané převážně na jednoúčelových vyvrtávacích strojích [3]

V současné době při snaze co nejvíce zvýšit produktivitu práce při dosažení požadované rozměrové i geometrické přesnosti otvorů jsou zdokonalovány vyvrtávací nástroje tak, že jsou v jednom nástroji sdruženy jak hrubovací, tak i dokončovací vyvrtávací hlavy. Na Obr.71 je zobrazena vyvrtávací hlava Combi Line, která je složena z dvoubřité hrubovací hlavy a jednobřité přesně stavitelné dokončovací hlavy [32].



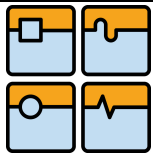
Obr.71 Vyvrtávací hlava Combi Line firmy Wohlhaupter [32]

Velmi zajímavou změnou v konstrukci vyvrtávacích nástrojů je použití nosného ramena nástroje z pevnostní hliníkové slitiny. Ramena bývají opatřena otěruvzdornými povlaky a dále mohou být vybavena drážkováním, jehož prostřednictvím lze nástroj vybavit nožovými jednotkami pro hrubovací operace, srážení hran nebo přesné vyvrtávání. Díky tomuto konstrukčnímu provedení lze snížit hmotnost nástroje až o 60% a mnohonásobně zvýšit řeznou rychlost [32].

Dalším směrem vývoje moderního nářadí pro vyvrtávací operace je vývoj elektronicky řízených vyvrtávacích hlav, které na rozdíl od běžných nástrojů využívají většinou řízený systém okružního frézování, čímž je dosaženo vysoké úspory strojního času. Elektronické řízení průběhu procesu zajišťuje vysokou přesnost a hlídá opotřebení výsuvných břitů nástroje. Vyvrtávací hlava je složena ze tří částí – z pohonné jednotky s řídicí elektronikou, výměnné hlavy s vyměnitelnými břitovými destičkami a stopky nástroje, která je volitelná podle typu stroje. Vlastní pohonná jednotka je univerzální a v budoucnu lze očekávat její využití i pro další typy nástrojů [32].



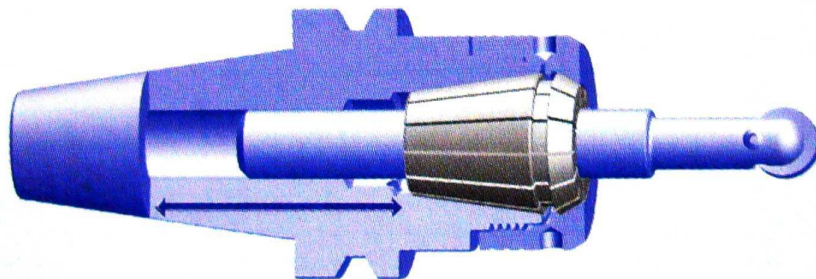
Obr.72 Elektronicky řízená hlava EK firmy Wohlhaupter [32]



4 NÁSTROJOVÉ SOUSTAVY PRO FRÉZOVACÍ OPERACE

Na Obr.77 je uvedena ukázka schématu skladby nástrojů pro oblast operací frézovacích. Skladba vychází opět z normalizované dutiny vřetena stroje. Obsahuje středící trn a frézovací trn pro upnutí frézovacích hlav, upínací pouzdro a vložky pro upnutí frézovacích nástrojů s válcovou stopkou, dále redukční pouzdro pro frézovací nástroje s kuželovou stopkou Morse s dalšími redukčními pouzdry a vložkami. Jsou zde také redukční pouzdra pro frézovací nástroje s kuželovou stopkou strmou, která je možné vložit i přímo do vřetena stroje [3].

Pro stopkové frézy se ze všech těchto možností v podstatě nejvíce používají tři základní způsoby upínání. První možností je upnutí pomocí kleštin a kleštinových pouzder, které je obdobné jako u vrtacích nástrojů. Dalším způsobem upnutí je upnutí typu Weldon, které je realizováno pomocí drážky na stopce nástroje a stopkového upínacího šroubu s vnitřním šestihranem, jenž je zašroubován v nástrojovém držáku. Princip je takový, že se nejprve stopka nástroje zasune do upínacího otvoru nástrojového držáku, na jehož obvodu je otvor pro upínací šroub. Vyložení nástroje je dáno umístěním drážky na stopce nástroje. Upínací šroub je dotažen prostřednictvím imbusového klíče a dosedá přímo do drážky na stopce nástroje, který je tak upnut v nástrojovém držáku. Třetím způsobem je použití moderních způsobů upínání stopkových nástrojů jako například tepelné, hydraulické apod.



Obr.73 Upínání fréz prostřednictvím kleštiny a kleštinového pouzdra [4]

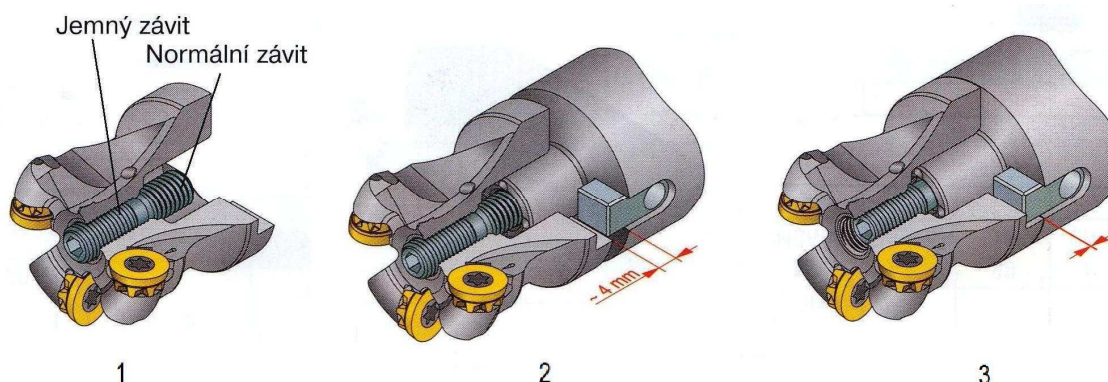


Obr.74 Upínací pouzdro Weldon [33]



Obr.75 Stopková fréza s drážkou typu Weldon [34]

Nástrčné frézy se upínají na centrální otvor pomocí upínacích šroubů. Typů upínacích šroubů je více, zmínil bych zde například upínání pomocí silového šroubu s vnitřním šestihranem, jehož dřík má z jedné strany jemný a z druhé strany normální závit. Část upínacího šroubu s jemným závitem se zašroubuje do frézy (Obr.76-1). Aby se zajistilo optimální sešroubování, musí být před upnutím mezera asi 4 mm, v kombinaci s normalizovanými standardními upínacími je toto zajištěno automaticky. V případě potřeby lze provést dodatečné nastavení prostřednictvím upínacího šroubu (Obr.76-2). V posledním kroku zašroubuje a dotáhneme upínací šroub (Obr.76-3) [4].



Obr.76 Postup upínání frézy pomocí silového šroubu [4]

Tyto frézy se upínají na frézovací trny buď pouze prostřednictvím upínacího šroubu, nebo je možné použít ještě unášecího kroužku (Obr.14), který nám slouží k lepšímu přenosu krouticího momentu, čehož s výhodou využíváme především u větších nástrojů.



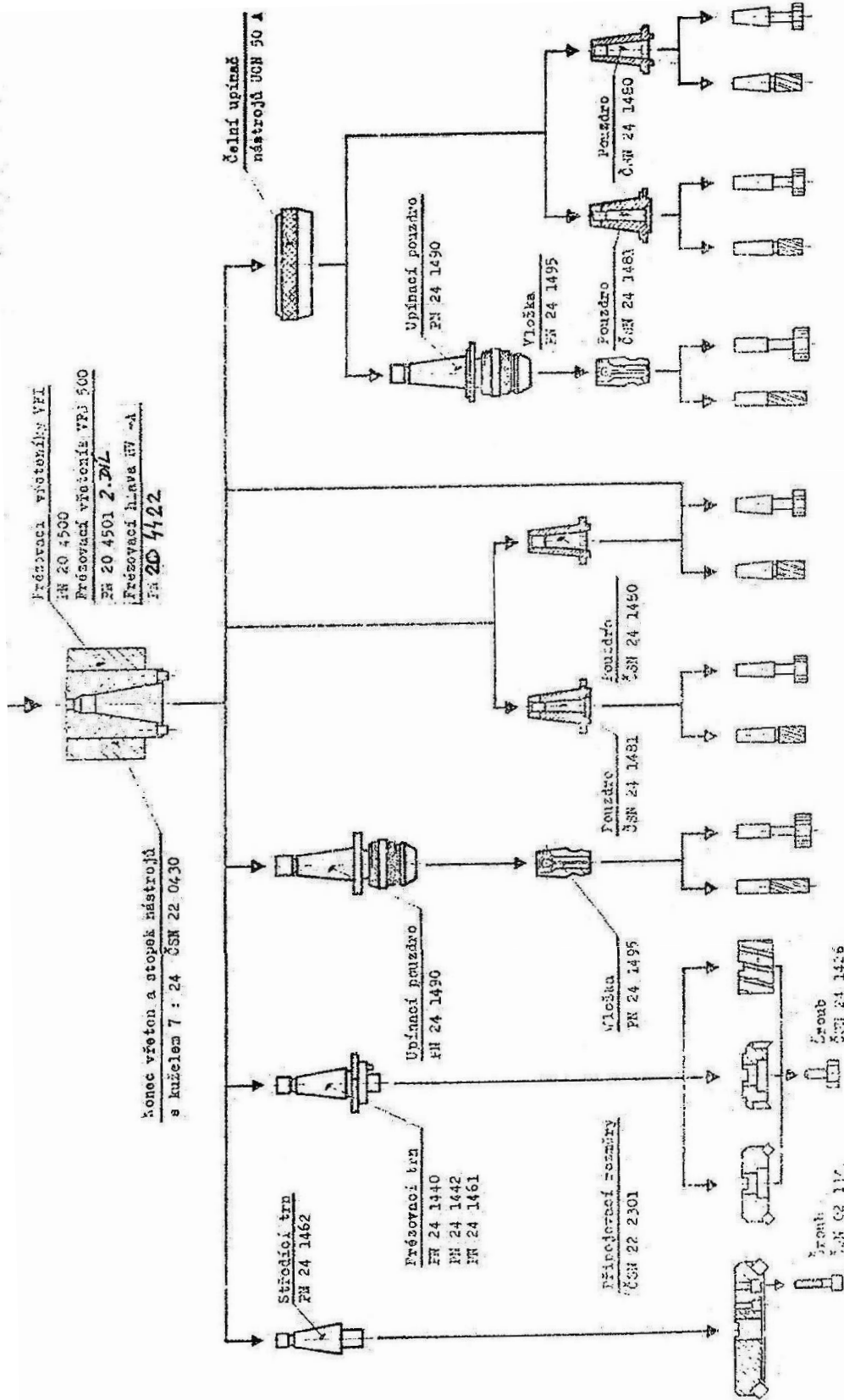
Obr.77 Frézovací trn s příčnou drážkou a upínacím šroubem [4]



Obr.78 Kombinovaný frézovací trn s unášecím kroužkem a upínacím šroubem [33]



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE



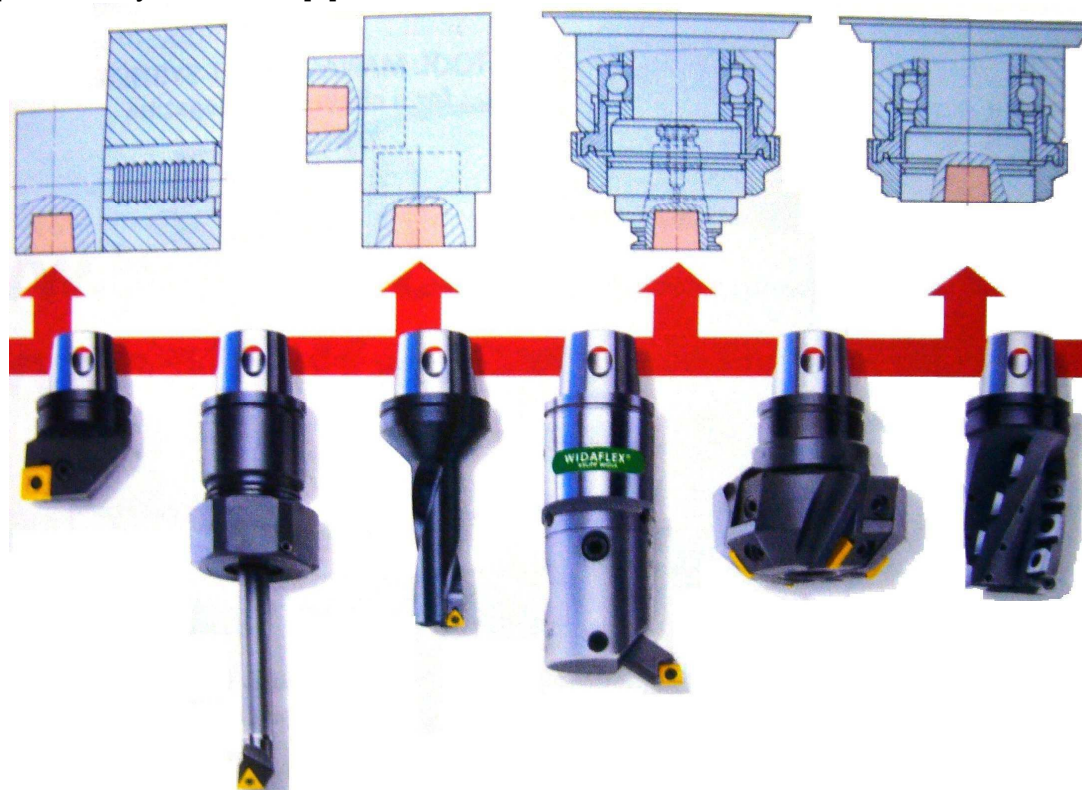
Normalizované nebo speciální nástroje

Obr.79 Příklad stavebnicové soustavy nástrojů pro frézovací operace používané převážně na jednoúčelových frézovacích strojích [3]

5 UNIVERZÁLNÍ NÁSTROJOVÉ SOUSTAVY

S rozvojem kategorie obráběcích center pro obrábění rotačních a nerotačních součástí vystupuje stále více do popředí potřeba univerzálního, jednotného upínacího systému nástrojových jednotek s jednotnými připojovacími rozměry, vhodného pro upínání rotačních i nerotačních nástrojů do jednotných upínacích dutin pracovních vřeten, revolverových hlav či suportů obráběcích center. Závažnost této problematiky je motivována především vysokými náklady na nástrojové soustavy. Počet potřebných typorozměrů nástrojových jednotek pro daný stroj neustále roste vlivem stoupajících požadavků na množství a sortiment prováděných operací. Další příčinou je skutečnost, že s rostoucím počtem nástrojových soustav rostou také náklady spojené s údržbou a seřizováním [1].

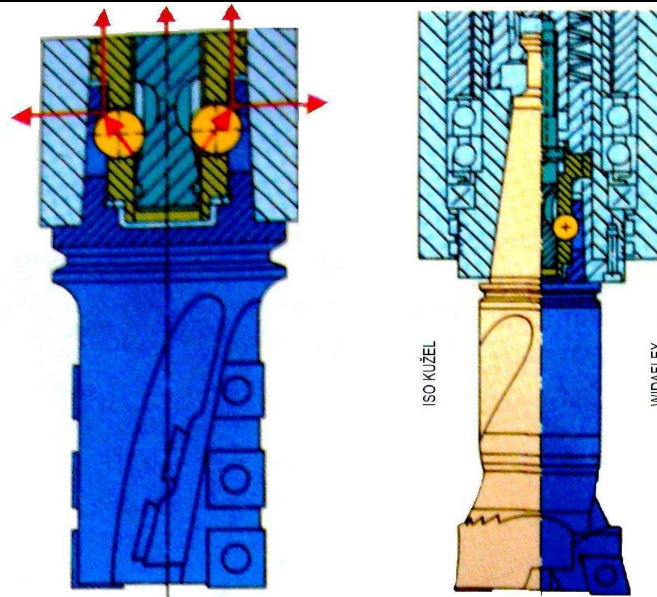
Z uvedených důvodů zahájili v roce 1985 firmy Krupp Widia GmbH a Kennmetal společný vývoj, jehož výsledkem je nástrojový systém Widaflex, což je univerzální nástrojový systém pro obráběcí centra s rotujícím vřetenem a také pro soustružnická centra pracující jak s pevnými, tak i rotačními nástroji (Obr.80). Nástroj je zakončen kuželovou čelní plochou a po upnutí dojde vlivem definované pružné deformace kužele k bezvůlovému dosednutí ve styčných plochách (čelní a kuželová). Kužel je samosvorný se stoupáním 1:10, což zaručuje vysokou tuhost a přesnost upnutí. Velké upínací síly garantují spolehlivý přenos krouticího momentu a všech dalších axiálních a radiálních zatížení, která vznikají v řezném procesu a mají často proměnlivý charakter [1].



Obr.80 Stavebnicová soustava Widaflex [1]



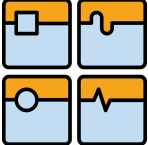
BAKALÁŘSKÁ PRÁCE



Obr.81 Upínací mechanismus Widadflex a jeho porovnání s ISO kuželem [1]

Malé rozměry kužele a menší rozměry upínacího systému přináší řadu výhod, zejména pak výrazné snížení hmotnosti nástroje, úsporu místa v zásobníku, menší manipulační zdvihy při výměně a především vyšší přesnost polohy nástroje vlivem bezvúlového dosednutí základního držáku na čelo vřetena, čímž odpadá nutnost korekcí polohy nástroje. Systém Widadflex obsahuje široký sortiment prvků prodlužujících skladbu nástrojových jednotek pro obrábění rotačních i nerotačních součástí. Obsahuje všechny potřebné prodlužovací a redukční členy, přičemž využívá jednotný spojovací uzel jak pro ruční, tak i automatické ovládání. Soustava umožňuje aplikaci kontroly správného upnutí v konci vřetena na principu tlakového vzduchového obvodu, který zároveň zajišťuje čištění připojovacích ploch. Rovněž umožňuje přístup chladicí kapaliny přímo k řeznému břítu přes otvory v jednotlivých dílech nástrojové jednotky [1].

Nástrojové systémy pro obráběcí centra mohou být dále vybaveny informačním systémem, který zajistí, že nástroje budou zařazovány do řezného procesu ve sledu potřebném pro správné provedení technologické operace. Využívá se především elektronické kódování nástroje. Princip je takový, že veškeré informace o nástroji jsou soustředěny do nosiče informací, který je integrován přímo do nástrojové jednotky. Základními prvky tohoto systému jsou nosič kódu (kódovací prvek), kódovací (čtecí) hlavice, popř. kódovací (čtecí) jednotka, která může být napojena na více hlavic. Nosič kódu je připevněn na vhodné místo na tělese držáku nástroje, má minimální rozměry a je odolný vůči chladicí kapalině, třískám, nečistotě a teplotám do cca 140°C. Čtecí hlavice provádí přenos informace indukčním principem, přičemž doba vlastního čtení informace se pohybuje v řádu milisekund. Pomocí uvedeného systému tak mohou být informace přenášeny bezkontaktním principem mezi strojem a nástrojem v obou směrech. Tento způsob kódování má velkou výhodu v tom, že nástroje lze vkládat libovolně do zásobníku (tzv. variabilní místo v zásobníku), čímž se zkrátí doba výměny. Nevýhodou tohoto systému je však vyšší cena [1].

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 46
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

ZÁVĚR

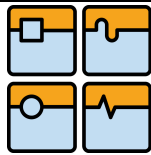
Cílem bakalářské práce je seznámit čtenáře s nástrojovými soustavami, které nám slouží pro obrábění nerotačních součástí. Tato práce shrnuje základní metody výroby nerotačních součástí, tedy frézování, vrtání a vyvrtávání. V úvodní části je nejprve nastíněna problematika jednotlivých prvků, ze kterých je složena nástrojová soustava, popsány druhy kuželových stopek, možnosti použití prodlužovacích mezikusů a nástrojů. Dále jsou zde rozebrány důležité faktory, které bezprostředně souvisí s používáním vlastních nástrojových soustav a mají obrovský vliv na celý obráběcí proces. Všechny tyto faktory hrají při obrábění velkou roli a mají zásadní vliv na životnost nástroje, rozměrovou a geometrickou přesnost obrobku, jakost obrobené plochy, dobu obrábění a tím také na ekonomiku celého výrobního procesu. Obrovský vliv všech těchto jednotlivých veličin je nutno uvažovat především ve velkosériové výrobě a podřídit těmto aspektům volbu optimální výrobní metody a vlastní nástrojové soustavy, kterou pro tuto operaci použijeme. Proto je velká část práce věnována samotným nástrojovým materiálům, kapalinám používaných v třískovém obrábění a opotřebením nástrojů. V poslední části byly nastíněny moderní způsoby upínání stopkových nástrojů včetně univerzálních nástrojových soustav, což jsou velmi zajímavé a perspektivní oblasti, ze kterých se určitě vyplatí pro vývoj nových nástrojových soustav v budoucnu čerpat.

**SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ**





- [1] Marek, J.; *Konstrukce CNC obráběcích strojů*, ISSN 1212-2572
- [2] Borský, V.; *Jednoúčelové a víceúčelové obráběcí stroje – II.díl*, skriptum ES VUT, 2. vydání, Grafia Prostějov, 1990, ISBN 80-214-0175-3
- [3] Podniková norma TOS-Kuřim, *Stavebnicové obráběcí stroje – NÁSTROJE A NÁŘADÍ*, PN 24 0001
- [4] Nástrojový katalog WNT; *Total tooling*, 2006
- [5] Nástrojový katalog Gühring '07; *HSK-/SK- Werkzeugaufnahmen, HSK - Spanner und zubehör*, 2007
- [6] Humár, A.; *Technologie I – Technologie obrábění 1.část*, FSI VUT Brno, 2002
- [7] Gabriel, V., Šída, V.; *Nové trendy v řezné keramice*, MM Průmyslové spektrum č.4 – duben 1998, ISSN 1212-2572
- [8] Václavek, J.; *Nástroje pro produktivní třískové obrábění*, MM Průmyslové spektrum č.4 – duben 2001, ISSN 1212-2572
- [9] Humár, A.; *Slinuté karbidy – progresivní řezné materiály*, MM Průmyslové spektrum č.4 – duben 1998, ISSN 1212-2572
- [10] Kouřil, M.; *Supertvrdé materiály a jejich uplatnění u řezných nástrojů*, MM Průmyslové spektrum č.4 – duben 1998, ISSN 1212-2572
- [11] Hal, D.V., Humár, A.; *Supertvrdé nástrojové materiály 1.část*, MM Průmyslové spektrum č.10 – říjen 1999, ISSN 1212-2572
- [12] Novák, Z.; *Povlakované řezné nástroje*, MM Průmyslové spektrum č.4 – duben 1998, ISSN 1212-2572
- [13] G+S Metal, *Rychlořezné oceli – THYRAPID [online]*, cit. 2008-04-19, <<http://www.gsmetal.cz/index.php?gs=rychlorezna-nastrojova>>
- [14] Schunk; *Mega double power chuck [online]*, cit. 2008-05-01, <http://www.cz.schunk.com/schunk_files/attachments/catalog_ToolholdingSystems_S001-071__0712_DE_EN.pdf>
- [15] Karafiátová, S.; *Technologie III*, Učební texty pro 3.ročník oborů mechanik seřizovač a obráběč kovů pro obsluhu NC a CNC strojů, ISŠ-COP Olomoucká 61, Brno, 2001
- [16] Cejnarová, A.; *Jak správně zvolit chlazení pro obráběcí stroj*, MM Průmyslové spektrum č.5 – květen 2005, ISSN 1212-2572
- [17] Prášil, T.; *Ve znamení inovací frézovacích systémů*, MM Průmyslové spektrum č.11 – listopad 2006, ISSN 1212-2572
- [18] Humár, A.; *Technologie I – Technologie obrábění 2.část*, FSI VUT Brno, 2002
- [19] Ambrož, P.; *Moderní systémy pro upínání stopkových nástrojů*, MM Průmyslové spektrum č.4 – duben 2007, ISSN 1212-2572
- [20] WINTER SERVIS, *Princip hydraulického rozpínacího upínače TENDO [online]*, cit.2008-05-01, <http://www.winter-servis.cz/index.php?page=schunk/n_tendo>

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 48
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

- [21] WINTER SERVIS, *Princip přesného univerzálního upínače – Sino [online]*, cit. 2008-05-01, <http://www.winter-servis.cz/index.php?page=schunk/n_sino>
- [22] Schunk, *TRIBOS-R The solid and precise toolholder [online]*, cit. 2008-05-01, <http://www.cz.schunk.com/schunk_files/attachments/catalog_ToolholdingSystems_S001-071__0712_DE_EN.pdf>
- [23] WINTER SERVIS, *Princip silově deformačního upínače – Tribos [online]*, cit. 2008-05-01, <http://www.winter-servis.cz/index.php?page=schunk/n_tribos>
- [24] Schunk, *Thermal toolholding [online]*, cit.2008-05-01, <http://www.cz.schunk.com/schunk_files/attachments/catalog_ToolholdingSystems_S001-071__0712_DE_EN.pdf>
- [25] Dvořák, L.; *Měření a kontrola nástrojů*, MM Průmyslové spektrum č.6 – červen 2002, ISSN 1212-2572
- [26] Müller, M.; *Měření a seřizování nástrojů*, MM Průmyslové spektrum č.6 – červen 2007, ISSN 1212-2572
- [27] Sláma, J.; *Systémy pro kontrolu nástrojů*, MM Průmyslové spektrum č.12 – prosinec 2005, ISSN 1212-2572
- [28] Renishaw; *Měření a kalibrace [online]*, cit. 2008-05-08, <<http://www.renishaw.cz/client/product/Czech/PGP-4.shtml>>
- [29] Ziegltrum, F.; *Vyvažování pod drobnohledem*, MM Průmyslové spektrum č.11 – listopad 2005, ISSN 1212-2572
- [30] Schunk, *Schunk CELSIO – Warmshrumpftechnik [online]*, cit. 2008-05-08, <<http://www.obrazky.cz/detail?id=eJxtjE0LwiAAhu/%2Bj3abug83CcaQgop1ioKuYm5a%2B0od1n59xOjW7YH3eZ/yWVihpv6xirGQrdVD%0AUOvWSVNEgS2Acm5cl%2BS9h4sG%2BxYdOt7IGDa6/r8vtNSgch1lcQIIJYBkv4P%2BJiwctbCSG6GgGDqk%0AbVm/7bQP1cz8EV%2Bq64udCLtiQ%2BdtvuE8Cc%2BqSs2wk3fMAKUgimkmlkpkLm8Zz1lp%2BAdNkkTr%0A>>
- [31] Pěružek, M.; *Nástrojový stavebnicový systém MBM [online]*, cit. 2008-05-17, <<http://vyvrtavani-nastroje.kvalitne.cz/tech.pdf>>
- [32] Eisenhamer, P.; *Přesné vyvrtávací nástroje na veletrhu EMO 2001*, MM Průmyslové spektrum č.12 – prosinec 2001, ISSN 1212-2572
- [33] Pramet; *Upínače rotačních nástrojů – Tooling systems [online]*, cit. 2008-05-18, <<http://www.abarth.cz/novypramet/download/katalog/pdf/Upínače%202007%20CZ-AJ.pdf>>
- [34] Pramet; *Frézování 2008 [online]*, cit. 2008-05-18, <<http://www.pramet.com/download/katalog/Milling%202008%20CZ.pdf>>

**SEZNAM POUŽITÝCH OBRÁZKŮ**

- Obr.1 Morfologie nástrojových soustav [1]
- Obr.2 Stavebnicová nástrojová soustava [2]
- Obr.3 Stopky nástrojových držáků ISO a HSK [1]
- Obr.4 Stopka BIG Plus [14]
- Obr.5 Typy kuželů HSK [5]
- Obr.6 Příslušenství pro upínání HSK stopky do nástrojového držáku ISO [5]
- Obr.7 Nástrojový držák s upravenou dutinou pro upnutí kužele HSK [5]
- Obr.8 Příklad upínání kužele ISO [1]
- Obr.9 Příklad upínání kužele HSK [1]
- Obr.10 Způsoby přívodu řezné kapaliny [1]
- Obr.11 Prodloužení pro frézovací trny s příčnou drážkou [4]
- Obr.12 Schéma skládání jednoduchého a zdvojeného prodlužovacího prvku [4]
- Obr.13 Prvky použité pro sestavení nástrojové soustavy [4]
- Obr.14 Unášecí kroužek [4]
- Obr.15 Sestavená nástrojová soustava [4]
- Obr.16 Příklady frézovacích nástrojů [6]
- Obr.17 Příklady šroubovitých vrtáků [18]
- Obr.18 Příklady vrtáků s vyměnitelnou destičkou a hlavicí [18]
- Obr.19 Příklady vrtáků s VBD [18]
- Obr.20 Odvod třísky při vrtání hlavňovým vrtákem [18]
- Obr.21 Výhružníky: a) stopkový; b) c) nástrčné [18]
- Obr.22 Výstružník s kuželovou a válcovou stopkou [18]
- Obr.23 Vyvrtávací tyče firmy Kaiser [18]
- Obr.24 Oblasti použití řezných materiálů [6]
- Obr.25 Hodnoty vybraných vlastností řezných materiálů [6]
- Obr.26 Vrstevnaté destičky s přislinutou vrstvou ze supertvrdeho materiálu [11]
- Obr.27 Vrstevnaté destičky s přislinutou vrstvou ze supertvrdeho materiálu [11]
- Obr.28 Břitové destičky z řezné keramiky turnovské firmy DIAS [7]
- Obr.29 Cermetové břitové destičky firmy Kyocera [7]
- Obr.30 Nástroje s destičkami ze slinutých karbidů [12]
- Obr.31 Příklad vícevrstvého povlakování SK [6]
- Obr.32 Nástroje z rychlořezné oceli [13]
- Obr.33 Deskový zásobník [6]
- Obr.34 Bubnový zásobník
- Obr.35 Řetězový zásobník
- Obr.36 Postup výměny nástroje [15]
- Obr.37 Manipulátor s napichovací rukou
- Obr.38 Manipulátor s napichovací rukou
- Obr.39 Abrzně opotřeбенý hřbet nástroje z řezné keramiky [6]
- Obr.40 Adheze u nástroje ze slinutého karbidu [6]
- Obr.41 Vliv teploty a řezných podmínek na opotřebení nástroje [6]
- Obr.42 Měření pomocí dotykové sondy [28]
- Obr.43 Bezkontaktní systém pro detekci poškozeného nástroje [27]
- Obr.44 Měření a seřizování nástrojů [26]
- Obr.45 Měření a seřizování nástrojů [26]

 	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 50
 	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

- Obr.46 Vyvažovací přístroj Haimer Tool Dynamic [29]
Obr.47 Princip vertikálního vyvažování [29]
Obr.48 Příklady aplikace vysokotlakého chlazení u nástrojů [16]
Obr.49 Příklady aplikace vysokotlakého chlazení u nástrojů [16]
Obr.50 Chlazení mlhou při frézování [3]
Obr.51 Drážky u VBD pro vnitřní chlazení [17]
Obr.52 Vnitřní chlazení přes drážky břitových destiček [17]
Obr.53 Fréza firmy Stellram s vnitřním chlazením [6]
Obr.54 Vrták firmy Sandvik - Coromant s vnitřním přívodem chladicí kapaliny [6]
Obr.55 Schéma vnitřního přívodu chladicí kapaliny [1]
Obr.56 Smíchání řezné kapaliny a vzduchu [1]
Obr.57 Schéma hydraulického upínače Tendo [20]
Obr.58 Schéma univerzálního upínače Sino [21]
Obr.59 Schéma polygonálního upínače Tribos [22]
Obr.60 Princip polygonálního upínače Tribos [23]
Obr.61 Princip tepelného upínače Celsio [24]
Obr.62 Tepelné upínače Celsio [30]
Obr.63 Sklíčidlo s ozubeným věncem včetně upínacího klíče [4]
Obr.64 Rychloupínací sklíčidlo [4]
Obr.65 Kuželová stopka s drážkou [4]
Obr.66 Kleština s kleštinovým pouzdrem [4]
Obr.67 Princip upínání pomocí momentového klíče [4]
Obr.68 Příklad stavebnicové soustavy nástrojů pro vrtací operace používané převážně na jednoúčelových vrtacích strojích [3]
Obr.69 Stavebnicový systém pro vyvrtávací nástroje firmy Swiss Tool Systems AG [31]
Obr.70 Příklad stavebnicové soustavy nástrojů pro vyvrtávací operace používané převážně na jednoúčelových vyvrtávacích strojích [3]
Obr.71 Vyvrtávací hlava Combi Line firmy Wohlhaupter [32]
Obr.72 Elektronicky řízená hlava EK firmy Wohlhaupter [32]
Obr.73 Upínání fréz prostřednictvím kleštiny a kleštinového pouzdra [4]
Obr.74 Upínací pouzdro Weldon [33]
Obr.75 Stopková fréza s drážkou typu Weldon [34]
Obr.76 Postup upínání frézy pomocí silového šroubu [4]
Obr.77 Frézovací trn s příčnou drážkou a upínacím šroubem [4]
Obr.78 Kombinovaný frézovací trn s unášecím kroužkem a upínacím šroubem [33]
Obr.79 Příklad stavebnicové soustavy nástrojů pro frézovací operace používané převážně na jednoúčelových frézovacích strojích [3]
Obr.80 Stavebnicová soustava Widaflex [1]
Obr.81 Upínací mechanismus Widaflex a jeho porovnání s ISO kuželem [1]

SEZNAM POUŽITÝCH TABULEK

- Tab.1 Rozměry jednotlivých typů stopek HSK [5]
Tab.2 Otáčky vřetena v závislosti na typu kužele [1]