VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

APLIKACE VYSTRUŽOVACÍCH NÁSTROJŮ S BŘITY Z CERMETU A PVD POVLAKEM

APPLICATION REAMERS WITH CERMET CUTTING EDGE AND PVD RATING

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE — ALEŠ LUČANÍK
AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE — Ing. KAREL KOUŘIL, Ph.D.
SUPERVISOR

BRNO 2011

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie
Akademický rok: 2010/2011

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Aleš Lučaník

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojírenská technologie (2303R002)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Aplikace vystružovacích nástrojů s břity z cermetu a PVD povlakem

v anglickém jazyce:

Application reamers with cermet cutting edge and PVD rating

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Cílem práce je poskytnout přehled o současných řezných nástrojích pro produktivní obrábění velmi přesných děr. Dále navrhnout a provést experimentální řezné zkoušky vystružovacího nástroje HAM-FINAL s břity z cermetu ve spolupráci s firmou HAM-FINAL, s.r.o., Brno.
Úvodní část práce bude poskytovat definice základních parametrů přesnosti, kvality obrobeného povrchu a požadavků na přesnost děr. Práce zmapuje současnou technickou úroveň dostupných nástrojů světových výrobců, pro přesné obrábění děr, z hlediska technologických aspektů, nástrojových materiálů, nástrojové geometrie, hlavních konstrukčních prvků.
Závěrečná část práce se bude zabývat navržením, provedením a vyhodnocením experimentálního ověření užitných vlastností prototypů nově vyvíjených výstružníků s břity z cermetu ve spolupráci s HAM-FINAL.

Cíle bakalářské práce:

Navrhnout, provést a vyhodnotit experimentální ověření užitných vlastností prototypů nově vyvíjených výstružníků s břity z cermetu, ve spolupráci s HAM-FINAL.

Seznam odborné literatury:

1. FOREJT, M., PÍŠKA, M. Teorie obrábění, tváření a nástroje, pp.1-226, ISBN 80-214-2374-9, 2006, Akademické nakladatelství CERM, s.r.o. Brno
2. PÍŠKA, M. Všeobecný vývoj a testování řezných nástrojů a materiálů, MM Průmyslové spektrum, Vol.CZK 65, 2005, No.4, pp.14-16, ISSN 1212-2572
3. PÍŠKA, M., HUMÁR, A. Testování řezivosti nových nástrojových materiálů, MM Průmyslové spektrum, Vol. 2004, 2004, No.Speciál IX, pp.98-108, ISSN 1212-2572
4. PÍŠKA, M. Všeobecný vývoj a testování řezných nástrojů a materiálů, MM Průmyslové spektrum, Vol.CZK 65, 2005, No.4, pp.14-16, ISSN 1212-2572
5. KOUŘIL, K., VANĚK, V. MM Průmyslové spektrum. Dokončovací operace vystružování. [online]. 2006, č. 6. [cit. 2007-02-11]
6. HUMÁR, A. Technologie I. Technologie obrábění – 2.část. Studijní opory pro magisterskou formu studia. [online].
7. KVASNIČKA, I., SLAVÍK, V., ŠTAJNOCHR, L. Obráběcí nástroje. Vydání první. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1998. 98 s. ISBN 80-01-01755-9.
8. ZEMČÍK, O. Nástroje a přípravky pro obrábění. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2003. 193 s. ISBN 80-214-2336-6.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Karel Kouřil, Ph.D.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2010/2011.

V Brně, dne 1.12.2010

L.S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc. Ředitel ústavu	prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc. Děkan fakulty

ABSTRAKT

Úvodní část této práce poskytuje definice základních parametrů přesnosti, kvality obrobeného povrchu a požadavků na přesnost děr. Dále práce popisuje současnou technickou úroveň dostupných vystružovacích nástrojů světových výrobců a to z hlediska technologických aspektů, nástrojových materiálů, nástrojové geometrie a hlavních konstrukčních prvků. Závěrečná část práce se zabývá navržením, provedením a vyhodnocením experimentálního ověření užitných vlastností prototypů nově vyvíjených výstružníků s břity z cermetu ve spolupráci se společností HAM-FINAL.

Klíčová slova

Vystružování, dokončovací obrábění, cermet, PVD povlak.

ABSTRACT

The introductory part of this bachelor´s thesis provides definitions of basic accuracy parameters, quality of machined surface and requirements on accuracy of holes. Further work describe the current technical level of available reaming tools of global manufacturers in terms of technological aspects, tool materials, tool geometry and the main structural elements. The final part deals with designing, implementing and evaluating an experimental verification of usable properties of prototypes newly developed reaming tools in collaboration with the company HAM-FINAL.

Key words

Reaming, finishing machining, cermet, PVD coating.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

LUČANÍK, Aleš. *Aplikace vystružovacích nástrojů s břity z cermetu a PVD povlakem: Bakalářská práce*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2011. 72s., příloh 5. Ing. Karel Kouřil, Ph.D.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma ***Aplikace vystružovacích nástrojů s břity z cermetu a PVD povlakem*** vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

20. května 2011 …….

Aleš Lučaník

Poděkování

Děkuji tímto vedoucímu bakalářské práce Ing. Karlu Kouřilovi, Ph.D. a firmě HAM-FINAL za veškeré poskytnuté materiály, cenné připomínky a rady, které mi pomohly při vypracovávání bakalářské práce. Dále společnosti HAM-FINAL děkuji za to, že jsem mohl realizovat praktickou část bakalářské práce v prostorách této firmy.

OBSAH

Abstrakt 4
Prohlášení 5
Poděkování 6
Obsah 7
Úvod 9
1 Hodnocení Kvality obrobeného povrchu 10
1.1 Rozměrová přesnost 10
1.2 Geometrická přesnost tvaru a polohy 12
1.3 Struktura povrchu 14
1.3.1 Parametry drsnosti povrchu 15
2 Vystružovací nástroje 16
2.1 Rozdělení výstružníků 17
2.2 Geometrie a konstrukce výstružníků 18
2.2.1 Konstrukce nástroje 19
2.2.2 Geometrie nástroje 20
3 Řezné materiály aplikované na vystružovacích nástrojích 22
3.1 Slinuté Karbidy 24
3.2 Cermety 25
3.2.1 Struktura a vlastnosti 26
3.2.2 Aplikace cermetů 28
3.3 Povlakované slinuté karbidy a cermety 30
3.4 Metody povlakování 33
3.4.1 Metoda CVD 33
3.4.2 Metoda PVD 34
3.4.3 Magnetronové naprašování 36
3.4.4 Obloukové napařování 38
4 Současný stav na trhu s vystružovacími nástroji s břity z cermetu 39
4.1 MAPAL 40
4.2 BECK 42
4.3 GÜHRING 43
4.4 DIHART 44
4.5 SECO 45
4.6 SANDVIK 47
4.7 ISCAR 48
5 Praktická část bakalářské práce realizovaná ve firmě HAM-FINAL 50
5.1 Společnost HAM-FINAL 50
5.2 Optimalizace technického provedení vystružovacího nástroje 53
5.2.1 Dosavadní stav 53
5.2.2 Nové technické řešení 54
5.3 Experimentální ověření užitných vlastností prototypů nově vyvíjených osových nástrojů firmy HAM-FINAL 57
5.3.1 Popis současného stavu 57
5.3.2 Návrh testu nových výstružníků HAM-FINAL ø4,2 60

5.3.3 Vyhodnocení testu nových výstružníků HAM-FINAL ø4,2.....62
Závěr 64
Seznam použitých zdrojů.....66
Seznam použitých zkratek a symbolů.....70
Seznam příloh 72

Příloha 1 Výkres obráběného tělesa vstřikovacího systému

Příloha 2 Výkres doposud používaného výstružníku HAM-FINAL ø4,2

Příloha 3 Výkres nově navrženého výstružníku HAM-FINAL ø4,2

Příloha 4 Popis Univerzální CNC frézky DECKEL MAHO - DMU 60 T

Příloha 5 Popis drsnoměru Mahr – Pocket Surf

ÚVOD

Vystružování je dokončovací metoda třískového obrábění s definovanou geometrií břitů. Je určeno pro obrábění předobrobených vnitřních rotačních ploch a to jak slepých tak i průchozích. Důsledkem vystružování je výrazné zlepšení rozměrových i geometrických tolerancí včetně zlepšení drsnosti obrobeného povrchu. Vystružováním lze dosáhnout tolerančního stupně průměru obrobené díry až IT5 a drsnosti povrchu až Ra 0,4 μm. V případě, že je požadována lepší drsnost povrchu, je možné za vystružování zařadit další operace jako je např. válečkování, lapování a honování.

Jako řezné materiály se při výrobě výstružníků používají hlavně slinuté karbidy, cermety, PKNB, PKD a nebo nástrojová ocel, přičemž na povrch nástroje může být ještě nanesen povlak pro zlepšení vlastností, mezi něž patří hlavně otěruvzdornost, tvrdost a trvanlivost břitů nástroje. U výkonných nástrojů pro dokončovací obrábění se dnes stále více používají břity z cermetu, které díky svým vlastnostem poskytují vysokou kvalitu větších sérií obráběných děr.

S technologickým pokrokem ve všech možných odvětvích průmyslu jsou kladeny stále větší požadavky na rozměrovou i geometrickou přesnost obrobených děr, které musí zajistit např. těsnost, přesné vedení či uložení jiných součástí. V důsledku vyšších požadavků na přesnost obrobených děr je logicky nutné klást ještě vyšší požadavky na přesnost nástrojů, které dané díry obrábějí. Proto je vývoj vystružovacích nástrojů pro další technologický pokrok velice důležitý. A to jak z hlediska řezných materiálů, tak i konstrukce a geometrie nástroje.

1 HODNOCENÍ KVALITY OBROBENÉHO POVRCHU

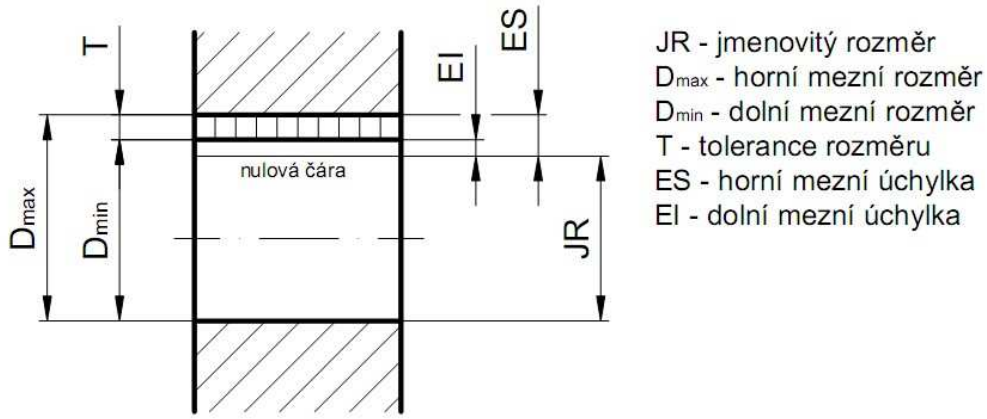
Stále větší požadavky na vlastnosti výrobků značným způsobem ovlivňují výrobu jednotlivých prvků ze soustavy stroj – nástroj – přípravek - obrobek. Zvýšené nároky jsou kladeny s velkým důrazem na kvalitu obrobené plochy, což se projevuje zejména zmenšováním rozměrových úchylek, geometrických úchylek tvaru a polohy a v neposlední řadě snižováním drsnosti povrchu.

Hlavní faktory, které ovlivňují výslednou přesnost vystružené díry jsou[1]:

- vhodné rozmístění a počet břitů,
- vhodně předobrobená díra před vystružováním,
- procesní kapalina,
- řezné podmínky,
- upnutí obrobku,
- geometrie břitů výstružníku,
- řezný materiál,
- tuhost soustavy stroj-nástroj-přípravek-obrobek,
- házivost řezné části nástroje,
- další příčiny (špatná obrobitelnost vystružovaného materiálu, velké otupení břitů, špatně přeostřené břity, nadměrné opotřebení válcových fazetek).

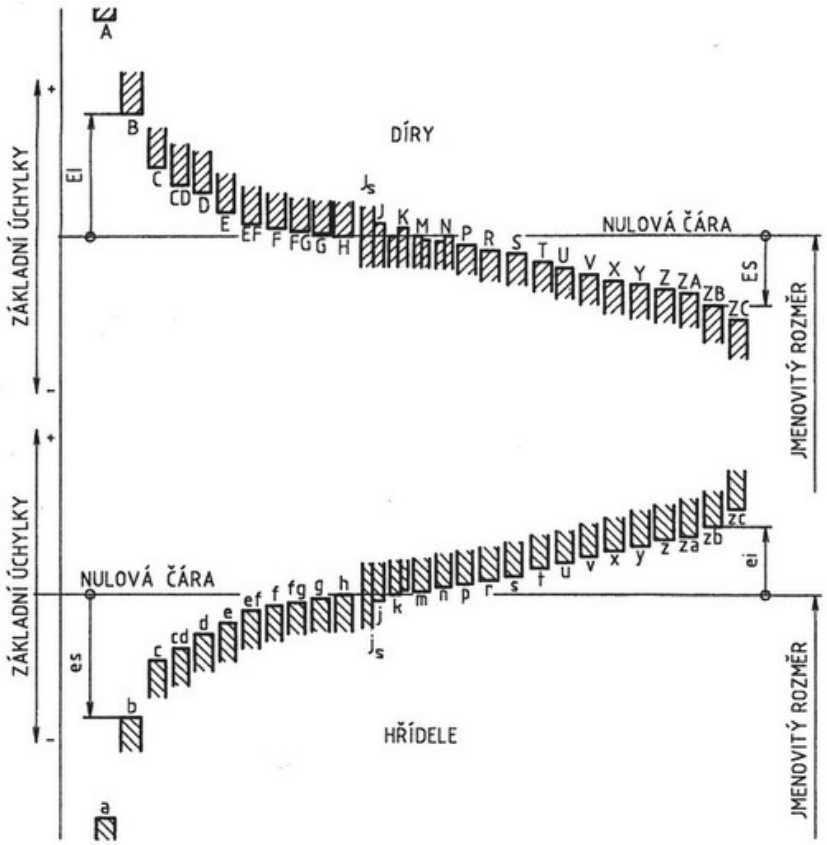
1.1 Rozměrová přesnost

Žádný rozměr není možné vyrobit s naprostou přesností, a proto je snahou se k tomuto rozměru při výrobě součásti alespoň přiblížit. Je tedy nutné určit mezní hodnoty rozměru, tak aby i v krajních hodnotách byla zachována funkčnost součásti. Z toho důvodu mají všechny rozměry na výkresech předepsanou určitou toleranci, která se při výrobě musí dodržet, tj. skutečný rozměr musí ležet v rozsahu mezních hodnot. Mezní rozměry jsou většinou charakterizovány dolními a horními úchylkami od jmenovitého rozměru. Součet velikostí těchto úchylek se nazývá tolerance.[2] Základní pojmy tolerování jsou popsány na obr 1.1.



Obr. 1.1 Základní pojmy tolerování[2]

ISO norma soustavy tolerancí a uložení stanovuje 20 tolerančních stupňů označovaných IT01 až IT18, kde toleranční stupně s menším číslem představují menší velikost tolerančního pole (vyšší přesnost) a naopak. Kromě velikostí tolerančních polí stanovuje norma ISO i jejich polohu. Polohu tolerančního pole určuje základní úchylka, která vyjadřuje umístění tolerančního pole vzhledem k nulové čáře (jmenovitý rozměr). Podle normy je to úchylka bližší k nulové čáře. Rozlišují se zde polohy tolerančních polí pro díry, která se značí velkými písmeny abecedy (A-ZC) a pro hřídele značené malými písmeny abecedy (a-zc). Označení kombinace základní úchylky a čísla značící toleranční stupeň se nazývá toleranční třída (H6, k7). Přehled tolerančních polí a jejich poloh je znázorněn na obrázku 1.2.[2]



Obr 1.2 Přehled tolerančních polí děr a hřídelů[2]

Vystružováním lze dosáhnout tolerančních stupňů IT5 – IT7.[cc] Vystružené otvory se ve většině případů používají k uložení hřídelových součástí. Typy uložení jsou následující:

- uložení s vůlí,
- uložení s přesahem,
- uložení přechodné.

Z konstrukčních a ekonomických důvodů a také pro větší přehlednost se používají dva hlavní způsoby vzájemného tolerování děr a hřídelů. Jedná se o

soustavu jednotné díry a soustavu jednotného hřídele. V soustavě jednotné díry se dosahuje požadovaného charakteru uložení pomocí přiřazení hřídelů s různými tolerančními třídami k dírám jedné toleranční třídy (H/a-az). U soustavy jednotného hřídele je tomu naopak (A-ZC/h).[2]

V praxi se používá ve velké míře uložení v soustavě jednotné díry, což pozitivně ovlivňuje náklady na některé nástroje a měřidla, mezi něž patří právě výstružníky a měřidla potřebná k měření otvorů (kalibry).[2]

1.2 Geometrická přesnost tvaru a polohy

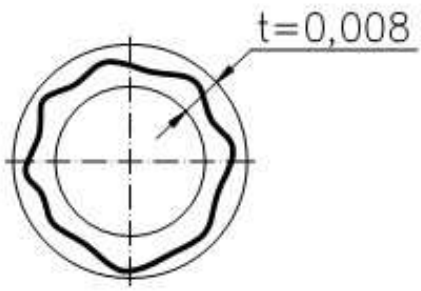
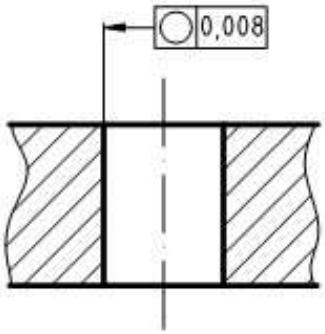
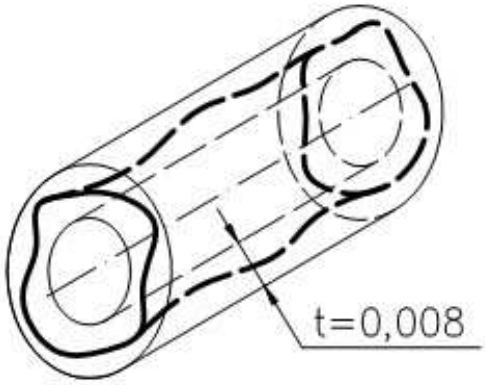
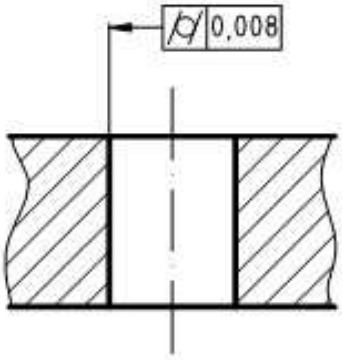
Stejně tak jako rozměr, nelze s naprostou přesností vyrobit ani požadovaný tvar obráběného prvku, potažmo i jeho umístění na součásti není nikdy úplně přesné. Jelikož úchylky tvaru, směru, polohy i házení skutečných ploch a profilů mohou negativně ovlivnit funkci součástí i celých strojů, bylo třeba i zde normou definovat tolerance těchto úchylek tzv. geometrické tolerance. V tabulce 1.1 jsou zobrazeny druhy a označení geometrických tolerancí.[2]

Tab. 1.1 Geometrické tolerance[2]

Tolerance		**Značka**
Tolerance vztahující se k jednomu prvku		
Tvaru	Přímosti	
	Rovinnosti	
	Kruhovitosti	
	Válcovitosti	
Tolerance vztahující se k jednomu nebo více prvkům		
Tvaru	Tvaru čáry	
	Tvaru plochy	
Tolerance vztahující se ke dvěma nebo více prvkům		
Orientace	Rovnoběžnosti	
	Kolmosti	
	Sklonu	
Umístění	Polohy	
	Soustřednosti a souososti	
	Souměrnosti	
Házení	Kruhového (obvodového a čelního)	
	Celkového (obvodového a čelního)	

U vystružených otvorů se obvykle hodnotí geometrické tolerance kruhovitosti a válcovitosti. Kruhovitost nebo válcovitost tolerovaného prvku je správná za předpokladu, že vzdálenost každého bodu prvku od obalové kružnice nebo obalového válce ideálního geometrického tvaru je nejvýše rovna hodnotě předepsané tolerance. Toleranční pole je tedy u kruhovitosti omezeno v dané rovině průřezu dvěma soustřednými kružnicemi vzdálenými od sebe o šířku mezikruží rovnou hodnotě tolerance kruhovitosti. Podobně je tomu tak i u válcovitosti, kde je toleranční prostor omezen dvěma souosými válci vzdálenými od sebe o hodnotu tolerance válcovitosti. V tabulce 1.2 jsou uvedena definiční schéma obou tolerancí spolu s jejich označením na výkresech.[2]

Tab. 1.2 Geometrické tolerance kruhovitosti a válcovitosti[2]

Schéma tolerančního pole (prostoru)	Označení na výkresech
Tolerance kruhovitosti	
	
Tolerance válcovitosti	
	

Požadované hodnoty geometrických tolerancí kruhovitosti a válcovitosti se u vystružených otvorů pohybují v řádech setin až tisícin milimetrů. Pro představu v článku měsíčníku MM průmyslové spektrum[3] se uvádí, že při použití vystružovací hlavice s břity z cermetu je dosahováno válcovitosti obrobené díry 0,003 mm.

1.3 Struktura povrchu

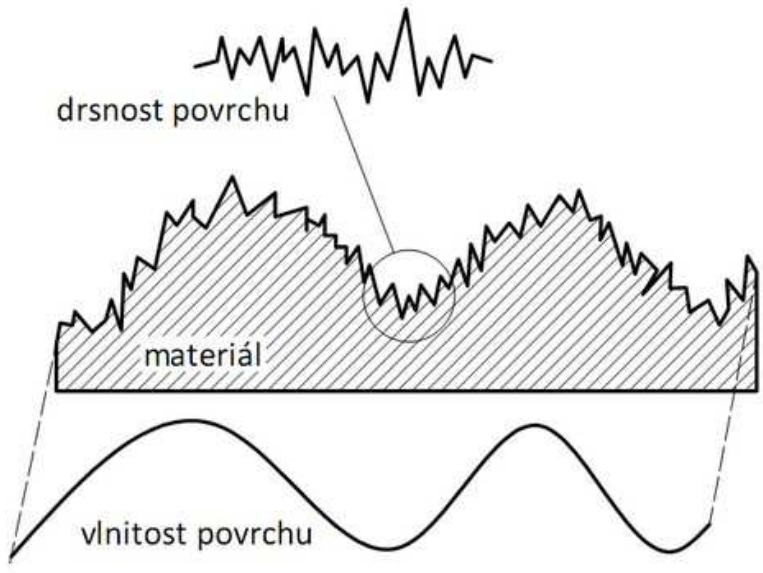
Dalším sledovaným a hodnoceným faktorem u vystružených otvorů je struktura povrchu. Jakákoliv technologická metoda zanechává na povrchu plochy nerovnosti, které ovlivňují funkci součásti. Při třískovém obrábění jsou tyto nerovnosti stopami, které zanechává řezný nástroj.[2]

Struktura povrchu je posuzována jako opakované nebo náhodné úchylky od geometrického povrchu, které tvoří trojrozměrnou topografii povrchu.[2] Kvůli měření a vyhodnocování struktury byla zvolena profilová metoda hodnocení, kdy profil povrchu je průsečnice nerovností skutečného povrchu s rovinou vedenou kolmo k tomuto povrchu.[2]

Z profilu povrchu lze pomocí přístrojů odvodit[2]:

- profil drsnosti (R-profil),
- profil vlnitosti (W-profil),
- základní profil (P-profil).

Základní profil je složka s největší roztečí nerovností a naopak profil drsnosti je složka s nejmenší roztečí nerovností povrchu, a proto je základem pro hodnocení parametrů profilů. Profil vlnitosti představuje jakousi makrogeometrii profilu drsnosti (viz. Obr. 1.3).[2,4]



Obr. 1.3 Drsnost a vlnitost povrchu[4]

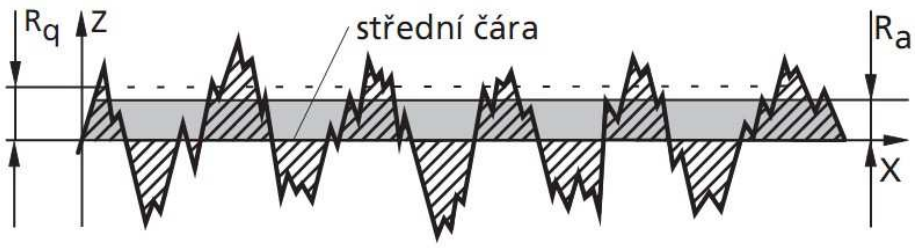
1.3.1 Parametry drsnosti povrchu

Existuje mnoho parametrů drsnosti, ale ve strojírenské praxi se jich používá jen několik. Zde jsou popsány jednotlivé nejpoužívanější parametry drsnosti podle firmy ZEISS[5].

Při měření drsnosti povrchu rozeznáváme různé dráhy (délky) měření[5]:

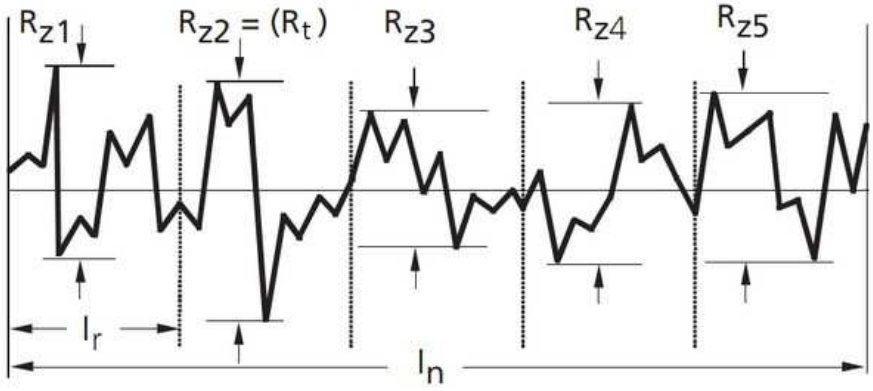
- **Snímaná dráha l_t** je dráha, kterou snímací systém projede pro zachycení snímaného profilu. Je to součet délky rozběhu, vyhodnocované délky l_n a délky doběhu.
- **Základní délka l_r** je část snímané dráhy l_t. Je rovna měřené dráze a je vztažnou dráhou pro vyhodnocování.
- **Vyhodnocovaná délka l_n** je ten díl snímané dráhy, který bude vyhodnocen. Ve standardním případě vyhodnocení drsnosti obsahuje pět za sebou jdoucích jednotlivých základních délek l_r.

Střední hodnota drsnosti Ra je aritmetickou střední hodnotou všech částí hodnot profilu drsnosti. Používá se také **střední hodnota drsnosti Rq**, která je kvadratickou střední hodnotou všech hodnot profilu drsnosti (viz obr. 1.4.).



Obr. 1.4. Střední hodnoty drsnosti[5]

Jednotlivá hloubka drsnosti R_{zi} je součtem výšky největší špičky profilu a hloubky největší prohlubně profilu drsnosti uvnitř základní délky l_r.



Obr. 1.5. Hloubky drsnosti[5]

Hloubka drsnosti Rz je aritmetická střední hodnota z jednotlivých hloubek drsnosti R_{zi} za sebou následujících základních délek l_{ri}.

Maximální hloubka drsnosti R_t (někdy označovaná jako R_{max}) je největší jednotlivá hloubka drsnosti uvnitř celkové vyhodnocované délky l_n (viz. Obr 1.5).

Základní jednotkou při vyhodnocování parametrů drsnosti je 1 µm (mikrometr). U vystružených otvorů se nejčastěji používá jako hodnotící parametr drsnosti střední hodnota drsnosti Ra nebo hloubka drsnosti Rz. Dosažitelná drsnost povrchu závisí na mnoha faktorech. Z největší části drsnost povrchu obrobeného otvoru ovlivňuje geometrie nástroje, počet břitů nástroje, řezný materiál i materiál obrobku, řezné podmínky a také jakost předběžného obrábění, tedy vrtání. Důležitým faktorem je také kvalita použitého obráběcího stroje, u kterého je požadována vysoká tuhost.[4] Při vystružování se dosahuje drsnosti povrchu Ra 0,2 až Ra 6,5 µm.[6] Například při použití výstružníku s cermetovými břity se dosahuje běžně drsnosti Ra 0,4 µm.[3]

2 VYSTRUŽOVACÍ NÁSTROJE

Vystružování je přesná dokončovací metoda obrábění předobrobených vnitřních rotačních ploch s předepsanými rozměrovými i geometrickými tolerancemi (IT5 – IT7) a s malou drsností povrchu obrobené plochy (Ra 02 – Ra 6,5).[6] Cílem vystružovacího procesu je vytvoření otvoru o vysoké kvalitě a jakosti, vzhledem k tomu jsou vysoké nároky kladeny také na nástroj.

Hlavní řezný pohyb je rotační a koná ho výstružník. Vedlejší řezný pohyb je translační a je konán také nástrojem. Obrobek je v klidu a je pevně upnut na stolu stroje. Výjimkou je vystružování na soustruhu. V tom případě koná hlavní řezný pohyb obrobek a vedlejší řezný pohyb výstružník upnutý v koníku.

Vystružování předchází vrtání a u děr nad 10 mm vyhrubování. V některých případech se místo vyhrubování používá vyvrtávání pomocí vyvrtávacích tyčí. Vystružovat je možné jak průchozí tak i slepé díry. Přídavek na vystružování nesmí být příliš malý, jinak by nástroj obráběný materiál neřezal, ale pouze tvářel, čímž by zhoršoval geometrické parametry, drsnost povrchu a také by se značně snižovala životnost nástroje. Přídavek na průměr vystružované díry se určuje podle vztahu[7]:

$$p = 0{,}1 + 0{,}005 \times D \text{ [mm]}, \qquad (2.1)$$

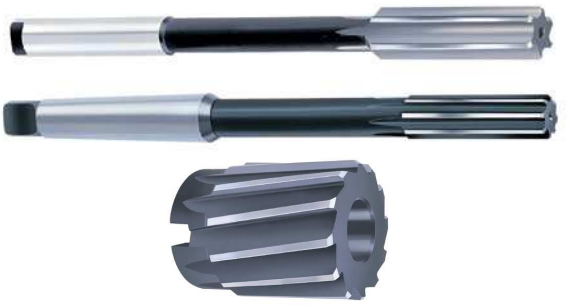
kde: D [mm] je jmenovitý průměr vystružované díry.

S malým přídavkem na obrábění souvisí i nutnost velice ostrých břitů na nástroji. Ty musí být co nejostřejší, s poloměrem zaoblení ostří r_n menším než 10µm. Toho lze dosáhnout kvalitním broušením a lapováním břitů.[7]

2.1 Rozdělení výstružníků

Existuje celá řada vystružovacích nástrojů, které se dají rozdělit podle několika hledisek, které zohledňují technologické nasazení, tvar a konstrukci výstružníků nebo způsob jejich upnutí (viz. tab. 2.1).

Tab. 2.1 Rozdělení výstružníků[8, 9, 10]

Rozdělení výstružníků		
podle tvaru nástroje		
válcové		
kuželové		
podle konstrukce		
pevné	monolitní	
	s pájenými břity	
rozpínací		
stavitelné		
podle způsobu upnutí		
stopkové	válcová stopka	
	kuželová stopka	
nástrčné		
podle použití		
ruční		
strojní		

Ruční výstružníky mají zpravidla válcovou stopku zakončenou čtyřhranem pro možnost upnutí nástroje do vratidla. Ruční i strojní výstružníky mohou mít přímé zuby nebo zuby ve šroubovici.

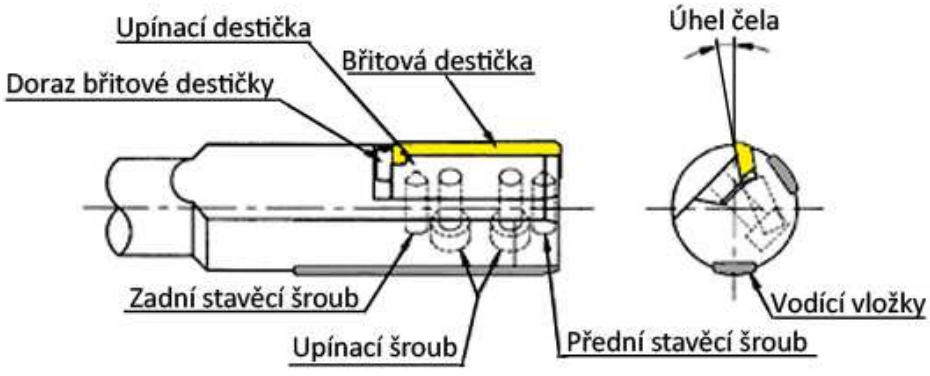
Pro možnou variabilitu rozměrů výstružníků, se používají rozpínací a stavitelné výstružníky. U rozpínacích výstružníků se vtlačováním kužele do kuželové díry dutý výstružník rozpíná a zvětšuje tak průměr obalové kružnice zubů. Stavitelné výstružníky mají zuby posuvné v kuželových drážkách na těle výstružníku a jejich posouváním se se mění rozměr výstružníku.[8]

Strojní výstružníky mají kratší pracovní část a upínány jsou za válcovou nebo kuželovou stopku, popř. u větších průměrů jsou výstružníky řešeny jako nástrčné. V současnosti se často používají tzv. vystružovací hlavice neboli modulární výstružníky, kde je pracovní část výstružníku vyjímatelná z držáku a při změně nástroje stačí vyměnit pouze hlavici v držáku (viz. např. obr. 4.4). Zvláštním druhem výstružníků jsou loupací výstružníky (viz. obr 2.1), které mají zuby v levotočivé šroubovici s úhlem stoupání 45. [6, 8]

Obr. 2.1 Strojní loupací výstružník[9]

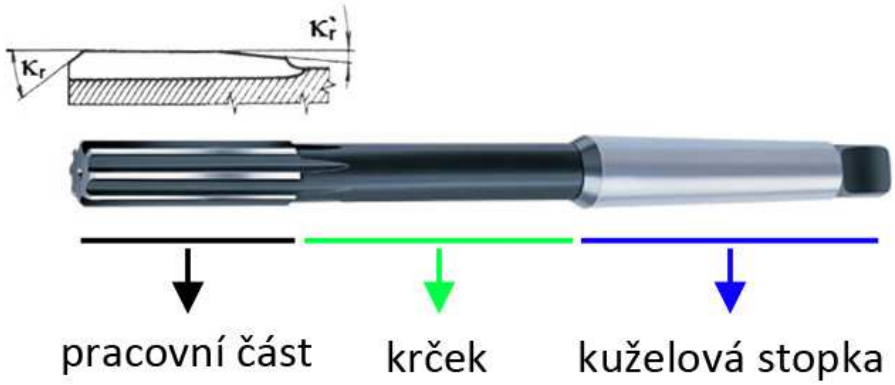
2.2 Geometrie a konstrukce výstružníků

Výstružníky jsou rozměrové jedno nebo vícebřité nástroje. Počet zubů výstružníku se odvíjí od průměru nástroje a u vícebřitých výstružníků se pohybuje v rozsahu od 3 do 18. Vícebřité výstružníky s přímými zuby mají obvykle různou rozteč mezi zuby, což zabezpečuje dobrou kruhovitost díry a vysokou kvalitu obrobeného povrchu. Různá rozteč mezi zuby také pozitivně působí na mechanické namáhání jednotlivých zubů nástroje. Jednobřité i vícebřité výstružníky mohou být monolitní nebo mají připájené či u větších průměrů mechanicky upevněné břitové destičky. V některých případech jsou výstružníky opatřeny několika vodícími vložkami (vodítky), které bývají ze slinutého karbidu a slouží k lepšímu vedení nástroje v obráběné díře. Jednobřité výstružníky s mechanicky připevněnou břitovou destičkou (viz. obr. 2.2) přivedla na trh firma Mapal, která je doposud vlastníkem patentu na určité konstrukční řešení těchto nástrojů. Jednobřité výstružníky dosahují vynikající geometrické přesnosti obrobené díry, ale nejsou zdaleka tak výkonné jako vícebřité výstružníky.



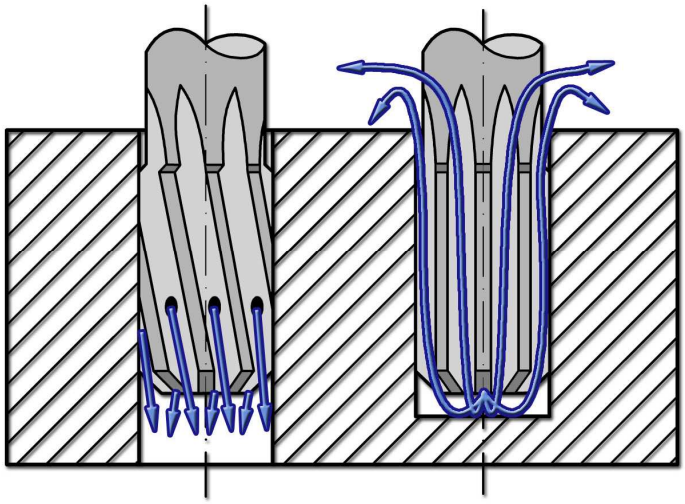
Obr. 2.2 Jednobřitý výstružník s mechanicky upevněnou břitovou destičkou [6]

2.2.1 Konstrukce nástroje



Obr. 2.3 Konstrukce strojního výstružníku[7]

Strojní výstružník se skládá z pracovní části, krčku a stopky, která může být válcová nebo kuželová (viz. obr 2.3).[8] V pracovní části nástroje jsou zuby, na jejichž začátku je umístěno hlavní ostří (viz. další kapitola o geometrii nástroje), dále následuje vedlejší ostří jako krátká válcová část, která slouží pouze k vedení nástroje a poté zuby pod malým úhlem nastavení vedlejšího ostří klesají až ke krčku, aby v této části nástroje nedocházelo ke tření nástroje s obrobenou plochou. Kuželové výstružníky nemají vodící válcovou část a hlavní ostří mají prakticky po celé pracovní části. Zuby výstružníků mohou být přímé nebo v levotočivé šroubovici. Sklon šroubovice je obvykle 5º÷20°. [7] Zuby ve šroubovici mají především výstružníky pro obrábění průchozích děr a to z důvodu efektivnějšího odvodu třísek z místa řezu.[7, 8]



Obr. 2.4 Provedení přívodu řezné kapaliny u průchozí a slepé díry[11]

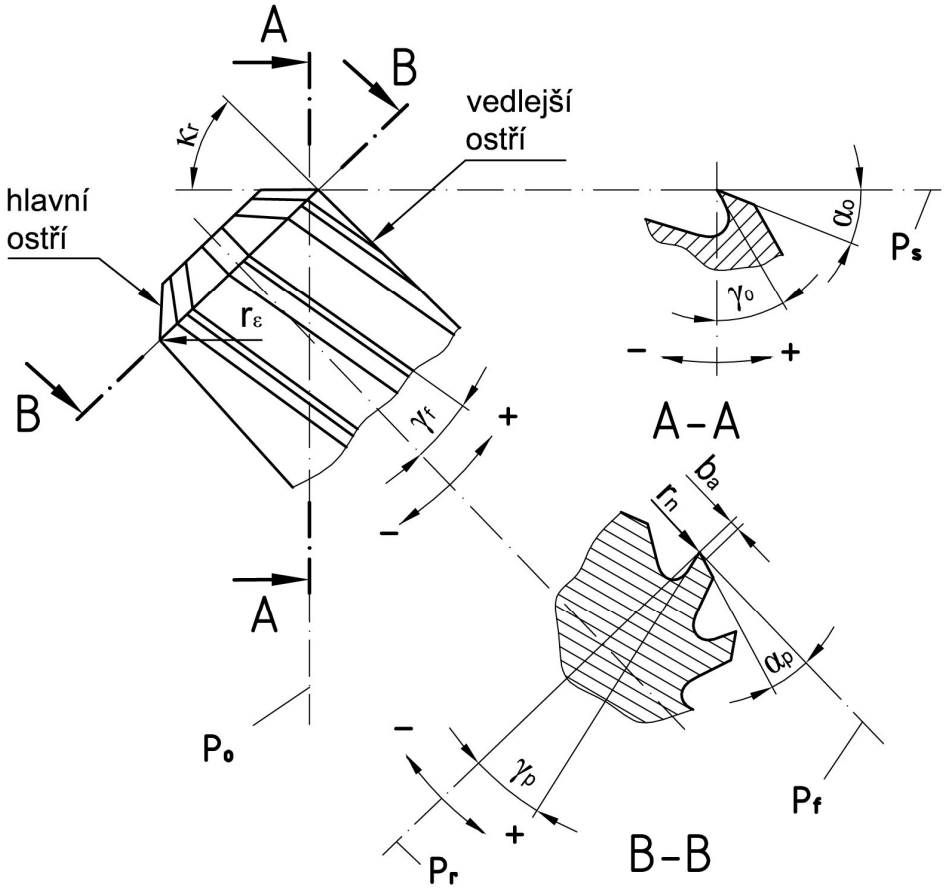
Většina výkonných strojních výstružníků již má vnitřní přívod procesní kapaliny. Ta má za úkol chladit nástroj a odvádět třísky z místa řezu. Výstružníky pro obrábění průchozích děr mají rozdílnou konstrukci přívodu procesní kapaliny než výstružníky pro obrábění slepých děr. U průchozích děr je potřeba aby byly třísky odváděny z místa řezu před nástroj a následně předobrobenou dírou ven z obrobku. Toho se dosáhne přívodem procesní kapaliny rozvádějícími kanálky přímo do zubových mezer nástroje. Naopak u slepých děr není

možné odvádět třísky před nástroj, a proto jsou odváděny zubovými mezerami nad povrch obrobku, kam je efektivně dopraví odražený proud procesní kapaliny přivedené středem nástroje (viz obr. 2.4).

Výkonné strojní výstružníky se nejčastěji vyrábějí s kuželovou stopkou a jsou upnuté v přesném upínači. Upínače pracují na mechanickém, tepelném nebo hydraulickém principu. Mechanické upínače nejčastěji využívají upínací kužele, které se zasunováním do kuželové díry smršťují a upínají nástroj. Tepelné upínače pracují na principu tepelné roztažností materiálů. Po zahřátí (nejčastěji indukční ohřev) se otvor v upínači zvětší a po zasunutí nástroje se opět smrští a pevně upne nástroj. Hydraulické upínače upínají stopku nástroje za pomocí tlaku kapaliny vyvozeného pístem, který je posouván zašroubováním šroubu.

2.2.2 Geometrie nástroje

Geometrie vystružovacího nástroje značným způsobem ovlivňuje celý obráběcí proces. Změna úhlu nebo rozměru na pracovní části nástroje může změnit nejen kvalitu obrobeného povrchu, ale i teplotu řezání, tvorbu třísky, velikost řezných sil a v neposlední řadě trvanlivost břitu.[12] Na obr. 2.5 je zobrazena geometrie pracovní části strojního výstružníku se zuby ve šroubovici.



Obr. 2.5 Geometrie strojního výstružníku[6]

Úhel nastavení hlavního ostří κ_r ovlivňuje tvar a velikost třísky s čímž souvisí i velikost měrné řezné síly k_c. Tento úhel má také vliv na velikost pasivní složku celkové řezné síly a to takový, že čím je úhel nastavení hlavního ostří menší, tím větší je pasivní síla. Změna velikosti pasivní síly způsobí změnu orientace celkové řezné síly. U strojních výstružníků se hodnota tohoto úhlu pohybuje v hodnotách od 5° do 30°. [12, 4, 13]

Úhel čela γ_o (γ_f, γ_p) má vliv na tvorbu třísky a její odvod z místa řezu. Menší hodnoty úhlu čela zvětšují celkovou řeznou sílu, ale zvyšují tuhost nástroje.[6a] U výstružníků se γ_o pohybuje v rozsahu od 0° až do 10°. [8, 13]

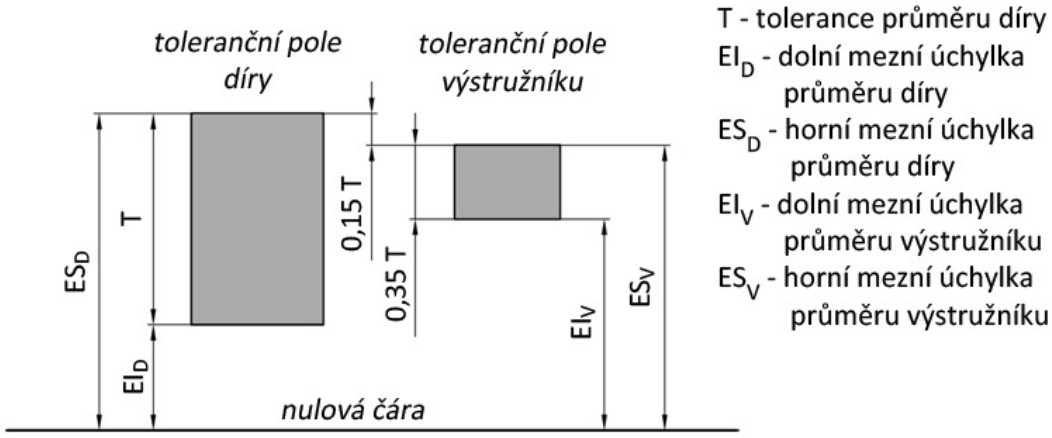
Úhel hřbetu α_0 (α_p) ovlivňuje podmínky tření na hřbetě nástroje a celkovou tuhost nástroje (menší α_0 = větší tuhost). Hodnoty úhlu hřbetu u výstružníků se pohybují v rozsahu od 5° do 12°. Vysoké hodnoty α_0 jsou určeny pro obrábění slitin hliníku.[12, 13]

Poloměr zaoblení špičky nástroje r_ε s rostoucí hodnotou přináší vyšší trvanlivost nástroje a zvětšuje pasivní sílu F_p. Poloměr zaoblení špičky má také značný vliv na strukturu povrchu obrobku.[12]

Poloměr zaoblení ostří r_n musí být, kvůli malé třísce, co nejmenší. Hodnota poloměru zaoblení ostří je ovlivněna použitým řezným materiálem.[tt]

Fazetka b_a se používá pro lepší vedení nástroje v obráběné díře a zvyšuje stabilitu nástroje. U vystružovacích nástrojů se její hodnota pohybuje v řádech desetin milimetrů.[8]

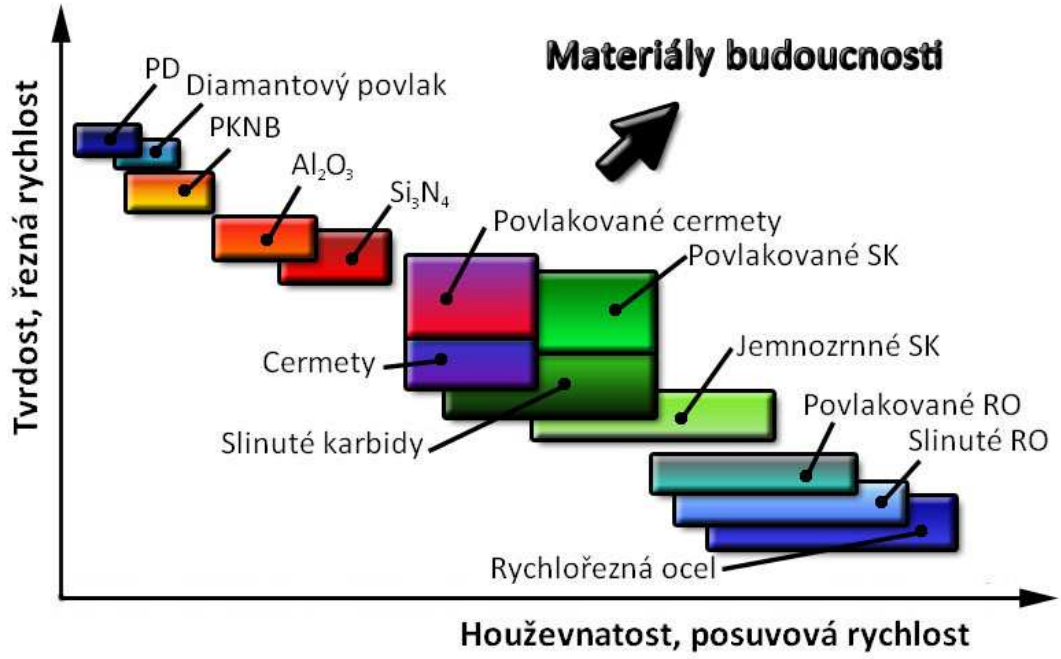
Kromě úhlů je důležitý zejména jmenovitý rozměr výstružníku. V případě, že vystružená díra má být vyrobena např. v tolerančním stupni IT7, je zřejmé, že nástroj musí být výroben ještě přesněji. V praxi se výstružníky vyrábějí tak, že velikost tolerančního pole výstružníku je rovna 35% velikosti tolerančního pole obráběné díry. Aby i po otupení nástroje ležel rozměr vystružené díry v toleranci, umisťuje se toleranční pole výstružníku do horní části tolerančního pole díry a to přesně tak, aby horní mezní rozměr výstružníku ležel pod horním mezním rozměrem díry ve vzdálenosti rovné 15% velikosti tolerančního pole díry (viz obr.2.6).[14]



Obr. 2.6 Poloha a velikost tolerančního pole výstružníku

3 ŘEZNÉ MATERIÁLY APLIKOVANÉ NA VYSTRUŽOVACÍCH NÁSTROJÍCH

Kvalita vystružovaného povrchu ve velkém měřítku souvisí s volbou řezného materiálu pro vystružovací nástroj. Řezný nástroj musí svými vlastnostmi odpovídat požadavkům, které jsou na něj kladeny (viz. obr 3.1). Zjednodušeně lze říci, že pro vysoké řezné rychlosti musí být nástrojový materiál tvrdý a pro vysoké posuvové rychlosti musí být zase dostatečně houževnatý. Pro vystružovací nástroje se nejčastěji používají jako řezné materiály slinuté karbidy (včetně povlakovaných), cermety (včetně povlakovaných), nástrojové oceli a pro náročné operace při obráběních tvrdých materiálů se v malém měřítku používají supertvrdé materiály jako je polykrystalický kubický nitrid bóru (PKNB) a polykrystalický diamant (PKD). Řezná keramika se jako řezný materiál u vystružovacích nástrojů doposud neprosadila. Z nástrojových ocelí se nejčastěji používá rychlořezná ocel (HSS), ale tento materiál není tak výkonný jako ostatní a tak se v moderní době používá jen v kusových či malosériových výrobách nebo u ručních výstružníků. V následujících kapitolách budou detailněji popsány slinuté karbidy a cermety včetně povlakovaných variant těchto materiálů.



Obr 3.1. Vliv mechanických vlastností nástrojového materiálu na pracovní podmínky[15]

Norma ČSN ISO 513 označuje a rozděluje nástrojové materiály podle druhu použitého řezného materiálu, ale také podle aplikační skupiny, která vyjadřuje aplikaci daného řezného materiálu, tj. pro jaké obráběné materiály je daný řezný materiál určen. Z jednoho označení tedy lze zjistit, o jaký řezný materiál se jedná a pro jaký obráběný materiál je určen. V tabulce 3.1 je celý systém označování popsán.

Tab. 3.1 Značení řezných a obráběných materiálů[16]

Označení řezných materiálů dle ČSN ISO 513

HT	–	P	05
1		2	3

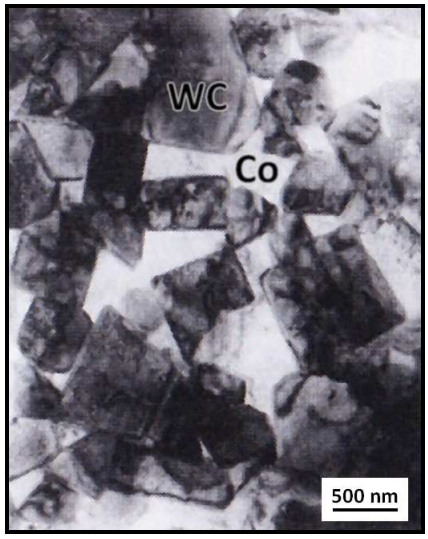
1 Skupiny řezného materiálu	
Slinuté karbidy	
HW	Nepovlakovaný slinutý karbid obsahující převážně karbid wolframu.
HT	Nepovlakovaný cermet obsahující převážně TiC, TiN nebo obojí.
HC	Slinuté karbidy stejné jako výše uvedené, ale s povlakem.
Keramika	
CA	Oxidová keramika obsahující převážně Al_2O_3..
CM	Smíšená keramika především z Al_2O_3. Obsahuje ale i jiné složky.
CN	Nitridová keramika obsahující převážně Si_3N_4.
CC	Keramika stejná jako výše uvedená, ale s povlakem.
Diamant	
DP	Polykrystalický diamant.
Nitrid bóru	
BN	Polykrystalický kubický nitrid bóru.

3
Dvojčíslí popisující množství pojivové fáze v řezném materiálu. Čím vyšší číslo, tím více pojiva, tzn. materiál je pevnější a houževnatější, je tedy možné použít vyšší posuvové rychlosti. Naopak čím menší číslo, tím je materiál tvrdší a otěruvzdornější, a proto je možné použít vyšší řezné rychlosti.

2 Skupiny obráběného materiálu	
P	Materiály tvořící dlouhou třísku: - oceli nelegované (tř. 10,11,12), - oceli legované (tř. 13-16), - nástrojové oceli (tř. 19), - ocelolitina (sk. 4226,4227) - feritické a martenzitické korozivzdorné oceli (tř. 17, lité 4229).
M	Materiály tvořící středně dlouhou třísku: - austenitické a feriticko austenitické oceli, - korozivzdorné, žáruvzdorné a žárupevné oceli nemagnetické a otěruvzdorné.
K	Materiály tvořící krátkou drobivou třísku: - šedá litina, - tvárná litina, - temperované litina.
N	Neželezné kovy.
S	Speciální žárupevné slitiny na bázi Ni, Co, Fe a Ti.
H	Zušlechtěné oceli s pevností nad 1500 MPa, kalené oceli HRC 48 – 60, tvrzené litiny HSh 55 – 85.

3.1 Slinuté Karbidy

Slinutý karbid (dále jen SK) je produkt práškové metalurgie a jedná se o řezný materiál obsahující tvrdé částice karbidu, které jsou vázány kovovým pojivem. Nejdůležitějším a nejpoužívanějším karbidem je karbid wolframu (WC), ke kterému mohou být připojeny další karbidy zlepšující vlastnosti materiálu jako např. karbid titanu (TiC), karbid tantalu (TaC) a karbid niobu (NbC). Jako kovové pojivo se nejčastěji používá kobalt (Co).[4] Na obr. 3.2 je TEM snímek struktury nejběžnějšího typu slinutého karbidu WC-Co.



Obr. 3.2 Struktura slinutého karbidu WC-Co[15]

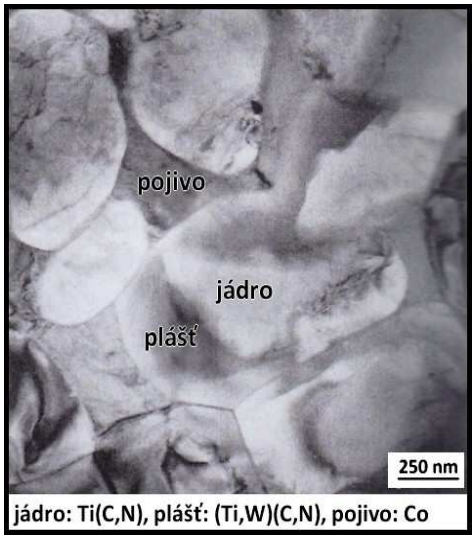
Je to nejrozšířenější řezný materiál na světě a to hlavně díky svému universálnímu použití (zejména povlakované SK). U všech materiálů vyrobených práškovou metalurgií platí jednoduché pravidlo. S rostoucím podílem pojivové fáze (Co) se zvyšuje houževnatost a pevnost materiálu v ohybu. Naopak s rostoucím podílem tvrdých částic (WC,…) se zvyšuje tvrdost, pevnost v tlaku a odolnost proti opotřebení. V praxi se množství Co v SK pohybuje od 6 do 17 hmotnostních %. Stejně jako složení, ovlivňuje i struktura vlastnosti materiálu. Jemnozrnné materiály jsou zpravidla tvrdší, houževnatější a pevnější v ohybu než hrubozrnné materiály. Moderní technologie umožňuje vyrobit SK se zrny nanometrických rozměrů (až 0,1 μm), což umožňuje vyrábět osové nástroje s průměry v řádech desetin mm.[15]

S rostoucí teplotou klesají mechanické vlastnosti SK a to zejména tvrdost, pevnost v ohybu a pevnost v tlaku. Limitní teploty lze zvyšovat používáním jemnozrnných SK, které si zachovávají velmi dobré vlastnosti až do 800℃. [15]

Slinuté karbidy jsou v současnosti nejpoužívanějším řezným materiálem pro vystružovací nástroje. Výstružníky z nepovlakovaného SK jsou v současné době vhodné hlavně pro obrábění slitin hliníku. Povlakované SK mají naproti tomu širší využití a používají se prakticky pro všechny aplikační skupiny obráběných materiálů (P-H).

3.2 Cermety

Název CERMET vznikl složením prvních tří hlásek slov „CERamics“ (keramika) a „METal“ (kov). Z jeho názvu je patrné, že by tento materiál měl být tvrdý jako keramika a zároveň houževnatý jako kov. Ve skutečnosti to tak ale není, protože takovýto materiál se doposud vyrobit nepodařilo a název pravděpodobně vznikl na základě prvních nadšeneckých reakcí objevitelů. Dnes se jako cermety označují slinuté materiály s tvrdou fází tvořenou zejména TiC, TiN, Ti(C,N), Mo_2C (popřípadě jejich kombinací) a s pojivovou fází nejčastěji tvořenou Ni a Co. Podle normy ČSN ISO 513 jsou cermety označovány symbolem HT.[15]



Obr. 3.3 TEM snímek mikrostruktury cermetu[15]

Nástroj z cermetu může být použit pro vyšší posuvové rychlosti než nástroje z řezné keramiky a ve srovnání s konvenčními slinutými karbidy nabízí cermety výhodu několikanásobně vyšších řezných rychlostí, protože TiC je termochemicky stabilnější než WC. Mají ale nižší houževnost a tak je jejich aplikace zaměřena hlavně na lehké a střední řezy. Díky vynikající odolnosti proti adhezi a nízké náchylnosti k reakci s obráběným materiálem, vytvářejí cermety při obrábění plochy s velmi nízkou drsností povrchu, a proto jsou velmi rozšířeným řezným materiálem hlavně pro dokončovací obrábění.[15]

Kvůli své nízké houževnatosti nevyvolávaly cermety v počátku svého vývoje velkou pozornost v Evropě ani v USA. Velmi uznávány byly ale v Japonsku, protože se jednalo o levný a snadno dostupný materiál pro řezné nástroje. Vývoj cermetů byl tedy prováděn hlavně v Japonsku a zbytek světa začal mít o tento materiál zájem až v polovině 80. let 20. století, protože se skutečně osvědčil jako řezný materiál vhodný pro dokončovací obrábění vysokými řeznými rychlostmi.[15]

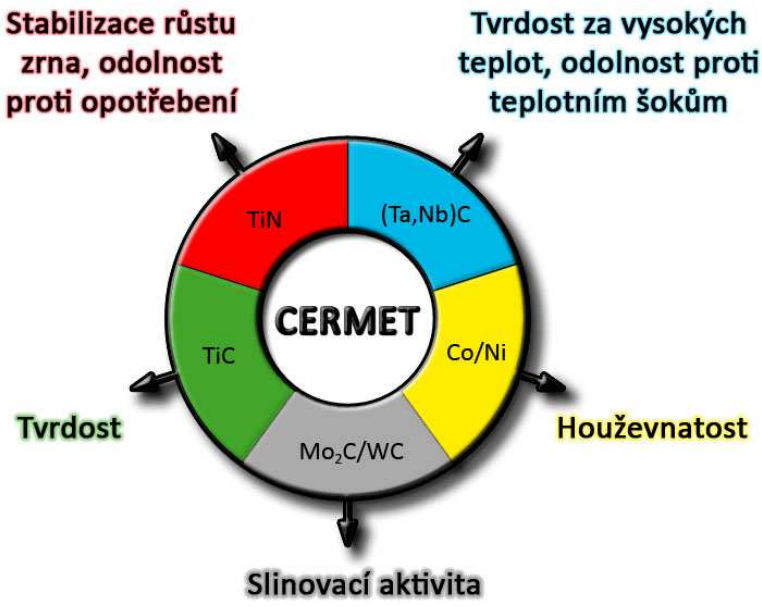
Existuje několik vývojových generací cermetů lišících se chemickým složením a strukturou. Hlavní pozornost při výrobě cermetů byla kladena na zvýšení pevnosti a odolnosti proti vydrolování. Po několika letech výzkumu se do-

šlo k závěru, že nejlepších výsledků lze dosáhnou s cermety na bázi TiC-TiN., které jsou oproti přechozím generacím odolnější proti opotřebení a vydrolování, a proto je dnes většina cermetů založena na bázi TiC-TiN.[15]

Cermet, jako relativně křehký materiál v počátečním stádiu, získal postupem vývoje větší houževnatost a stal se vhodným řezným nástrojem pro náročné operace. Mezi něž nepatří už jen dokončovací operace, ale dnes se jedná už i o frézování nebo soustružení korozivzdorných ocelí.[4]

3.2.1 Struktura a vlastnosti

Dnešní cermety obsahují jako hlavní tvrdou složku karbid titanu s nitridem titanu (TiC+TiN) nebo karbonitrid titanu (Ti (C_xN_{1-x})) a jako kovové pojivo spojující karbonitridickou fázi obsahují nikl (Ni), kobalt (Co) nebo jsou v pojivu obsaženy oba dva prvky. V rozmezí 20 až 40 hmotnostních procent obsahují cermety další složky, jako jsou Mo_2C, WC, TaC, NbC a VC, které zlepšují slinovatelnost, tvrdost z vysokých teplot a odolnost proti teplotním šokům. Ve srovnání s cermety na bázi karbidu titanu, mají cermety na bázi karbonitridů titanu vyšší tvrdost za vysokých teplot, vyšší pevnost v ohybu, odolnost proti tvorbě nárůstku a výmolu na čele nástroje.[15]



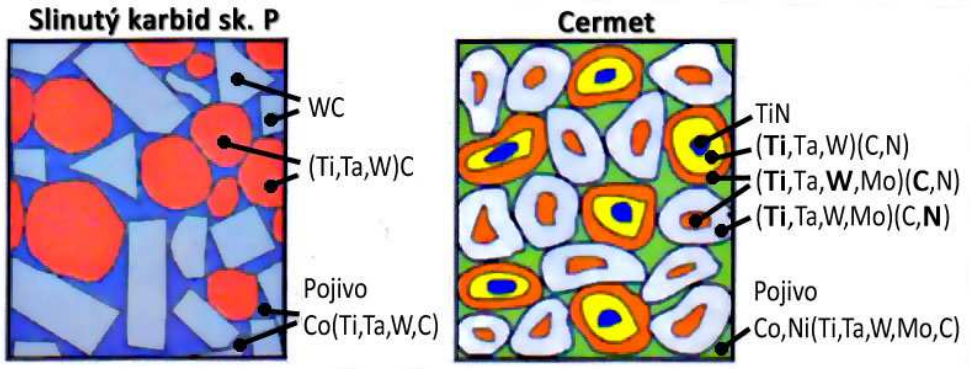
Obr. 3.4 Vliv základních složek na vlastnosti cermetu[15]

Vlastnosti cermetů, lze řídit pomocí změny obsahu jednotlivých základních složek (obr 3.4). Vlivy jednotlivých složek jsou následující[15]:

- TiC a TiN: zvýšení tvrdosti,
- (Ta,Nb)C: zlepšení řezného výkonu při přerušovaném řezu,
- WC a Mo_2C: dosažení plné hustoty při slinování.

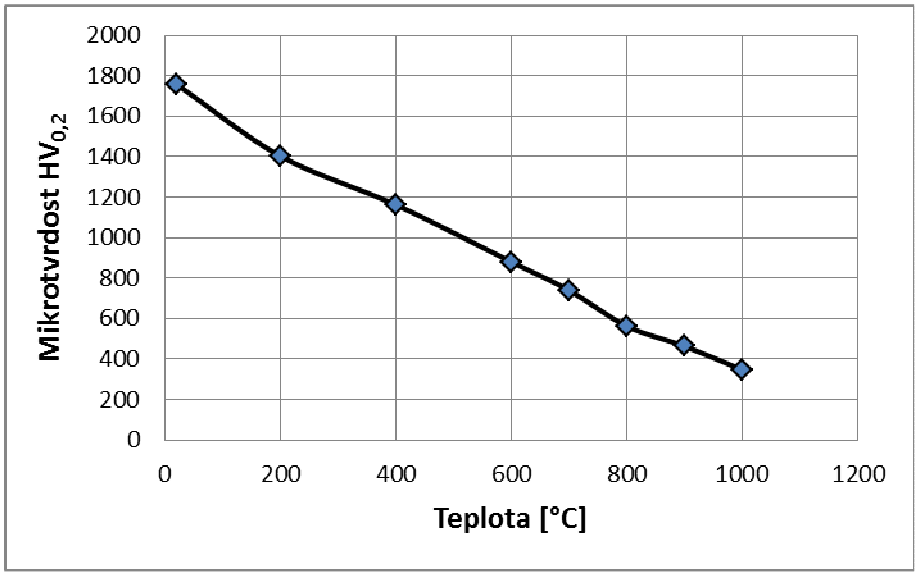
Jak již bylo uvedeno, základním pojivem cermetů je nikl, ke kterému se přidává kobalt (v rozsahu Ni/(Ni+Co) = 0,3÷0,8) za účelem snížení rozpustnosti Ti v Ni a stabilizaci karbonitridů. V poslední době se namísto kobaltu do pojivové fáze přidává navíc k niklu chrom, který zvyšuje smáčivost, houževnatost, vysokoteplotní pevnost a odolnost proti oxidaci.[15]

Ve srovnání se slinutými karbidy mají cermety mnohem složitější strukturu (viz. obr. 3.5). Obecně se cermety skládají ze dvou fází. Jednou je tvrdá fáze, která zajišťuje vysokou tvrdost (karbonitridů titanu) a druhou je kovové pojivo, které spojuje tvrdou fázi a zajišťuje houževnatost (Ni, Co, Ni+Co, Ni+Cr). Karbidonitridická zrna vykazují strukturu jádro – plášť (viz. obr 3.3). Černá jádra Ti(C,N) jsou obklopena šedými plášti složitých kubických karbonitridů (Ti, W, Mo, Nb, Ta, ...)(C,N).[15]



Obr. 3.5 Porovnání mikrostruktury SK a cermetu[15]

Stejně jako u slinutých karbidů i u cermetů s rostoucí teplotou klesá tvrdost. V grafu na obr. 3.6 je znázorněn pokles mikrotvrdosti ($HV_{0,2}$) pro cermet obsahující složky TiC, TiN, WC, (Ta,Nb)C, C, Co, Ni.[15]



Obr. 3.6 Závislost tvrdosti cermetů na teplotě[15]

Aby se předešlo předčasnému opotřebení nástroje, je potřeba ho dobře chladit. Nejideálnější je zajištění centrálního přívodu chladícího a mazacího média s jeho rozdělením do každé zubové mezery.

V tabulce 3.2 jsou popsány výhody a nevýhody cermetů v porovnání se slinutými karbidy na bázi wolframu opatřené povlakem. Z výčtu vlastností cermetů je zřejmé, že cermety nelze používat pro hrubovací operace a jejich využití spočívá v dokončovacích operacích, kde je plně využit jejich potenciál.

Tab. 3.2 Porovnání cermetů s povlakovanými SK[4]

Výhody	Nevýhody
neměnící se stabilita břitu při malých a konstantních zatíženích	příliš malá pevnost břitu při středních a vyšších posuvech
lepší a déletrvající schopnost vytváření kvalitních povrchů	příliš malá houževnatost při střídavém středním až těžkém zatížení břitu
větší vhodnost pro obrábění vyššími řeznými rychlostmi	příliš malá odolnost proti abrazivnímu opotřebení
větší odolnost proti opotřebení ve tvaru vrubu na hřbetě břitu	příliš malá odolnost proti opotřebení na čele ve tvaru žlábku
vhodnější pro vytváření dobrých povrchů při obrábění materiálů se sklonem k tvorbě nárůstku	příliš malá odolnost proti nárazovým zatížením

3.2.2 Aplikace cermetů

Obecně lze zaměřit aplikaci cermetů na operace s malými, přesně definovanými přídavky na obrábění, při použití středních až vysokých řezných rychlostí, při středních posuvech a v takových případech, u nichž jsou trvanlivost břitu a jakost obrobeného povrchu hlavními kritérii.[4] Přesně taková kritéria jsou kladena na vystružovací operace, a proto je cermet velmi vhodným řezným materiálem pro vystružovací nástroje.

V praxi je hlavním faktorem ekonomické hledisko výroby, a proto je důležitá především trvanlivost (a životnost) nástroje. Při vystružování houževnatých ocelí a šedých litin mají břity z cermetu mnohonásobně vyšší trvanlivost než břity z ostatních řezných materiálů, a proto je s nimi možné obrobit větší množství děr, což znamená podstatné snížení výrobních nákladů.

Při obrábění tvrdých ocelí, litin, Al slitin a neželezných kovů nedosahují cermety takových řezných rychlostí, jaké mohou být použity u tvrdých řezných materiálů, jako jsou PKD, PKNB a řezná keramika. Ale v případě snížení řezných rychlostí, je možné cermety aplikovat a výrazně tím snížit náklady na jeden břit. Při obrábění houževnatých ocelí a šedých litin mohou cermety, v porovnání s nepovlakovanými slinutými karbidy, pracovat při mnohonásobně vyšších řezných rychlostech a dosahují znatelně kvalitnějšího povrchu obrobené plochy. Ani povlakované slinuté karbidy při obrábění těchto materiálů zdaleka nedosahují stejných řezných rychlostí jako cermety a i přesto jsou

cermety při polohrubovacích a dokončovacích operacích levnějším a trvanlivějším řezným materiálem.[7] V tabulce 3.3 jsou porovnány aplikace cermetů a ostatních řezných materiálů.

Tab. 3.3 Aplikace cermetů[7]

Nástrojový materiál	Aplikace	Analýza
PD	Obrábění slitin AL vysokými řeznými rychlostmi. Neželezné kovy a nekovové materiály.	Lze použít cermety, ale při nižších řezných rychlostech; náklady na jeden břit jsou při jejich použití výrazně nižší.
PKNB	Tvrdé obrobky a obrábění šedých litin vysokými řeznými rychlostmi.	Nelze obrábět pomocí cermetů při stejných rychlostech; náklady na jeden břit jsou u cermetů výrazně nižší.
Řezná keramika lisovaná za studena	Vysokorychlostní obrábění ocelí a litin.	Cermety jsou univerzálnější a levnější, ale nemohou pracovat při vysokých řezných rychlostech.
Řezná keramika lisovaná za tepla	Obrábění tvrdých obrobků, vysokorychlostní dokončovací obrábění ocelí a litin.	Tvrdé obrobky nelze obrábět pomocí cermetů; oceli a litiny nelze obrábět při stejných rychlostech; cermety jsou univerzálnější a levnější.
Řezná keramika Si_3N_4	Hrubovací a polohrubovací obrábění šedých litin vysokými řeznými rychlostmi za nepříznivých podmínek.	Pomocí cermetů nelze obrábět šedé litiny při stejných řezných rychlostech, ale při středních rychlostech mohou být levnější.
Povlakované SK	Obecné použití pro obrábění ocelí (včetně korozivzdorných), šedých litin, atd.	Cermety mohou pracovat při vyšších řezných rychlostech, mají vyšší trvanlivost a jsou levnější při polohrubovacích a dokončovacích operacích.
Slinuté karbidy	Houževnaté nástrojové materiály pro nižší řezné rychlosti a různé obráběné materiály.	Cermety mohou pracovat při vyšších řezných rychlostech, zaručují lepší obrobenou plochu.

3.3 Povlakované slinuté karbidy a cermety

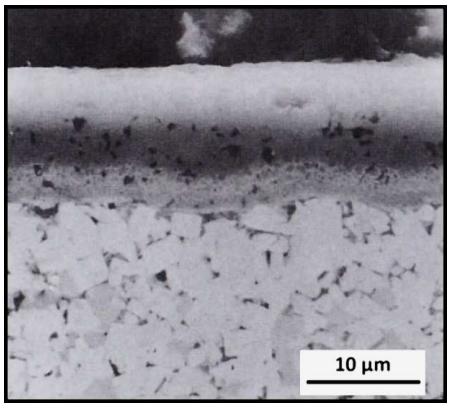
Velmi důležitý stupeň ve vývoji řezných materiálu nastal v 60. letech 20. století, kdy byly do výroby zavedeny vyměnitelné břitové destičky s tenkými povrchovými vrstvami (povlaky) z tvrdého materiálu.[15] Tyto povlaky byly tlusté jen několik μm, ale velmi významným způsobem zvýšily výkonnost obráběcích nástrojů prakticky ze dne na den. Použití povlakovaných břitových destiček umožňovalo, díky vyšší tepelné odolnosti, podstatné zvýšení řezných rychlostí, posuvových rychlostí a také se prodloužila trvanlivost břitu. Trvanlivost povlakovaných břitových destiček byla ve srovnání s nepovlakovanými mnohonásobně vyšší a to hlavně kvůli výhodné kombinaci dvou faktorů sestávajících z houževnatého základního materiálu destičky (SK) a otěruvzdorné vrstvy tvrdého materiálu povlaku.[4]

Povlaky lze aplikovat buď na jednotlivé břitové destičky, nebo přímo na celou řeznou část monolitního nástroje. Nejpoužívanější materiály pro povlakování jsou karbid titanu (TiC), nitrid titanu (TiN), oxid hlinitý (Al_2O_3) a karbonitridů titanu (TiCN). Porovnání vlastností jednotlivých povlakovaných materiálů jsou popsány v tabulce 3.4. TiC je nejtvrší (až 3000 HV) a nejodolnější proti abrazivnímu opotřebení. TiN je měkčí a s tím souvisí i menší otěruvzdornost, ale na druhou stranu je termodynamicky stabilní a odolný proti tvorbě výmolu na čele nástroje. Parametry vlastností TiCN se pohybují někde mezi parametry TiC a TiN. Al_2O_3 má nejvyšší otěruvzdornost při vysokých teplotách, tj. při vysokých řezných rychlostech. Optimální kombinací vrstev povlaku lze dosáhnout požadovaných vlastností povlakovaných nástrojů pro různé aplikace.[15]

Tab.3.4 Obecné porovnání vlastností základních povlakových materiálů[12, 4]

Hodnocení	Chemická stabilita	Odolnost proti oxidaci	Tvrdost	Tvrdost za tepla	Adheze k podkladu
Nejlepší	Al_2O_3	Al_2O_3	TiC	Al_2O_3	TiC
↑	TiAlN	TiAlN	TiCN	TiAlN	TiCN
	TiN	TiN	Al_2O_3	TiN	TiAlN
	TiCN	TiCN	TiAlN	TiCN	TiN
Špatná	TiC	TiC	TiN	TiC	Al_2O_3

Z počátku se používaly jednovrstvé povlaky (povlaky 1. a 2. generace), ale postupem vývoje se zjistilo, že lepších výsledků se dosahuje s použitím vícevrstvých povlaků, které měly 2 až 3 vrstvy (povlaky 3. generace). Jednotlivé vrstvy jsou odděleny ostrými přechody a řazení vrstev odpovídá jejich vlastnostem. Jako první jsou na podklad nanášeny vrstvy, které mají dobrou přilnavost k podkladu a jsou relativně méně otěruvzdorné (TiC,TiCN). Jako poslední jsou nanášeny tvrdé a otěruvzdorné vrstvy, které naopak nemusí mít dobrou přilnavost k povrchu (Al_2O_3,TiN). V praxi bývají jednotlivé vrstvy řazeny v následujícím pořadí: TiC-TiN, TiC-TiCN-TiN, TiC-Al_2O_3-TiN. Na obr. 3.7 je SEM snímek řezu břitové destičky (podklad SK - P, povlak TiC+Al_2O_3).[15]



Obr. 3.7 Povlakovaný SK (substrát P, povlak TiC+Al_2O_3)[15]

Statistiky ukazují trend náhrady dožívajících vrstev TiN a TiCN vrstvami na bázi TiAlN.[17] Narůstající podíl těchto vrstev vychází z jejich základních vlastností a požadavků průmyslu. Historicky nejstarší vrstvy TiN dosahují tvrdosti HV do 23 GPa a pracují při maximální teplotě 600℃. Požadavek na vyšší abrazivní odolnost vedl k vývoji velmi tvrdých vrstev TiCN s tvrdostí HV až 35 GPa, ale jejich maximální pracovní teplota je jen 450℃. T řetí vývojovou skupinou jsou již zmiňované vrstvy TiAlN, které dosahují tvrdosti HV až 33 GPa a mají vysokou maximální pracovní teplotu, která někdy přesahuje i 800℃. [17] Tímto splnily vrstvy TiAlN dva hlavní požadavky na vysokou abrazivní odolnost a chemickou stabilitu při vysokých teplotách, a proto je nárůst jejich aplikace v průmyslu vcelku logický.[17] Pro další zlepšení vlastností se do vícesložkových povlaků typu TiAlN přidávají prvky jako Cr (oxidační odolnost), Si (tvrdost a odolnost proti chem. reakcím), B (odolnost proti abrazivnímu opotřebení).[15]

Vrstvy povlaku většinou nemají tloušťku větší než 1-15 µm, protože příliš tlustá vrstva negativním způsobem ovlivňuje výkonost břitové destičky. S rostoucí tloušťkou povlaku sice roste odolnost proti opotřebení, ale současně roste křehkost a sklon k odlupování vrstvy. Podle nejvrchnější vrstvy povlaku mají povlakované materiály různou barvu. Nitrid titanu má atraktivní zlatou barvu, karbid titanu je šedý a oxid hlinitý má černou barvu.[4] Na obrázku 3.8 jsou výstružníky s vrchní vrstvou povlaku z TiN.

Obr. 3.8 Výstružníky s povlakem TiN[18, 19]

Nejmodernější technologie umožňují vytvářet speciální vícevrstvé „multivrstvé“ povlaky (povlaky 4. generace), které jsou často složeny z více než deseti vrstev. Jednotlivé vrstvy jsou ze stejných materiálů, jaké se používají u povlaků 3. generace. Největší výhoda multivrstvých povlaků je schopnost odklánět a zpomalovat šíření trhlin od povrchu povlaku k substrátu. Mezi povlaky 4. generace se také řadí diamantové, nanokompozitní, gradientní, supermřížkové, inteligentní povlaky a povlaky z kubického nitridu bóru.[15]

V tabulce 3.5 jsou uvedeny doporučené řezné rychlosti při vystružování různých obráběných materiálů za použití výstružníku ze slinutého karbidu a výstružníku z cermetu jak nepovlakovaného tak i povlakovaného. Jedná se o výstružník s centrálním přívodem chladícího a mazacího média VRV firmy HAM-FINAL (viz obr. 3.9)

Obr 3.9 Výstružník s centrálním chlazením VRV firmy HAM-FINAL[20]

Tab. 3.5 Dop. řezné podmínky pro výstružníky z různých řezných materiálů[20]

Posuv na otáčku: ød < 8 mm » f=0,2 – 0,4 mm ød > 8 mm » f=0,3 – 0,6 mm	**Řezný materiál**			
	SK	SK povlakovaný	Cermet	Cermet povlakovaný
Obráběný materiál	v_c [m/min]			
Ocel k zušlechtění	12-20	18-24	90-170	110-190
Cementační ocel	15-25	18-26	100-150	150-190
Automatová ocel	22-30	28-40	110-150	150-240
Konstrukční uhlíková ocel	22-30	30-45	120-200	140-240
Šedá litina	28-48	110-170	nevhodné	160-250
Feritické tv. litina	20-38	38-80	110-190	140-240
CrNi ocel	nevhodné	25-35	nevhodné	nevhodné
Hliníková slitina	40-110	nevhodné	nevhodné	nevhodné

Doporučené řezné podmínky v tabulce 3.4 potvrzují, že výstružníky z cermetu jsou schopné obrábět řeznou rychlostí, která je až několikanásobně vyšší než při použití výstružníků ze slinutého karbidu. Největší rozdíly jsou znát při obrábění uhlíkových konstrukčních ocelí a automatových ocelí, kde jsou řezné rychlosti u cermetových výstružníků vyšší až o 200 m/s. Při aplikaci povlakovaného nástroje je možné použít ještě o několik desítek m/s vyšší řeznou rychlost. Znovu platí, že u povlakovaných cermetových výstružníku je toto navýšení řezné rychlosti vyšší než u povlakovaných výstružníku ze slinutého karbidu.

3.4 Metody povlakování

Na podklad z SK nebo cermetu, který je již odmaštěný a vyčištěný se nanáší tenká vrstva materiálů, který má vysokou tvrdost a odolnost proti opotřebení. Tyto vlastnosti jsou způsobené hlavně tím, že povlakový materiál, na rozdíl od substrátu, neobsahuje žádné pojivo a také má jemnější zrnitost. Povlaky se na břitové destičky, nebo na celé nástroje, dají nanášet různými technologiemi.[15] Základní dvě metody jsou[15]:

- PVD (Physical Vapour Deposition – fyzikální napařování),
- CVD (Chemical Vapour Deposition – chemické napařování).

3.4.1 Metoda CVD

Metoda CVD je obecně nejrozšířenější metodou povlakování slinutých karbidů. Tato technologie je založena na chemické reakci různých plynných sloučenin v plazmě (při teplotách 1000-1200 ℃). Nap říklad u povlaků z TiC se jedná o plyny vodíku, chloridu titanu a metanu. Při povlakování oxidem hlinitým se používá chlorid hlinitý nebo dusík. Metoda CVD je vhodná pro vytváření vícevrstvých povlaků, protože při průběhu povlakování lze jednoduše regulovat množství různých přiváděných plynů. Výhody a nevýhody povlakování metodou CVD jsou popsány v tabulce 3.6.[4,15]

Tab 3.6 Výhody a nevýhody CVD technologie[15]

Metoda CVD	
Výhody	Nevýhody
▪ vysoká hustota povlaku, ▪ vysoká teplotní stabilita povlaku, ▪ vysoká homogenita povlaku, ▪ vynikající adheze k podkladovému materiálu, ▪ dobrá stechiometrie povlaku, ▪ možnost vytvářet složité vrstvy, ▪ ekonomická výhodnost tvorby silných vrstev povlaků, ▪ povlakování předmětu ze všech stran, ▪ relativně nízké pořizovací i provozní náklady.	▪ vysoké pracovní teploty (nepříznivý vliv na vlastnosti povlak. předmětu), ▪ nelze vytvářet některé typy povlaků (např. kombinace různých kovů – TiAlN), ▪ nelze napovlakovat ostré hrany, ▪ vysoká energetická náročnost, ▪ dlouhý pracovní cyklus (8-10 hodin), ▪ ekologicky nevyhovující plynné směsi, ▪ tahová napětí ve vrstvě (rozdílný koeficient délkové roztažnosti).

CVD metoda může být realizována ve čtyřech variantách[15]:

- tepelně indukovaná,
- plazmaticky aktivovaná,
- elektronově indukovaná,
- fotonově indukovaná.

Přestože je CVD metoda nejpoužívanější metodu pro povlakování SK, nepoužívá se pro povlakování výstružníků či břitových destiček pro vystružování. Důvodem je zejména jedna z nevýhod této metody, a to nemožnost povlakování ostrých hran.

3.4.2 Metoda PVD

U metody PVD jsou povlaky vytvářeny za sníženého tlaku (0,1-1 Pa) kondenzací částic, které jsou fyzikálními metodami uvolňovány ze zdroje částic (terče).[15] Procesní teploty jsou zhruba poloviční než u technologie CVD (500℃). Vrstva nanesená technologií PVD má obvykle tloušťku 3 až 5 μm a je tenčí než srovnatelná vrstva nanesená technologií CVD.[4] Výhody a nevýhody metody PVD jsou uvedeny v tab. 3.7. Mezi základní fyzikální metody PVD povlakování patří[15]:

- napařování,
- naprašování,
- iontová implementace.

Tyto metody se nadále dělí na další skupiny podle použité technologie. Průmyslově jsou nejvíce využívány dvě metody - magnetronové naprašování (magnetron sputtering) a odpařování nízkonapěťovým elektrickým obloukem (arc evaporation), které jsou podrobněji popsány v následujících kapitolách. [21]

Tab. 3.7 Výhody a nevýhody PVD technologie[xx]

Metoda PVD	
Výhody	Nevýhody
▪ neovlivňuje vlastnosti substrátu, ▪ tlaková napětí ve vrstvě, ▪ vrstvy přesných tlouštěk, ▪ schopnost povlakovat ostré hrany, ▪ lze vytvářet typy povlaků s kombinacemi různých kovů (TiAlN), ▪ ekologicky šetrná metoda.	▪ nemožnost povlakování odvrácených míst nástroje, ▪ důkladnější příprava povrch substrátu, ▪ tenká vrstva povlaku, ▪ méně druhů povlaků.

Povrch substrátu není při PVD metodě ovlivněn, protože proces probíhá za relativně nízkých teplot. Schopnost povlakování ostrých hran souvisí s malou tloušťkou nanášené vrstvy, která nevytváří moc velké zaoblení břitu. Zbytkové tlakové napětí brání šíření vzniklých trhlin a tím pozitivně ovlivňuje celkovou životnost nástroje. Velkou nevýhodou PVD metody je že, na plochách, které neleží ve směru pohybu odpařovaných nebo odprašovaných částic, se vytváří nedokonalá vrstva povlaku (tzv. stínový efekt). Proto se musí s povlakovanými předměty pohybovat např. v rotačních držácích (obr. 3.10), v kterých nástroj koná několik sdružených rotačních pohybů najednou, čímž je zajištěno rovnoměrné nanášení povlaku na všechny strany nástroje.[15]

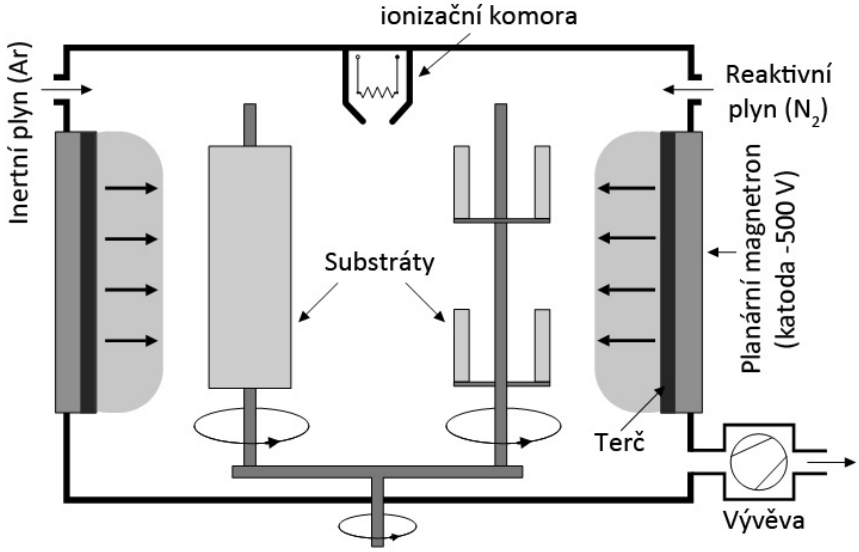
Obr. 3.10 Rotační držák nástrojů ve firmě CemeCon

Metoda PVD se ve velkém rozsahu používá pro povlakování nástrojů z HSS (rychlořezná ocel). V poslední době ale dochází k velkému rozvoji PVD metod a jejich aplikace se rozšiřují i na povlakování ostatních řezných materiálů, jako jsou slinuté karbidy a cermety. V tom případě musí být ale proces povlakování pečlivě sladěn s řezným materiálem nástroje či břitové destičky. Velmi dobrých výsledků dosahuje technologie PVD při nanášení povlaků na složité profily a na velmi ostré hrany nástrojů, které mají poloměr zaoblení ostří menší než 20 µm. Mezi takové nástroje patří např. výstružníky, stopkové frézy, vrtáky a další.[4, 15]

3.4.3 Magnetronové naprašování

Magnetronové naprašování (magnetron sputtering) funguje na principu depozice částic oddělených z povrchu zdroje (terče) fyzikálním odprašovacím procesem.[15] Při elektrickém výboji v plynné atmosféře komory, kterou tvoří inertní a reaktivní plyn (např. Ar + N_2), vznikají kladné ionty (katony), které bombardují katodu z čistého kovu (terč), na kterou je připojen záporný pól elektrického napětí (-0,5 až - 5 kV). Vysoká kinetická energie iontů vyráží (odprašuje) z terče částice potřebného chemického složení, které závisí na použitém kovu z kterého je vyroben terč a na složení plynné atmosféry. Tyto částice se následně usazují na povrchu substrátu (nástroje) a vytvářejí tak požadovaný povlak.[12] Celý proces probíhá ve vakuu nebo při nízkém tlaku plynu (10^{-2} až 10^{-5} Pa) a to z toho důvodu, aby se odprášené částice dostali na povrch substrátu bez kolize s molekulami plynu v prostoru mezi zdrojem a substrátem.[15]

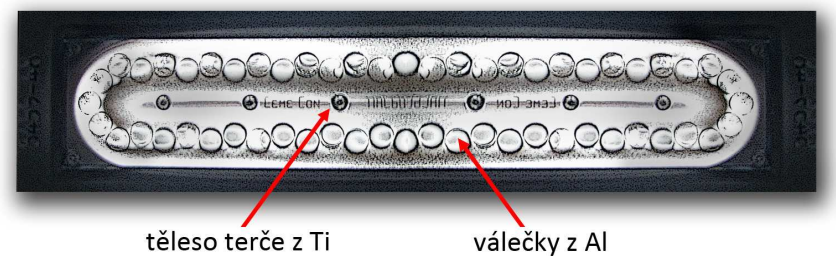
Naprašovací zařízení (viz .obr. 3.11) se skládá z terče (katody), vakuové komory (která plní funkci anody), držáku substrátu, přívodu inertního a reaktivního plynu, čerpacího systému a zdroje elektrické energie.[15]



*Obr.3.11 Schéma naprašování s rovinným magnetrone*m[15]

Plynná atmosféra musí obsahovat inertní plyn (Ar), který je nezbytný pro udržení elektrického výboje. Volba reaktivního plynu závisí na požadovaném povlaku. Například pro povlaky TiN a TiAlN se jako reaktivní plyn používá N_2, pro jiné povlaky se používá ještě např. C_2H_2.[15]

Zdroj odprašovaných částic se nazývá terč. Terč může mít libovolný tvar (deska, prut, válec) a je vyroben z materiálu, který má být nanášen. V případě povlaků s více kovovými prvky, je terč vyroben ze všech těchto kovů.[15] Například pro povlak TiAlN je terč vyroben z titanu a jsou vněm nalisovány hliníkové válečky (viz. obr 3.12). Terč je chlazený vodou a kromě toho, že je zdrojem povlakovacího materiálu, je také zdrojem sekundárních elektronů, které udržují doutnavý výboj.[15]



Obr. 3.12 Deskový terč pro povlak TiAlN firmy CemeCon

Účinnost ionizace poblíž terče je u magnetronového naprašování zvýšena využitím magnetického pole (s intenzitou několika set gaussů). Magnetické pole, vytvořené elektromagnetem nebo permanentním magnetem, zajišťuje, aby se elektrony pohybovaly po magnetických siločarách, čímž se prodlužuje jejich dráha v blízkosti terče. Zároveň se prodlužuje doba jejich setrvání v oblasti výboje a při ionizaci nedochází k velkým ztrátám kinetické energie iontů vůči stěnám komory. Magnetronové naprašování má několik konfigurací, např. s válcovým magnetronem nebo s rovinným (planárním) magnetronem. Magnety jsou v magnetronu umístěny podél vnějšího okraje a uprostřed katody.[15]

Tato metoda umožňuje vytvářet tenké povlaky z těžkotavitelných materiálů bez požadavku ohřevu terče na vysokou teplotu (na rozdíl od napařování). Lze vytvářet vícevrstvé povlaky s gradientní vrstvy (povlaky s průběžně se měnícím složením). V tabulce 3.8 jsou uvedeny výhody a nevýhody naprašování.[15]

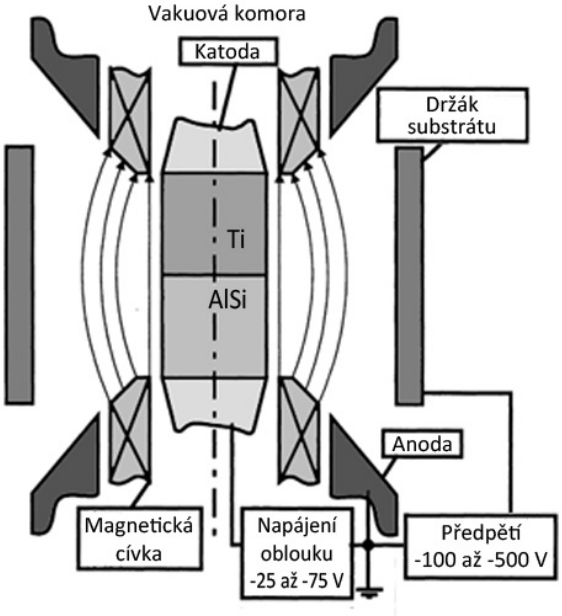
Tab. 3.8 Výhody a nevýhody naprašování[15]

Naprašování	
Výhody	Nevýhody
▪ lze odprašovat a ukládat prvky, slitiny a chemické sloučeniny, ▪ odprašovaný terč je stabilním zdrojem par a má vysokou životnost, ▪ terč může mít různé tvary (deska, prut, válec), ▪ v některých uspořádáních může být reaktivní depozice snadno zdokonalena použitím reaktivních materiálů, které jsou aktivovány v plazmě, ▪ velmi nízké zatížení tepelnou radiací, ▪ terč a substrát mohou být umístěny blízko sebe, ▪ depoziční komora může mít malý objem.	▪ intenzita naprašování je v porovnání s intenzitou tepelného napařování malá, ▪ nutné pohyblivé upevnění substrátu pro rovnoměrnou tloušťku vrstvy, ▪ terče jsou drahé a využití materiálu je špatné, ▪ většina energie dopadající na terč se mění na teplo, které se musí odvádět, ▪ v některých případech je v plazmě kontaminace, která znečišťuje povlak, ▪ Nutné přesné řízení složení plynné atmosféry, ▪ velké vnitřní napětí povlaku.

3.4.4 Obloukové napařování

Napařování je metoda PVD technologie povlakování, u které je materiál odpařován z terčů, které jsou ohřívány různými způsoby (odporově, indukčně, obloukem, paprskem elektronů, laserem, atd.). Napařování probíhá ve vakuu, při tlaku (10^{-3} až 10^{-8} Pa). Plynná atmosféra komory je tvořena inertním (Ar) a reaktivním plynem (N_2,..). Inertní plyn se do komory přivádí (pod tlakem 0,7 až 26,7 Pa) proto, aby odpařené složky podělávali vícenásobné srážky při transportu na substrát, což vede k tvorbě povlaku s rovnoměrnou tloušťkou.[15]

Obloukové napařování funguje na principu katodických obloukových systémů, které jsou dvojího druhu. První je pulzní systém, kde je oblouk opakovatelně zapalován a zhášen pomocí kondenzátoru. Výhodou je, že se terč mezi jednotlivými cykly nachází v chladném stavu. Nevýhodou tohoto systému je pokles rychlosti povlakování v ustáleném stavu. Další je kontinuální systém, u kterého se jako výhoda dá brát jednoduchost systému a dobré využití terče. Nevýhodou je tvorba mikročástic, které znečisťují povlak.[15]



Obr. 3.13 Zařízení pro vakuové obloukové napařování s válcovou katodou[22]

Materiál terče je odpařován pomocí nízkonapěťového elektrického oblouku, za nízkého tlaku. Na anodě, která je tvořena vakuovou komorou, hoří oblouk po celé její ploše, zatímco na katodě (terč) hoří pouze bodově, v místě o průměru cca 20 µm (katodová skvrna). Tato katodová skvrna se po povrchu terče pohybuje náhodně, rychlostí přibližně 50 m/s. Při proudech o hodnotě přibližně 100 A je teplota v místě katodové skvrny 10 000 až 20 000 ℃, což je teplota, která zajistí odpaření téměř každého materiálu.[15]

Zařízení pro obloukové napařování (obr. 3.13) se skládá z centrální válcové katody (terče), která je chlazená vodou a je rozdělena na segmenty podle druhu povlaku (např. pro povlak TiAlSiN je katoda z titanu a ze slitiny AlSi). Pohyb katodové skvrny je řízen magnetickým polem tak, aby odpařování z obou segmentů probíhalo řízeně. Na substráty je přivedeno negativní před-

pětí -200 V a jsou zahřáty na teplotu 550℃. Upevněny jsou v několika rotujících držácích rozmístěných symetricky kolem centrální katody. Výhody a nevýhody obloukového napařování jsou uvedeny v tab. 3.9.[15]

Tab. 3.9 Výhody a nevýhody napařování[15]

Napařování	
Výhody	Nevýhody
▪ variabilní uspořádání (obdélníková, kruhová nebo jiná), ▪ plazmový oblouk efektivně ionizuje odpařovaný materiál i reaktivní plyny, ▪ před depozicí mohou být ionty materiálu povlaku urychlovány na vysokou energii, ▪ nízké zatížení tepelnou radiací, ▪ reaktivní plyny jsou aktivovány plazmou, což zlepšuje procesy depozice, ▪ znečištění terče je mnohem menší než u reaktivního naprašování.	▪ lze odpařovat pouze elektricky vodivé materiály, ▪ vysoké zatížení tepelnou radiací (anodická oblouková depozice), ▪ roztavené kapénky vyvržené z katody se mohou dostat do povlaku a vytvořit na jeho povrchu kuličky (tomu lze zamezit použitím elektromagnetického filtru, který ale snižuje rychlost depozice).

4 SOUČASNÝ STAV NA TRHU S VYSTRUŽOVACÍMI NÁSTROJI S BŘITY Z CERMETU

V této kapitole budou uvedeny nabídky cermetových výstružníků známých evropských firem zabývajících se výrobou těchto nástrojů (viz. obr 4.1). Sortiment těchto firem se většinou skládá ze základních nástrojů, které firmy uvádějí ve svých nástrojových katalozích a ze speciálních nástrojů, které jsou vyráběny na zakázku. U jednotlivých výrobců budou popisovány pouze vystružovací nástroje s břity z cermetu a to ze základních nabídek firem.

Obr. 4.1 Známí evropští výrobci vystružovacích nástrojů

4.1 MAPAL

Firma Mapal byla založena roku 1950 v německém městě Aalen. V současnosti má firma přibližně 3400 zaměstnanců a disponuje pobočkami v 25 zemích světa. Sortiment firmy je složen z obráběcích nástrojů pro frézování, soustružení, vrtání, vyvrtávání, vystružování a jako další nabízí např. ovládací a upínací prvky.[23]

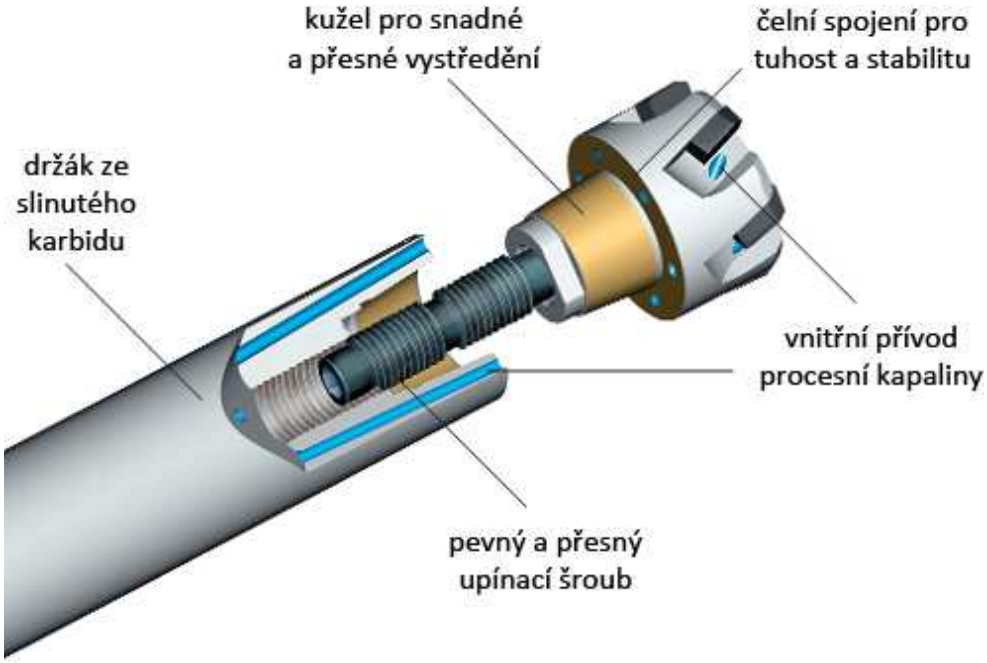
Firma nabízí jednobřité, dvoubřité nebo vícebřité výstružníky. (viz. obr. 4.2). V nabídce lze také najít speciální výstružníky, jako jsou např. výstružníky pro vystružování vnějších rotačních ploch.[24]

Obr. 4.2 Výstružníky firmy MAPAL[11]

Cermet jako řezný materiál firma Mapal nabízí volitelně, stejně jako slinutý karbid, téměř u všech druhů vystružovacích nástrojů, které mají v nabídce. Jednobřité a dvoubřité výstružníky lze volit s břitovou destičkou typu WP (obdélníkový tvar) nebo typu HX (hexagonální břitová destička).[24]

Obr. 4.3 Vyměnitelné vystružovací kroužky z cermetu firmy MAPAL[25]

Vícebřité cermetové výstružníky jsou vyráběny jako výkonné vystružovací hlavice (viz. obr. 4.4), vyměnitelné řezné kroužky (adjustable cutting rings – viz obr. 4.3), u kterých je možno rozpínáním kuželu v malé míře měnit jmenovitý rozměr. Dále firma nabízí klasické stopkové výstružníky, které jsou buďto monolitní nebo s pájenými břity. V sortimentu firmy lze nalézt také rozpínací výstružníky s břity z cermetu. U všech uvedených firma garantuje dosažení rozměrové přesnosti IT7.[24]



Obr. 4.4. Vyměnitelná vystružovací hlavice firmy MAPAL[11]

Průměry od 4mm lze vystružovat monolitními cermetovými výstružníky nebo výstružníky s pájenými břity (viz obr 4.5) a na velké díry o průměru až 200 mm firma nabízí cermetové vystružovací kroužky (viz. obr 4.3).

Obr. 4.5 Cermetové vícebřité výstružníky firmy MAPAL[24]

4.2 BECK

Německá firma BECK byla založena roku 1906 zakladatelem Augustem Beckem. V roce 2004 firmu BECK převzala již zmíněná společnost MAPAL. Navzdory tomu je firma stále nezávislá a nadále vyvíjí a vyrábí své vlastní nástroje.[26]

Sortiment firmy zahrnuje hlavně vystružovací nástroje jak ruční tak i strojní, dále vrtáky a záhlubníky. Nástroje jsou vyráběny ze slinutého karbidu, cermetu a z HSS. V nabídce lze najít i nástroje s břity z PKD a PKNB. Firma dělí své nástroje do 6 skupin značených písmeny (A – F), přičemž výstružníky zaujímají 4 skupiny A – D, kde[14]:

A - vysoce výkonné výstružníky s vnitřním přívodem procesní kapaliny,

B - strojní výstružníky bez vnitřního přívodu procesní kapaliny,

C - ruční výstružníky,

D - výstružníky pro obrábění kuželových děr.

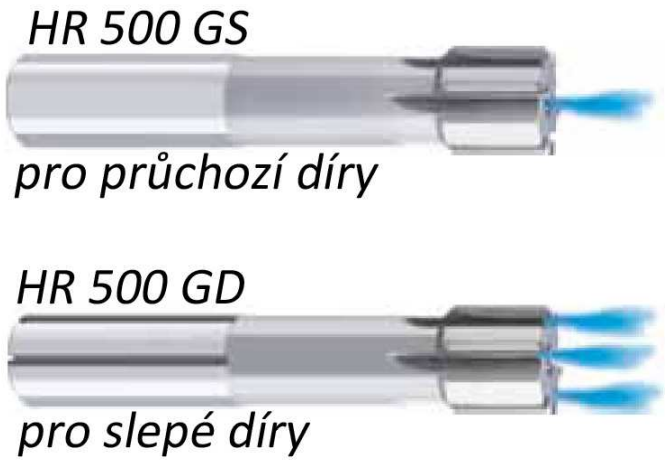
Cermetové výstružníky mají své zástupce ve skupině A, kam patří vysoce výkonné výstružníky řady RR®01 a HCS (viz tab. 4.1). Stejně jako firma MAPAL i BECK uvádí u všech svých strojních výstružníků toleranční stupeň vystružených děr IT7.

Tab. 4.1 Cermetové výstružníky firmy BECK[14]

Označení	Zobrazení	Použití
RR®01		Pro průchozí díry ø 4-20 mm.
RR®01		Pro průchozí díry ø 21-40 mm.
RR®01		Pro slepé díry ø 4-20 mm.
RR®01		Pro slepé díry ø 21-40 mm.
RR®01		Rozpínací výstružníky pro díry ø 8-40 mm
HCS		Pro průchozí díry ø 3,97-12,03 mm.

4.3 GÜHRING

Gühring je prosperující německá firma, která se na trhu pohybuje už 35 let. Má své pobočky ve 32 zemích světa a zaměstnává více než 4000 pracovníků. Sortiment firmy tvoří veškeré nástroje pro obrábění vnitřních rotačních ploch od vrtáků, přes záhlubníky a výstružníky až po závitníky. Prosperita podniku vychází hlavně z toho, že si firma kromě nástrojů vyrábí i vlastní řezné materiály, sama si nástroje povlakuje i přebrušuje.[27]



Obr. 4.6 Cermetové výstružníky firmy GÜHRING[guh1]

V současnosti firma nabízí výkonné strojní výstružníky řady HR 500. Podskupina HR 500 G zahrnuje výstružníky s pájenými břity, kam patří i jediní dva cermetoví zástupci ze všech nabízených výstružníků firmy (viz. obr.4.6). Jeden pro průchozí (HR 500 GD) a druhý pro slepé díry (HR 500 GS). Tento typ se vyrábí bez povlaku a v průměrech od 22 mm do 40 mm pro obrábění děr s tolerančním stupněm IT7. Všechny ostatní nabízené výstružníky jsou ze slinutého karbidu s TiAlN povlakem. Tento nepoměr firma odůvodňuje tím, že cermetové výstružníky mají oproti výstružníku ze slinutého karbidu malý aplikační rozsah obráběných materiálů.[28]

Obr. 4.7 Speciální výstružníky firmy GÜHRING.[28]

Za zmínku stojí i speciální upravené výstružníky řady HR 500 G (viz. obr. 4.7), kde lze najít např. výstružníky s dvěma řadami odstupňovaných břitů nad sebou. Další úpravou jsou vybroušené drážky na těle výstružníku pro přívod procesní kapaliny až do zubových mezer.

4.4 DIHART

Dihart je švýcarská firma, která se v roce 1996 stala součásti skupiny KOMET GROUP, která se skládá z firem KOMET, JEL a DIHART. Firma KOMET se zabývá výrobou vrtáků a frézovacích nástrojů. JEL vyrábí nástroje pro výrobu závitů a konečně firma DIHART se zabývá výhradně výrobou dokončovacích nástrojů pro přesné obrábění děr tj. výstružníků.[29]

U většiny výstružníků si zákazník může vybrat s řezných materiálů: SK, cermet nebo PKD. Řezný materiál může být opatřen povlakem TiN, TiAlN a nebo speciálním povlakem, který firma označuje DJC a slouží pro povlakování cermetových výstružníků.[29]

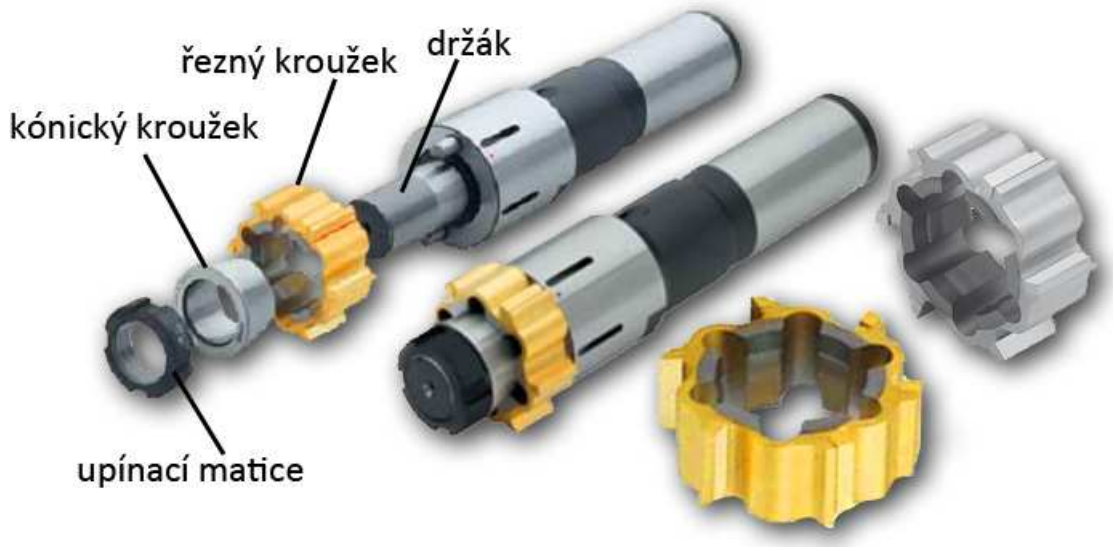
Označení Reamax nesou vyměnitelné vystružovací hlavice, které se dělají v pevném (ø12-40 mm) nebo rozpínatelném (ø18-65 mm) provedení (viz. obr. 4.8).[18]

Obr. 4.8 Vystružovací hlavice Reamax firmy DIHART[18]

Dalším typem jsou výstružníky s označením Monomax. Jedná se o stopkové výstružníky s pájenými břity pro přesné obrábění malých děr (ø5,6-25,89 mm)., které se stejně jako výstružníky Reamax vyrábí v pevné a rozpínací verzi (viz. obr. 4.9).[18]

Dále firma DIHART vyrábí monolitní výstružníky pro velmi malé rozměry děr (ø1,4-12,7 mm). Tyto výstružníky jsou ale vyráběny pouze ze slinutého karbidu. Posledním zástupcem jsou vystružovací vyměnitelné řezné kroužky (viz. obr. 4.10), kterými se obrábí díry ø60,6 - 139,59 mm. Pomocí kónického kuželu lze u těchto nástrojů v malém rozsahu měnit vystružovaný průměr.[18]

Obr. 4.9 Výstružníky Monomax firmy DIHART[18]



Obr. 4.10 Vyměnitelné řezné kroužky firmy DIHART[18]

4.5 SECO

SECO je švédská firma zabývající se výrobou velké škály obráběcích nástrojů s pobočkami ve více než 50 zemích světa včetně České republiky. Firma vyrábí nástroje pro soustružení, frézování, vrtání, vyhrubování a vystružování. Výstružníky firma vyrábí v různých provedeních pod označením Bifix, Precifix, Precimaster, Xfix.[30]

Bifix jsou jednobřité výstružníky s vyměnitelnou břitovou destičkou z cermetu nebo ze slinutého karbidu s nebo bez povlaku TiN a s třemi vodítky, které jsou z cermetu (viz. obr. 4.11). S tímto nástrojem se velice přesně obrábí

průchozí i slepé díry o průměrech 5,9 – 60,5 mm s tolerančním stupněm IT6 a s drsností povrchu Ra 0,25 µm.[19]

Obr. 4.11. Jednobřité výstružníky Bifix firmy SECO[19]

Precifix jsou jednobřité vystružovací hlavice, které se upínají do držáků. Mají jednu břitovou destičku s dvěma nebo s osmi (od ø32 mm) břity z SK, SK+TiAlN nebo z cermetu a dvě cermetová vodítka (viz. obr. 4.12).[19]

Obr. 4.12 Jednobřité vystružovací hlavice Precifix firmy SECO[19]

Držák je totožný pro hlavice na obrábění slepých i průchozích děr. Slouží k obrábění děr o průměru 12 – 60 mm s tol. stupněm IT6 a s drsností povrchu Ra 0,4 µm.[19]

Precimaster je označení pro výkonné vícebřité vystružovací hlavice, které se upínají do stejných držáků jako výstružníky Precifix. Vystružuje průchozí i slepé díry o průměrech 4 - 60 mm v tol. stupni IT7 a s drsností povrchu 0,4 µm. Hlavice pro malé průměry jsou monolitní a větší hlavice mají připájené břity. Jako řezný materiál je zde použit SK, SK+TiN, cermet nebo cermet + TiN (viz. obr 4.13).[19]

Obr. 4.13 Vícebřité výstružníky Precimaster firmy SECO[19]

Xfix jsou nejvýkonnější vystružovací nástroje firmy SECO. Jedná se o vystružovací hlavice pro obrábění velkých děr (ø39,5 - 154,5 mm) s tol. stupněm IT6 a s drsností povrchu Ra 0,8 µm. Hlavice mají vyměnitelné břitové destičky s 8 břity a několik vodítek. (viz obr. 4.14). Břity jsou z povlakovaného SK nebo z povlakovaného cermetu.[19]

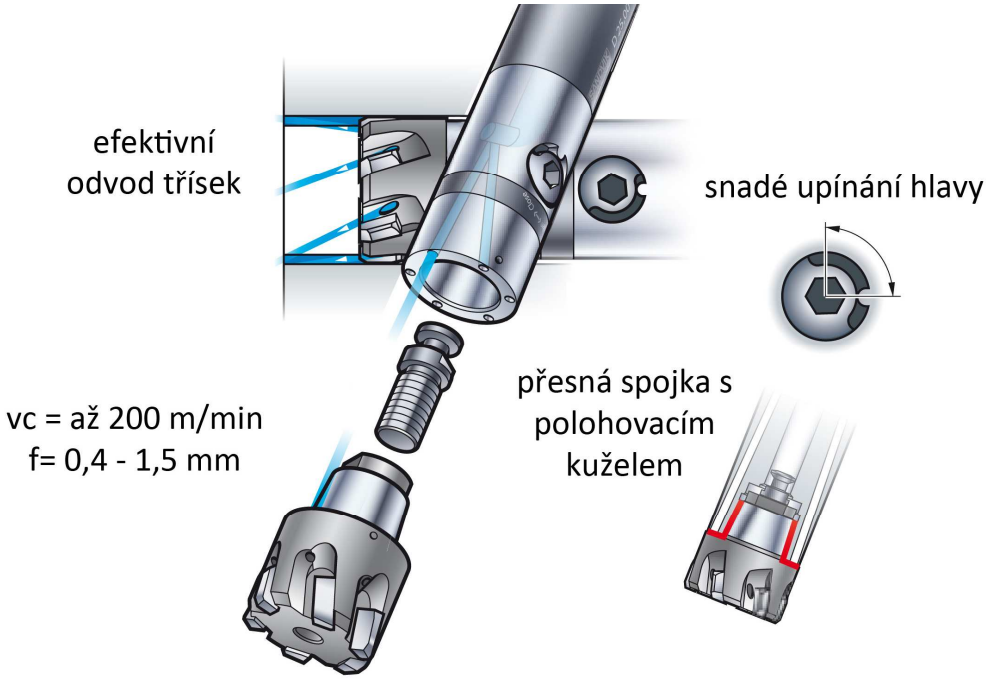
Obr. 4.14 Výkonné vystružovací hlavice Xfix firmy SECO[31]

4.6 SANDVIK

Firma SANDVIK vznikla v roce 1942 ve Švédsku. Během několika desítek let se z firmy stal přední světový výrobce řezných nástrojů. V současnosti firma zaměstnává přes 8000 zaměstnanců ve 130 zemích světa. Hlavními produkty firmy jsou soustružnické, frézovací a vrtací nástroje.[32]

Jelikož výroba vystružovacích nástrojů není prioritním záměrem této firmy, lze najít v základní nabídce pouze jeden typ výstružníků. Jedná se o vystružo-

vací hlavici s břity z cermetu s označením Reamer 830 (viz. obr 4.15), který je vyráběný v průměrech 10 – 31,75 mm. Hlavice se do držáku rychle upíná otáčením upínacího šroubu o 90° a je v n ěm přesně polohovaná pomocí kuželu.



Obr 4.15 Výstružník Reamer 830 firmy SANDVIK[32]

4.7 ISCAR

ISCAR je původem izraelská firma, která vznikla v roce 1952. Firma má pobočky ve více než 50 státech světa a její zaměření spočívá ve výrobě obráběcích nástrojů zahrnujících nástroje pro soustružení, frézování, obrážení, vrtání, vystružování a pro výrobu závitů.[33]

ISCAR dělí své výstružníky do tří skupin[34]:

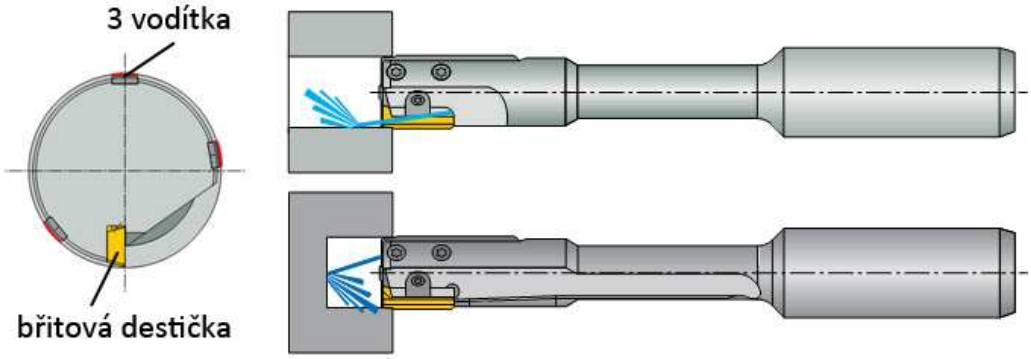
- BAYO T-REAM,
- SOLID H-REAM,
- INDEX H-REAM.

BAYO T-REAM jsou vystružovací hlavice, které se upínají do držáku ze slinutého karbidu nebo z oceli (viz. 4.16). Používá se pro díry s průměrem 13,5 – 25 mm a dosahuje tolerančního stupně IT7. Hlavice jsou monolitní a podle požadavku zákazníka mohou být z SK, povlakovaného SK, cermetu, ale i z PKD a PKNB.[34]

SOLID H-REAM je označení pro monolitní výstružníky ze slinutého karbidu nebo cermetu popř. PKD, PKNB a podle požadavku mohou být i povlakovány povlakem TiAlN. Jsou to levné nástroje vhodné pro malé řezné rychlosti a posuvy tj. vhodné pro malosériovou výrobu.[34]

Obr. 4.16 Vystružovací hlavice BAYO T-REAM firmy ISCAR[34]

INDEX H-REAM jsou jednobřité výstružníky s vyměnitelnými mechanicky upínanými břitovými destičky a s třemi vodítky (viz. obr. 4.17). Břitové destičky mohou být ze stejných řezných materiálů jako předchozí uvedené výstružníky. Jsou to nejpřesnější výstružníky firmy pro obrábění průchozích i slepých děr s průměrem 8 – 32 mm a dosahují tolerančního stupně IT5.[34]



Obr. 4.17 Výstružník INDEX H-REAM firmy ISCAR[34]

5 PRAKTICKÁ ČÁST BAKALÁŘSKÉ PRÁCE REALIZOVANÁ VE FIRMĚ HAM - FINAL

V řadě aplikací je při dokončovacím obrábění přesných děr a zejména při vystružování houževnatých ocelí, velmi výhodné použít výstružníky, jejichž řezná část je zhotovená z cermetu. U těchto moderních nástrojů lze ve srovnání s nástroji z běžných slinutých karbidů uplatnit výrazně vyšší řezné rychlosti při delší trvanlivosti ostří řezných břitů. Specifické problémy a značné nároky na technické řešení a provedení těchto nástrojů vznikají při jejich využití pro vystružování děr malých průměrů. Tato skutečnost je obecně podmíněna zejména nízkou ohybovou a torzní pevností vyložené části výstružníků s malým jmenovitým průměrem a z toho vyplývajícími prostorovými problémy se zajištěním dostatečného přívodu chladicího a mazacího media k řezným břitům. Tento problém je o to závažnější, že při vysokovýkonném obrábění se uvolňuje větší množství tepla a cermety přitom mají nízkou tepelnou vodivost. Nedostatečně intenzivní chlazení vede k předčasnému opotřebení nástroje, nebo nutnosti snižovat řezné rychlosti, posuvy i přídavky na finální opracování.

Touto problematikou se společnost HAM-FINAL již delší dobu zabývá a věnuje značné úsilí vývoji nových typů vystružovacích nástrojů a to jak z hlediska geometrie, tak i konstrukce nástroje včetně aplikování různých řezných materiálů.

5.1 Společnost HAM-FINAL

HAM-FINAL, s.r.o. je německo-česká strojírenská firma zabývající se vývojem, výrobou a prodejem moderních nástrojů pro vystružování, vyvrtávání a obrábění velmi přesných děr. Konkrétně se jedná o přesnost obrábění s tolerancí rozměru a tvaru do 6 µm a výrobu nástrojů v toleranci do 2 µm.[h5] V současnosti je to jedna z nejvýznamnějších firem zabývajících se touto problematikou na území České republiky. Firma je součástí koncernu HAM, GmbH.[35]

HAM-FINAL®
Carbide & Diamond Tool - Systems

Společnost HAM-FINAL, s.r.o. vznikla v roce 1997 z původní firmy FINAL, která byla založená v roce 1991. Firma FINAL se zabývala výrobou a vývojem nástrojů pro třískové obrábění přesných děr. Za vývoj v oboru obrábění přesných děr byla firma oceněna udělením několika patentů potvrzujících originální řešení nástrojů nové generace. Vynikající úroveň těchto nástrojů a technická podpora vedla k jejich uplatnění v podnicích ŠKODA auto, VW, GM - OPEL, BOSCH, Aero, Letov, TRW, Embraco, ROTAX, RIETER, ale také v dalších firmách v Německu, Rakousku, Itálii, Španělsku, Francii, Polsku, Švédsku, atd.[35]

Firma se i nadále věnuje dalšímu vývoji a rozšířila svoji vývojovou a výrobní základnu o nejmodernější stroje. Dále také zvýšila počet zaměstnanců a rozšířila technickou spolupráci s vysokými školami. V současnosti se firma zabývá především vývojem a výrobou nástrojů využívaných v automobilovém průmyslu a při výrobě hydraulických komponentů.[35]

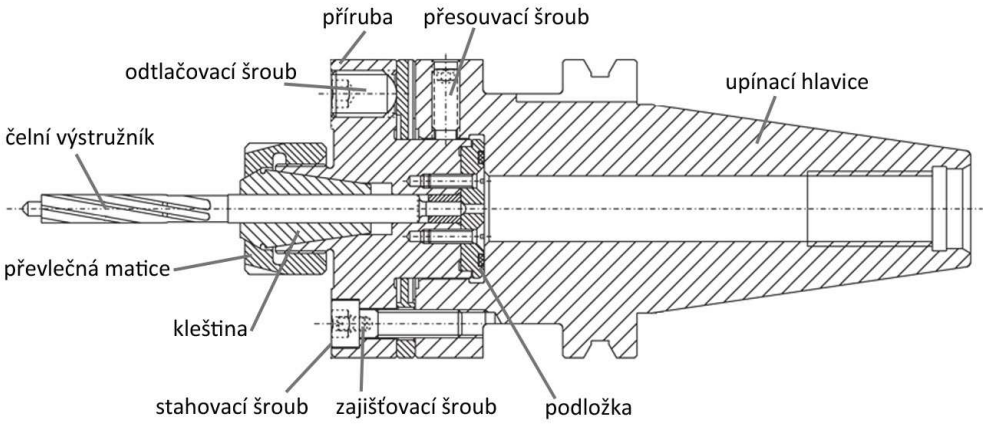
Hlavní výrobní program tvoří dokončovací nástroje pro třískové obrábění velmi přesných děr s břity ze slinutého karbidu (SK), cermetu, polykrystalického kubického nitridu bóru (CBN) a polykrystalického diamantu (PKD). Kromě břitů z PKD vyrábí firma i nástroje s břity z CVD diamantu (CVD diamantové vrstvy). CVD diamant neobsahuje oproti PKD žádné pojivo a je tvořen z 99,9 % krystaly diamantu, které jsou spojeny molekulárními silami. Z toho plynou jeho výhody v podobě vyšší tvrdosti (až 100 GPa), odolnosti proti abrazivnímu opotřebení, vyšší tepelné vodivosti atd.[36]

Obr. 5.1 vystružovací hlavice MT3 v držáku[37]

Mezi nejúspěšnější produkty firmy patří vystružovací hlavice MT3 (viz. obr. 5.1), která je patentově chráněná v sedmi zemích EU. Hlavice je termicky upnutá v tělese nástroje, čímž je dosaženo spolehlivé a přesné fixace. Vystružovací hlavice je monolitní a je vyrobena ze slinutého karbidu nebo cermetu a navíc je na ní aplikován PVD povlak firmy CemeCon. Chlazení je realizováno přívodem chladicí kapaliny kolem hlavice až k zubovým mezerám. Ve srovnání s konvenčními nástroji je MT3 až o 20% produktivnější, má o 50% vyšší trvanlivost a umožňuje obrábět díry s tolerančním stupněm až IT5, přičemž drsnost obrobeného povrchu se pohybuje mezi 0,2 a 0,4 µm.[38]

Mezi další zajímavé produkty firmy patří nástrojový systém HAM-FINAL RC (viz. obr. 5.2). Ten je tvořen upínací hlavicí, která zaručuje velmi přesné a centrické upnutí a čelního výstružníku do vřetene stroje, prostřednictvím nor-

malizovaných kleštin. Systém umožňuje velmi snadnou seřiditelnost radiální házivosti řezné části upnutého nástroje. Čelní výstružník je monolitního provedení a vyroben ze slinutého karbidu s nebo bez povlaku TiN. Výhoda vystružování prostřednictvím přesně centricky upnutého čelního výstružníku spočívá v tom, že výstružník řeže obráběný materiál pouze břity na čele řezné části nástroje, takže má z části povahu vyvrtávacího nástroje a z části výstružníku. Obrábí se s nimi součásti až do tvrdosti 60 HRC a dosahuje se tolerančního stupně IT7. Jsou vhodné pro společné obrábění více druhů materiálů najednou s dosažením shodné přesnosti ve všech materiálech a velmi dobré kvality povrchu (Ra 0,3 – 0,8 µm).[39]



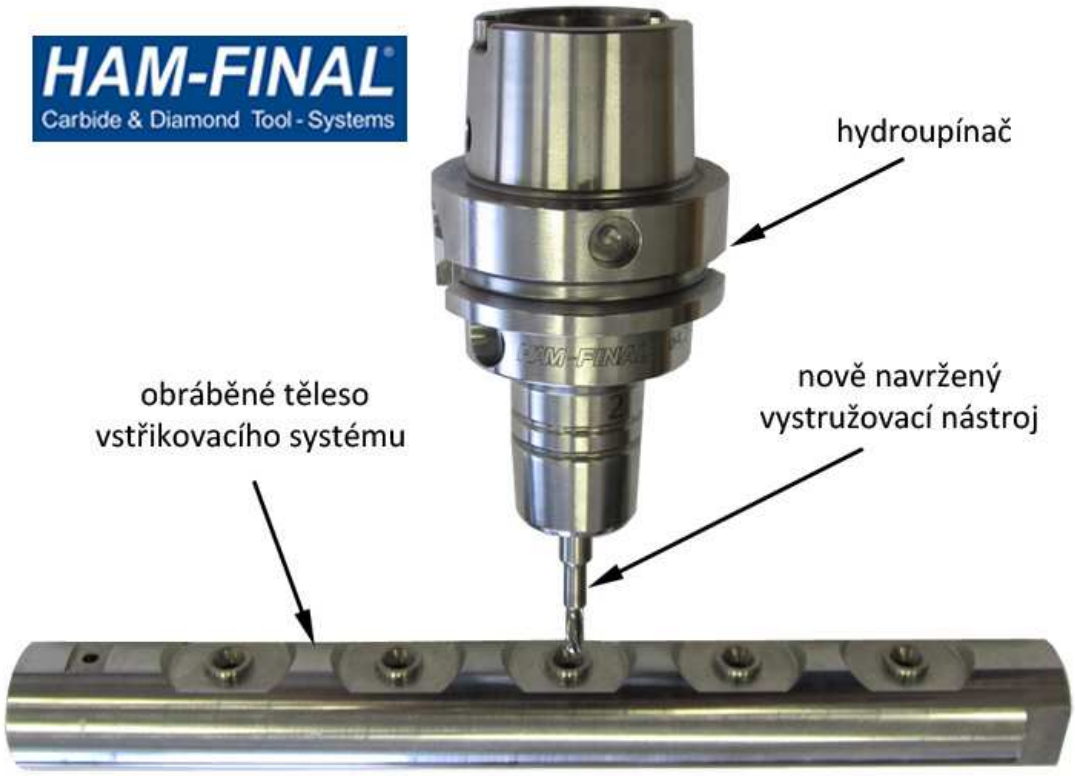
Obr. 5.2 Nástrojový systém HAM-FINAL RC[39]

Také vývoji vyvrtávacích nástrojů věnuje společnost HAM-FINAL pozornost. V současnosti nabízí vyvrtávací jednotku HAM-FINAL NGV (viz. obr 5.3) s netradiční konstrukcí vyvrtávacího nástroje, která vyniká snadným a přitom velmi přesným nastavením požadovaného průměru při zachování dobrých vlastností spojených s jednobřitým vyvrtáváním. Vyvrtávací jednotka HAM-FINAL NGV se skládá z excentrického upínače, do kterého je upnuta vyvrtávací tyč s vyměnitelnou břitovou destičkou, přičemž otáčením vyvrtávací tyče (s vyznačenou stupnicí) lze velmi jemně nastavit vyložení řezného břitu na požadovaný průměr vyvrtávání.[39]

Obr. 5.3 Vyvrtávací jednotka HAM-FINAL NGV[39]

5.2 Optimalizace technického provedení vystružovacího nástroje

V současné době pracuje firma HAM-FINAL na projektu, jehož cílem je optimalizovat technické provedení vystružovacích nástrojů za účelem dosažení efektivní úspory výrobních nákladů při maximální provozní spolehlivosti vystružování. Konkrétně se jedná o optimalizaci výstružníku pro vystružování děr ø 4,2 H8 v tělese vstřikovacího systému (výkres v příloze 1), který vyrábí světově známá nejmenovaná firma zabývající se mimo jiné výrobou komponentů do spalovacích motorů. Velký podíl nákladů této firmy výroby se odvíjí právě od strojního vystružování těchto děr.

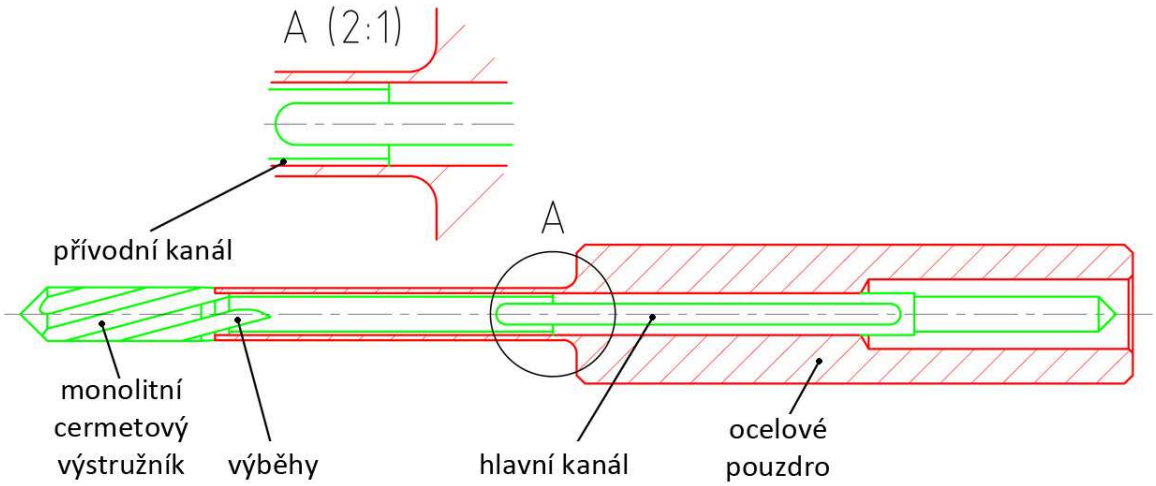


Obr. 5.4 Nově navržený vystružovací nástroj v hydraulickém upínači a obráběné těleso vstřikovacího systému

5.2.1 Dosavadní stav

Pro vystružování již uvedených děr malých průměrů je v současnosti používán čtyřbřitý monolitní cermetový výstružník ø $4{,}206\ ^{\ }_{-0{,}003}$, který je nerozebíratelně spojený s ocelovým pouzdrem (výkres v příloze 2). Pouzdro slouží jako upínací část a je upraveno pro přívod procesní kapaliny vnitřkem nástroje až k zubovým mezerám. Výstružník má alespoň jeden v podélném směru se rozkládající hlavní kanál sloužící k vedení procesní kapaliny. Pracovní část výstružníku obsahuje zubové mezery s výběhovými úseky, přičemž mezi výběhovými úseky a stopkou je uspořádána objímka, která je součástí ocelového pouzdra a která alespoň z části překrývá přívodní kanál vytvořený mezi hlav-

ním kanálem a výběhovými úseky (viz. obr. 5.5). Přívodní kanál je upořádán souose s podélnou osou nástroje a je opatřen hladkým přechodem z hlavního kanálu k přívodnímu kanálu a z přívodního kanálu k výběhovým částem, aby byl zajištěn hladký průchod procesní kapaliny. Nástroj se upíná prostřednictvím běžného hydraulického upínače s kuželem HSK63.



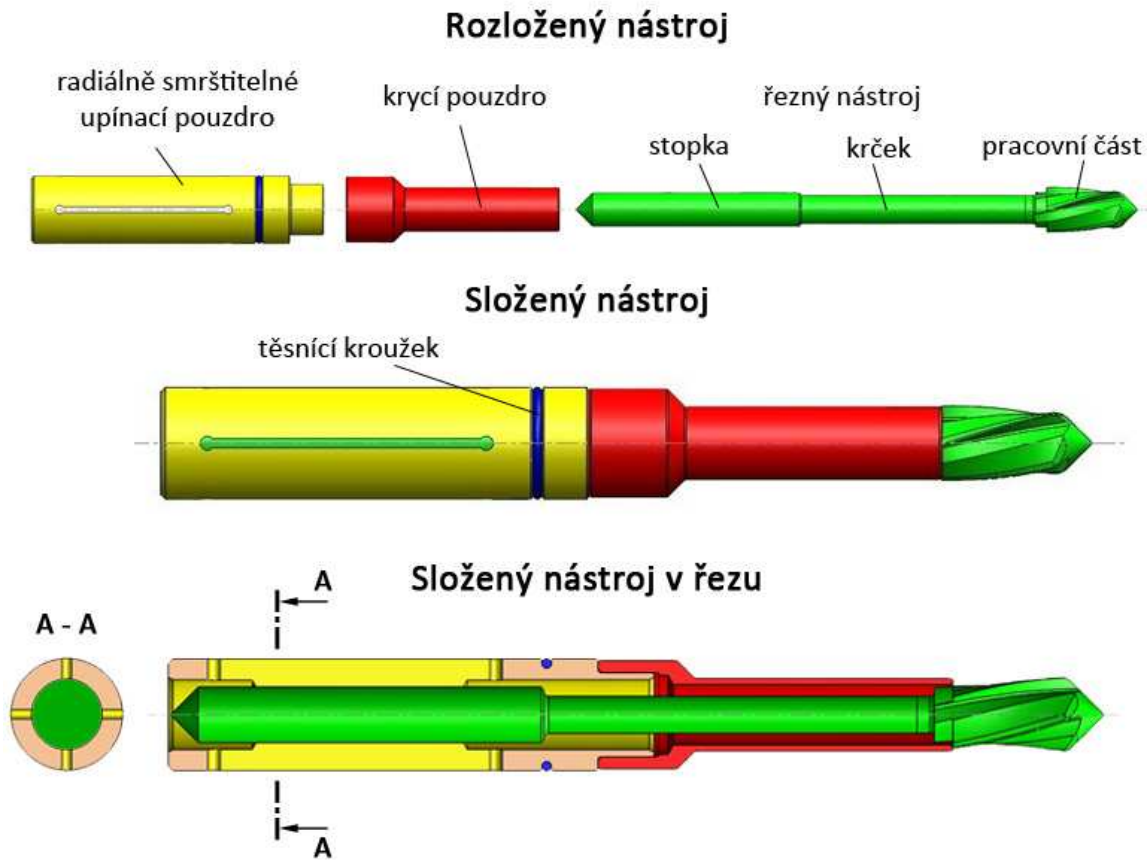
Obr. 5.5 Současně používaný nástroj[40]

K hlavním nevýhodám tohoto řešení patří zejména vysoká pracnost výroby nerozebíratelně složeného nástroje, který je po opotřebení funkční řezné části dále nepoužitelný. Velmi vysoká výrobní přesnost tohoto konstrukčního řešení se nepříznivě promítá do ceny nástroje a následně do vysokých nákladů na vystružování.

Cílem technického řešení je představit jednoduše sestavitelný vystružovací nástroj, který by umožňoval snadnou výměnu samotného řezného nástroje ve snadno rozebíratelné upínací sestavě. Ta by umožnila velmi přesné centrické upnutí do vřeten obráběcích strojů prostřednictvím hydro-upínače a také by zprostředkovávala vedení procesní kapaliny. Nejdůležitějším faktorem je, aby tuto upínací sestavu bylo možné opakovatelně využít po výměně řezného nástroje.

5.2.2 Nové technické řešení

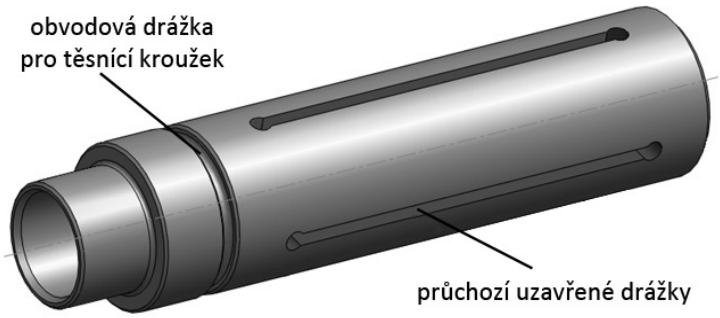
Výše uvedené nedostatky do značné míry odstraňuje nové technické řešení (výkres v příloze č. 3), jehož podstata spočívá v tom, že jednotlivé části sestavy vystružovacího nástroje jsou volně složitelné a zpětně volně rozebíratelné s čímž souvisí i jejich vyměnitelnost. Sestava nově navrženého vystružovacího nástroje se skládá ze tří částí. Základem je řezný nástroj, který se skládá z pracovní části, krčku a stopky. Kolem krčku je uspořádáno krycí pouzdro, které je bez vůle nasazeno horním koncem na spodní část radiálně smrštitelného upínacího pouzdra a jeho spodním koncem shora dosedá na pracovní část řezného nástroje (viz. obr. 5.6, obr. 5.7).



Obr. 5.6 Sestava nově navrženého vystružovací nástroje[40]

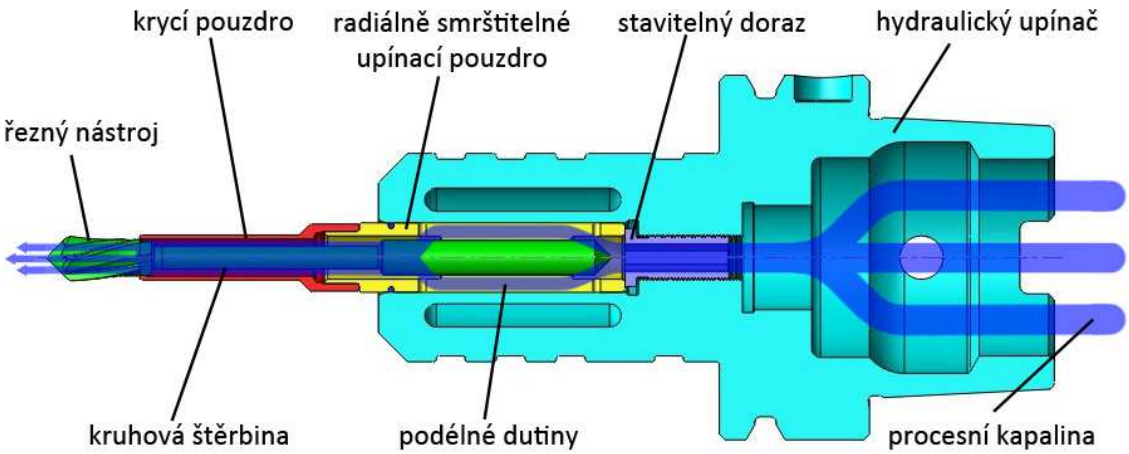
Obr. 5.7 Reálný vzhled nového vystružovacího nástroje

Procesní kapalina je vedená centrálně z přívodního vedení v hydraulickém upínači do horní dutiny radiálně smrštitelného upínacího pouzdra. V tomto pouzdru (obr. 5.8) jsou vytvořeny nejméně tři průchozí uzavřené drážky v délce delší, než je kontaktní část mezi upínací stopkou řezného nástroje a upínacím pouzdrem.



Obr. 5.8 Radiálně smrštitelné upínací pouzdro[40]

Tyto drážky tvoří po vložení nástroje do upínače podélné dutiny, které umožní jednak radiální smrštitelnost pouzdra a zároveň jsou pak spojovacími kanály při vedení procesní kapaliny z horní dutiny tohoto pouzdra. Ve spodní části radiálně smrštitelného upínacího pouzdra je obvodová drážka, ve které je uloženo těsnění sloužící k utěsnění prostoru mezi vnitřní plochou dutiny hydroupínače a vnější plochou smrštitelného pouzdra. Procesní kapalina dále putuje do spodní dutiny upínacího pouzdra, na kterou navazuje kruhová štěrbina vytvořená mezi krycím pouzdrem a krčkem řezného nástroje. Toto krycí pouzdro zabraňuje úniku procesní kapaliny a zároveň jí vede přímo do zubových mezer pracovní části řezného nástroje. Celý systém vedení procesní kapaliny je lépe pochopitelný z obr. 5.9.



Obr. 5.9. Přívod procesní kapaliny u nového technického řešení vystružovacího nástroje[40]

Z několika dílů sestavený vystružovací nástroj s válcovou upínací plochou je určen pro velmi přesné centrické upnutí do vřeten obráběcích strojů prostřednictvím hydro-upínače, přičemž chladicí kapalina je vedena vytvořenými vnitřními dutinami a vyústěna kruhovou štěrbinou do zubových mezer pracovní části nástroje. Axiální vyložení nástroje lze regulovat dutým stavitelným dorazem, který se zašroubovává do hydraulického upínače (viz. obr. 5.9).

Nový nástroj se od předchozího liší kromě vylepšené konstrukce také v typu řezného materiálu. Je zde využit jiný druh cermetu, který zvyšuje trvanlivost nástroje. Konkrétní složení tohoto cermetu se firma HAM-FINAL ze strategických důvodů rozhodla nezveřejňovat. Pracovní část řezného nástroje může být podle požadavků zákazníka povlakována. Řezný nástroj je vyroben buďto jako cermetový monoblok anebo je cermetová pouze pracovní část a krček se stopkou jsou z oceli. Pro obrábění děr ø4,2 H8 v tělesech vstřikovacího systému byl zvolen nepovlakovaný vystružovací nástroj s cermetovou pracovní částí a s ocelovým krčkem a stopkou.

Z tohoto řešení vyplývá, že vystružovací nástroj lze výhodně ekonomicky renovovat a to pouze výměnou řezného nástroje. Radiálně smrštitelné pouzdro a krycí pouzdro, které zabraňují nežádoucímu úniku kapaliny, lze mnohonásobně opakovatelně použít.

5.3 Experimentální ověření užitných vlastností prototypů nově vyvíjených osových nástrojů firmy HAM-FINAL

V této kapitole je uveden popis současného stavu vystružování děr ø 4,2 H8 v tělese vstřikovacího systému a následné navržení, provedení a vyhodnocení experimentálního ověření užitných vlastností prototypů nově vyvíjených osových nástrojů firmy HAM-FINAL.

5.3.1 Popis současného stavu

V několika bodech jsou zde uvedeny parametry dosavadního stavu vystružování děr ø 4,2 H8 v tělese vstřikovacího systému. Konkrétně se jedná o popis obráběného tělesa, technologie výroby, stroje, nástroje a následné kontroly měření obrobených děr.

- **Obrobek**

Jak již bylo uvedeno, obrobek je těleso vstřikovacího systému, které je součástí spalovacích vznětových motorů (viz. obr. 5.10 a výkres v příloze 1) ve kterém je umístěno 5 otvorů s vysokými požadavky na přesnost a kvalitu obrobených ploch. Vlastnosti a kvantitativní i kvalitativní požadavky obráběných děr jsou uvedeny v tab. 5.1.

Obr. 5.10. Obráběné těleso vstřikovacího systému

Tab. 5.1 Parametry obráběného tělesa

Parametry obrobku	
Název	Těleso vstřikovacího systému
Výkres	viz. příloha 1
Materiál	ocel 20MnCrS4 (1020 ÷1200 MPa) nebo ocel 20MnCrS5 (1260 ÷ 1470 MPa) ekvivalent dle ČSN: ocel 14 221
Typ a rozměr díry	průchozí ø 4,02 ÷ 4,015 mm hloubka 8 mm
Plánovaný počet děr v r. 2011	8 – 10 mil.
Požadovaná rozměrová přesnost	v rozsahu IT7
Max. drsnost povrchu	Rz = 10µm
Upnutí obrobku	speciální upínač – zakládání manipulátorem

- **Technologie výroby**

V tabulce 5.2 je uveden technologický postup výroby otvoru ø4,2 H8 s hloubkou 8 mm. Začíná se navrtáním a zahloubením, otvor se vyvrtá vrtákem a následuje vystružování otvoru. Jelikož se jedná o průměr menší, než 10 mm není potřebné otvor před vystružováním vyhrubovat nebo vyvrtávat. Nakonec se ostré hrany otvoru strojně odjehlují.

Tab. 5.2 Technologie výroby

Technologie výroby děr ø4,2 H8				
operace	otáčky n [min^{-1}]	řezná rychlost v_c [$m.min^{-1}$]	posuv f [mm]	strojní čas t_s [s]
Navrtávání a zahloubení	5200	65	0,1	1,04
Vrtání ø4	5200	65	0,1	1,15
Vystružování ø4,2 H8	5200	68	0,3	0,31
Strojní odjehlování	-	-	-	-

Řezná rychlost byla vypočítána z otáček pomocí vzorce:

$$v_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} \ [m \cdot min^{-1}],$$

kde: D [mm] je jmenovitý průměr vystružované díry,
n [min^{-1}] jsou otáčky vřetena.

- **Stroj**

Název:	CNC obráběcí centrum (výrobce ELHA)
Počet vřeten:	dvě horizontální vřetena
Max. počet otáček:	6 000 1/min
Chlazení:	olej přivedený vnitřně, tlak 50 Bar, stroj nemá magnetický odlučovač třísek z chladicí kapaliny, ale jen separační filtr (20 µm)
Počet strojů:	6
Směnnost:	nepřetržitý provoz

- **Současně používaný nástroj**

Čtyřbřitý monolitní cermetový výstružník ø 4,206 $_{-0,003}$ mm nerozebíratelně spojený s ocelovým pouzdrem (ø10h5), které je upraveno pro přívod procesní kapaliny vnitřkem nástroje až k zubovým mezerám (viz. kap. 5.2.1). Výstružník se upíná prostřednictvím běžného hydroupínače s kuželem HSK63.

S tímto vystružovacím nástrojem je v současnosti průměrně dosahováno těchto parametrů:

- trvanlivost břitů výstružníku (nový): 2600 děr,
- trvanlivost břitů přeostřeného výstružníku: 2200 děr,
- počet ostření: 1,
- průměrná životnost výstružníku: 4 800 děr.

- **Kontrola, měření**

Při výrobě probíhají tři typy kontrol a měření:

a) Průběžná dílenská kontrola děr prováděná vzduchovým měřidlem, kde se kontroluje:

- rozměr děr: ø 4,203 ÷ ø 4,213 mm,
- kuželovitost děr: Tvar V 5 µm, Tvar A 3µm.

b) Kontrola v měrovém středisku, která se pravidelně provádí po 8 hodinách produkce na měřícím souřadnicovém měřidle. Výstupem měření je měřící protokol s naměřenými údaji:

- průměr díry,
- tvar díry,
- poloha díry.

c) Pravidelně po 4 hod. produkce se vyhodnocuje drsnost povrchu a záznamy se archivují.

- **Důvod vyřazení výstružníku ze stroje**

Přibližně 60% výstružníků dosáhne předepsané trvanlivosti břitů tj. 3000 děr. V tomto případě je kritérium limitní opotřebení břitů výstružníku. Jiným častým důvodem vyřazení výstružníku je vzniklý velký otřep na výstupu díry, který je nejčastěji způsoben poškozeným nebo abnormálně otupeným vrtákem. Stává se to zejména u přeostřovaných vrtáků, u nových vrtáků a výstružníků výjimečně. Obsluha pak nezkoumá, který nástroj závadu zapříčinil a vymění vrták i výstružník. Tímto zákrokem se vyřadí i výstružník, který ještě není optimálně opotřebený.

5.3.2 Návrh testu nových výstružníků HAM-FINAL ø4,2

Než budou nově navržené vystružovací nástroje HAM-FINAL ø4,2 (viz. kap. 5.2.2) zařazeny do výrobního procesu, je nezbytné nejdříve otestovat jejich užitné vlastnosti. Nové

Požadovaná kritéria hodnocení jsou následující:

- trvanlivost břitů výstružníku (nový): 4 000 děr,
- trvanlivost břitů přeostřeného výstr.: 3 000 děr,
- počet ostření: 1,
- životnost nástroje: 7000 děr,
- cílená úspora přímých nákladů: 30% (vztaženo na 1 díru),
- úspora nepřímých nákladů: zkrácení vedlejších časů (hlavně výměna nástroje).

V tabulce 5.3. jsou uvedeny rozdíly dosažených průměrných hodnot trvanlivosti a životnosti břitů při použití doposud používaného nástroje a požadovaných hodnot, kterých by se mělo dosahovat při použití nově navrženého nástroje.

Tab. 5.3. Dosažené a požadované průměrné hodnoty trvanlivostí u starého a nově navrženého vystružovacího nástroje

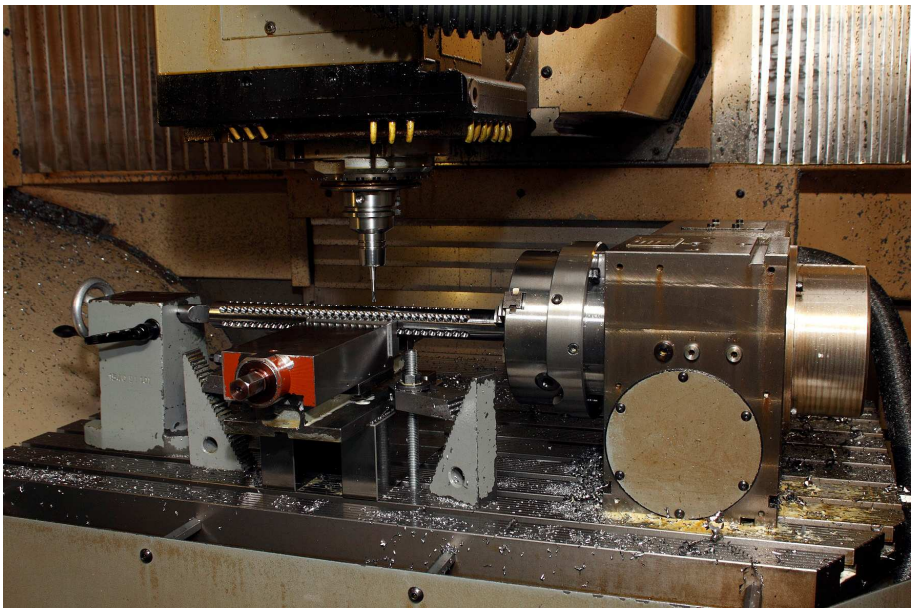
Parametry		Doposud používaný nástroj	Požadavky na nově navržený nástroj
trvanlivost břitů nového nástroje	[počet obrobených děr]	2600	4000
trvanlivost břitů přeostřeného nástroje		2200	3000
životnost nástroje		4800	7000

Nové nástroje nejprve testovala firma HAM-FINAL a po ověření jejich vlastností byly následně poskytnuty k testování do firmy, která tyto výstružníky využívá k vystružování zmiňovaných těles vstřikovacího systému.

Obr. 5.11 Zkušební tělesa pro vystružování otvorů ø4,2 H8

Ve firmě HAM-FINAL se užitné vlastnosti nových vystružovacích nástrojů ověřovaly obráběním děr ø4,2 H8 ve zkušebním tělese (viz. obr. 5.11), které mělo charakter tlustostěnné trubky stejně jako těleso vstřikovacího systému. Zkušební těleso bylo vyrobeno ze stejné oceli (14 221) a z důvodů úspory materiálu a rychlejšího průběhu testu byly vystružované otvory umístěny hned vedle sebe ve čtyřech podélných řadách. Před vyvrtáním děr byly na tělese vyfrézovány čtyři podélné plošky, aby nebyly díry vrtány na válcové ploše.

Naproti tomu ve firmě, která tyto výstružníky chce v budoucnu využívat při obrábění otvorů v tělese vstřikovacího systému, byly nové nástroje testovány přímo ve výrobním procesu při obrábění těchto těles. Řezné podmínky a kontrola parametrů obráběných otvorů byly tedy stejné jako při obrábění se starým nástrojem (viz. kapitola 5.3.1).



Obr. 5.12 Zkušební těleso upnuté v CNC stroji DECKEL MAHO - DMU 60 T

Zkušební tělesa byly ve firmě HAM-FINAL obráběny na CNC stroji DECKEL MAHO - DMU 60 T (viz obr. 5.12 a příloha 4). Byly použity stejné řezné podmínky, které byly aplikovány při vystružování otvorů ø4,2 H8 starým nástrojem (viz. obr. 5.13.). Vystružené otvory byly pravidelně kontrolovány vzduchovým měřidlem a drsnost povrchu se měřila na drsnoměru Pocket Surf firmy Mahr (viz. příloha 5).

Obr. 5.13 Technologie výroby děr ø4,2 H8

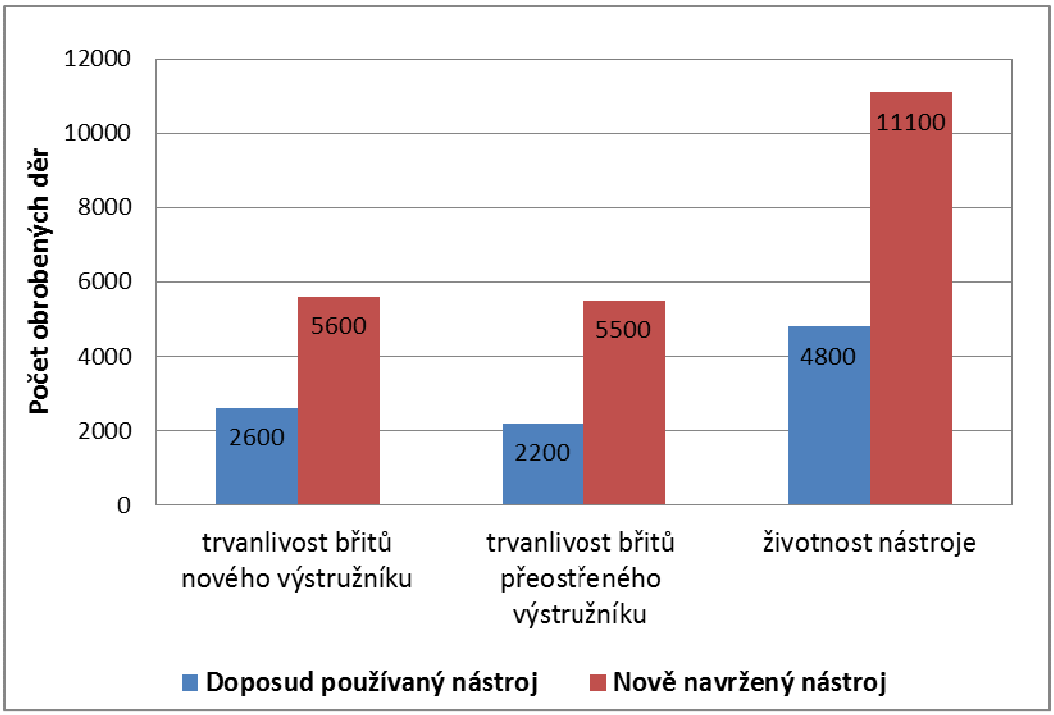
5.3.3 Vyhodnocení testu nových výstružníků HAM-FINAL ø4,2

Hlavním kritériem hodnocení byla trvanlivost a životnost nově navržených vystružovacích nástrojů. Ve firmě HAM-FINAL bylo novým nástrojem obrobeno 4000 děr. Nástroj ani po obrobení tolika děr nebyl ještě stále optimálně opotřeben, ale taková trvanlivost již vyhovovala stanoveným požadavkům a nástroje se poté mohly zaslat na rozsáhlejší test do firmy, která nástroje otestovala přímo ve výrobě těles vstřikovacího systému. Konečné hodnoty testu průměrně dosahovaných trvanlivostí jsou uvedeny v tabulce 5.4.

Tab. 5.4. Vyhodnocení testu

Parametry		Doposud používaný nástroj	Požadavky na nově navržený nástroj	Dosažené hodnoty nově navrženým nástrojem
trvanlivost břitů nového nástroje	[počet obrobených děr]	2600	4000	5600
trvanlivost břitů přeostřeného nástroje		2200	3000	5500
životnost nástroje		4800	7000	11100

Uvedené výsledky jsou průměrné hodnoty dosažené při testování 50 výstružníků. Průměrně se tedy s nově navrženým nástrojem obrobilo 5600 děr, což je o 3000 děr více oproti trvanlivosti starého nástroje a o 1600 děr více oproti požadované trvanlivosti. Po přeostření obrobil nástroj o 3300 děr více oproti původnímu nástroji a o 2500 obrobených děr předčil požadavky. Převede-li se počet obrobených děr na trvanlivost v jednotkách času, je potom trvanlivost nového nástroje 28,93 min což je oproti trvanlivosti původního nástroje, která činila 13,43 min, nárůst o 15,5 min. Firma HAM-FINAL nechce zveřejnit konkrétní ceny nástrojů, a proto stačí konstatovat, že použitím nového nástroje se přímé náklady na obrobení jedné díry snížili o 57,66 %. V grafu na obr. 5.14 a v tabulce 5.5 jsou shrnuty výsledky testu a rozdíly mezi doposud používaným a nově navrženým vystružovacím nástrojem.



Obr. 5.14 Vyhodnocení testu

Tab. 5.5 Vyhodnocení testu

Parametry	Doposud používaný nástroj	Nově navržený nástroj	Rozdíl
trvanlivost břitů nového výstružníku	2600 děr	5600 děr	3000 děr = **115,4 %**
trvanlivost břitů přeostřeného výstružníku	2200 děr	5500 děr	3300 děr = **150 %**
průměrná životnost nástroje	4800 děr	11100 děr	6300 děr = **131,3 %**
přímé náklady na obrobení jedné díry	-	-	**57,66 %**

ZÁVĚR

Tato práce v úvodu popisuje základní parametry přesnosti a kvality povrchu obrobených děr. V další části je uvedeno rozdělení vystružovacích nástrojů včetně popisu jejich konstrukce a geometrie. Následující kapitoly rozebírají řezné materiály a povlaky, které se aplikují při výrobě vystružovacích nástrojů. Dále je zmapována technická úroveň těchto nástrojů u světových výrobců zabývajících se výrobou nástrojů pro přesné obrábění děr.

V praktické části bylo úkolem navrhnout, provést a vyhodnotit experimentální ověření užitných vlastností nově vyvíjených výstružníků s břity z cermetu ve spolupráci s firmou HAM-FINAL. Tato firma doposud dodávala vystružovací nástroje do firmy zabývající se výrobou komponentů do spalovacích motorů, kde se s nimi obráběly díry ø4,2 H8 v tělesech vstřikovacího systému. Nově vyvíjené výstružníky HAM-FINAL ø4,2 měly za účel nahradit doposud používaný nástroj a hlavním cílem bylo snížení výrobních nákladů.

Toho se dosáhlo novou konstrukcí vystružovacího nástroje, která umožňuje nástroj volně složit z několika dílů. Konstrukce umožňuje vystružovací nástroj výhodně ekonomicky renovovat a to pouze výměnou řezného nástroje, přičemž upínací a krycí pouzdro lze mnohonásobně opakovatelně použít. Oproti doposud používanému nerozebíratelně složenému nástroji to znamenalo významný pokrok vedoucí ke snížení výrobních nákladů. Dalšího snížení nákladů bylo dosaženo použitím jiného druhu cermetu pro výrobu řezného nástroje. Ten disponuje vyšší abrazivní odolností, což vede ke zvýšení trvanlivosti břitů a díky tomu je možné s jedním nástrojem obrobit větší množství děr, což snižuje přímé náklady na obrobení jedné díry.

Testování nástrojů probíhalo jak ve firmě HAM-FINAL, která nástroje vyrábí, tak i ve firmě, která je plánuje používat pro vystružování děr v tělesech vstřikovacího systému. Ve firmě HAM-FINAL se při testu na zkušebních tělesech potvrdily předpokládané užitné vlastnosti nově navržených nástrojů a ty mohly být poté zaslány do firmy, která je testovala přímo při obrábění již zmiňovaných děr ve výrobním procesu.

Cílem testování nově navržených výstružníků bylo dosažení trvanlivosti nástroje 4000 obrobených děr a u přeostřeného nástroje byla cílená trvanlivost 3000 obrobených děr. Výsledky testu předčily očekávání, protože trvanlivost nástroje byla mnohem vyšší než cílená trvanlivost. Experimentální ověření užitných vlastností nástroje ukázalo, že novým nástrojem lze průměrně obrobit 5600 děr, což je o 115,4 % více, než bylo dosahováno s doposud používaným nástrojem a o 40% více než byla cílená trvanlivost. Po přeostření nástroj obrobí až do optimálního opotřebení břitů jen o 100 děr méně než před přeostřením, což oproti starému nástroji znamená zvýšení trvanlivosti o 150 % a oproti cílené trvanlivosti se jedná o zvýšení o 83,3%. Průměrná celková životnost nově navrženého nástroje je oproti doposud používanému nástroji nakonec vyšší o celých 131,3 %.

Hlavním důvodem zavádění nového vystružovacího nástroje do výroby bylo snížení výrobních nákladů. Požadavkem bylo snížení přímých výrobních nákladů na obrobení jedné díry o 30%. Zlepšením konstrukce vystružovacího nástroje a zvýšením trvanlivosti břitů se dosáhlo snížení přímých výrobních nákladů na obrobení jedné díry o 57,66 %.

Těchto hodnot je možné dosáhnout za předpokladu, že výměna řezného nástroje proběhne až po optimálním opotřebení jeho břitů. Výrobce těles vstřikovacího systému ale nástroje mění už po obrobení 4000 děr, což je hodnota, při které je nutno vyměnit opotřebený vrták. Z toho důvodu firma učinila rozhodnutí, vyměnit všechny nástroje najednou, aby se předešlo dalším prostojům stroje. I přesto nástroj splnil požadavky a bylo dosaženo cíleného snížení výrobních nákladů a lze tedy konstatovat, že se podařilo dosáhnout stanovených cílů.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

[1] *CANAVA : Výstružníky - praktické rady* [online]. 2007 [cit. 2011-04-27]. Hlavní vlivy na výslednou přesnost vystružené díry. Dostupné z WWW: <http://www.canava.cz/?s=vystruzniky&sub=rady&lang=cz>.

[2] SVOBODA, Pavel, et al. *Základy konstruování*. 2. dopl. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., 2008. 234 s. ISBN 978-80-7204-584-6.

[3] KOUŘIL, Karel; VANĚK, Vladimír. Dokončovací operace vystružování. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 14.6.2006, 6, [cit. 2011-04-27]. Dostupný z WWW:<http://www.mmspektrum.com/clanek/ dokoncovaci-operace-vystruzovani>.

[4] AB SANDVIK COROMANT - SANDIK CZ s.r.o. *Příručka obrábění - Kniha pro praktiky*. Přel. M. Kudela. 1. vyd. Praha: Scientia, s.r.o., 1997. 857 s. Přel. z: Modern Metal Cuttig - A Practical Handbook. ISBN 91-97 22 99-4-6.

[5] Parametry drsnosti povrchu. *ZEISS* [online]. 2008, [cit. 2011-04-27]. Dostupný z WWW: <http://www.zeiss.sk/C12571AF002D4699/EmbedTitelIntern/Prospekt_Drsnost/$File/drsnost.pdf>.

[6] SMITH, Graham T. *Cutting Tool Technology: Industial Handbook*. 1st edition. Southampton: Springer., 2008. 600 p. ISBN 1-848-00204-1.

[7] HUMÁR, Anton. *Technologie I – Technologie obrábění – 2.část.* [online]. Studijní opory pro podporu samostudia v oboru ”Strojírenská technologie” BS studijního programu ”Strojírenství”. VUT v Brně, Fakulta strojního inženýrství. 2004, 95 s. [cit. 2011-03-27]. Dostupné z WWW: <http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/?page=opory>.

[8] KOCMAN, Karel; PROKOP, Jaroslav. *Technologie obrábění*. 2. vyd. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., 2005. 270 s. ISBN 80-214-3068-0.

[9] *August-beck.de* [online]. 2010 [cit. 2011-05-17]. High Performance Reamers.. Dostupné z WWW: <http://www.august-beck.de/site_en.produkte.reiben.einzelprod0.php>.

[10] MAPAL Dr. Kress KG. *Fixed reamers Carbide & Cermet standard programme*. [online]. 2009 [cit. 2011-05-16]. Dostupné z WWW: <http://www.mapal.com/fileadmin/00_PDF-Dateien/Kataloge /englisch/04 _feste_Reibahle_E_AA_oP_02A.pdf>.

[11] MAPAL Dr. Kress KG. *Competence Reaming & Fine boring*. [online]. 2009 [cit. 2011-05-16]. Dostupné z WWW: <http://www.mapal.com/fileadmin/00_PDF-Dateien/Kataloge/englisch/Reiben _Feinbohren_V1.0.0_e.pdf>.

[12] HUMÁR, Anton. *Technologie I – Technologie obrábění – 1. část.* [online].Studijní opory pro podporu samostudia v oboru ”Strojírenská technologie” BS studijního programu ”Strojírenství”. VUT v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2003, 138 s. [cit. 2011-03-27] Dostupné z WWW: <http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/?page=opory>.

[13] ZEMČÍK, Oskar. *Nástroje a přípravky pro obrábění*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., 2003. 193 s. ISBN 80-214-2336-6.

[14] August BECK GmbH & Co. KG. *Beck Main Catalogue Edition 2008*. [online]. 2008 [cit. 2011-05-16]. Dostupné z WWW: <http://www.august-beck.de/files/veroeff/BECK_Gesamtkatalog _2008 _Nachdruck%202009.pdf>.

[15] HUMÁR, Anton. *Materiály pro řezné nástroje*. Praha: MM publishing, s.r.o., 2008. 235 s. ISBN 978-80-254-2250-2.

[16] AB SANDVIK COROMANT. *Main catalogue 2009 : Všeobecné soustružení* [online]. 2009 [cit. 2011-04-29]. Dostupný z WWW: <http://www2.coromant.sandvik.com/coromant/downloads/catalogue/CZE/MC_2009_Klick_CZE_A.pdf>.

[17] HOLUBÁŘ, Pavel; JÍLEK, Mojmír; RŮŽIČKA, Milan. Moderní PVD povlaky pro řezné aplikace a tváření. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 1.9.2004, 9, [cit. 2011-05-17]. Dostupný z WWW: <http://www.mmspektrum.com/clanek/moderni-pvd-povlaky-pro-rezne-aplikace-a-tvareni>.

[18] KOMET GROUP GmbH. *KomPass – Reaming*. [online]. 2010 [cit. 2011-05-16]. Dostupné z WWW: <http://www.kometgroup.com/pdf/kompass/KomPass-Reaming.pdf-58>.

[19] SECO TOOLS AB. *Machining navigator 2008 - Holemaking metric*. [online]. 2010 [cit. 2011-05-16]. Dostupné z WWW: <http://www.secotools.com/CorpWeb/Service_Support/machining _navigator/MN2008_Holemaking.pdf>.

[20] FIALA, Stanislav; HLADÍK, Petr. Cermetové výstružníky. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 14.4.2004, 4, [cit. 2011-04-27]. Dostupný z WWW: <http://www.mmspektrum.com/clanek/cermetove-vystruzniky>.

[21] HOLUBÁŘ, Pavel; ZINDULKA, Ondřej; JÍLEK, Mojmír. Světová novinka v PVD povlacích pro řezné aplikace a tváření. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 26.4.2010, 5, [cit. 2011-05-17]. Dostupný z WWW: <http://www.mmspektrum.com/clanek/svetova-novinka-v-pvd-povlacich>.

[22] HOLUBÁŘ, P., JÍLEK, M., ŠÍMA, M. Present and possible future applications of superhard nanocomposite coatings. *Surface and Coating Technology.* 133-134 (2000). pp. 145-151. ISSN 0257-8972.

[23] *MAPAL : The major specialist of precision tools* [online]. 2010 [cit. 2011-05-16]. Company. Dostupné z WWW: <http://www.mapal.com/en/company/>.

[24] *MAPAL : The major specialist of precision tools* [online]. 2010 [cit. 2011-05-16]. Product groups. Dostupné z WWW: < http://www.mapal.com/en/products/product-groups/>.

[25] MAPAL Dr. Kress KG. *Multicut standard programme*. [online]. 2009 [cit. 2011-05-16]. Dostupné z WWW: <http://www.mapal.com/fileadmin/00_PDF-Dateien/Kataloge/englisch/02 _Multicut_E_02A_kl.pdf>.

[26] *August-beck.de* [online]. 2010 [cit. 2011-05-17]. The Company. Dostupné z WWW: <http://www.august-beck.de/site_en.ueberuns.firmenprofil.php>.

[27] *Guhring, Inc.* [online]. 2010 [cit. 2011-05-17]. About Us. Dostupné z WWW: <http://www.guhring.com/AboutUs/Corporate.htm>.

[28] Guhring, Inc. *HR 500 Reamers*. [online]. 2010 [cit. 2011-05-16]. Dostupné z WWW: <http://www.guhring.com/Documents/Catalog/Reamers/HR500.pdf>.

[29] *KOMET GROUP GmbH.* [online]. 2010 [cit. 2011-05-17]. Facts and figures. Dostupné z WWW: <http://www.kometgroup.com/en/navigation-top/komet-group/facts-and-figures.html>.

[30] *Seco Tools* [online]. 2011 [cit. 2011-05-17]. About Seco Group. Dostupné z WWW: <http://www.secotools.com/en/Global/About-Us/>.

[31] SECO TOOLS AB. *Machining navigator 2010 - Holemaking metric*. [online]. 2010 [cit. 2011-05-16]. Dostupné z WWW: <http://www.secotools.com/CorpWeb/Service_Support/machining_navigator/2010/holemaking/LR _GB_Holemaking_2010.pdf>.

[32] AB SANDVIK COROMANT. *Main catalogue 2009 : Vyvrtávání.* [online]. 2009 [cit. 2011-04-29]. Dostupný z WWW: <http://www2.coromant.sandvik.com/coromant/downloads/catalogue/CZE/MC_2009_Klick_CZE_F.pdf>.

[33] *ISCAR Cutting Tools : Metal Working Tools* [online]. 2010 [cit. 2011-05-17]. Overview. Dostupné z WWW: <http://www.iscar.com/Section.asp/CountryID/1/SectionID/2/SectionFatherID/1>.

[34] *ISCAR Cutting Tools* [online]. 2010 [cit. 2011-05-17]. ISCAR Reamers. Dostupné z WWW: <http://www.iscar.com/Products.asp/CountryID/1/ProductId/67>.

[35] *HAM-FINAL* [online]. 2007 [cit. 2011-05-17]. O firmě. Dostupné z WWW: <http://www.ham-final.cz/?page=o_firme>.

[36] FIALA, Stanislav; KOUŘIL, Karel. Nová generace průmyslového diamantu. *MM Průmyslové spektrum*. 1.9.2010, 9, s. 106-107. Dostupný také z WWW: <http://www.mmspektrum.com/clanek/nova-generace-prumysloveho-diamantu>. ISSN 1212-2572.

[37] FIALA, Stanislav; KOUŘIL, Karel. *Moderní nástroje pro vystružování*. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. 2009. ISSN 978-80-214-3914-6.

[38] FIALA, Stanislav; KOUŘIL, Karel. Moderní nástroje pro dokončování děr. *MM Průmyslové spektrum*. 25,4,2007, 4, s. 42-43. Dostupný také z WWW: <http://www.mmspektrum.com/clanek/moderni-nastroje-pro-dokoncovani-der>. ISSN 1212-2572.

[39] HAM-FINAL, s.r.o. *Katalog výrobků*. 2009. 60s.

[40] HAM-FINAL, s.r.o. Interní materiály firmy.

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

Zkratka/Symbol	Jednotka	Popis
Al	[-]	Hliník
Al_2O_3	[-]	Oxid hlinitý
Ar	[-]	Argon
CNC	[-]	Computer Numerical Control
Co	[-]	Kobalt
Cr	[-]	Chrom
CVD	[-]	Chemical Vapour Deposition
D	[mm]	Jmenovitý průměr vystružované díry
D_{max}	[mm]	Horní mezní rozměr
D_{min}	[mm]	Dolní mezní rozměr
EI	[mm]	Dolní mezní úchylka
ES	[mm]	Horní mezní úchylka
HSK	[-]	Nástrojový upínač s dutou kuželovou stopkou
HSS	[-]	High Speed Steel
IT	[-]	Toleranční stupeň
ISO	[-]	International Organization for Standardization
JR	[mm]	Jmenovitý rozměr
Mo_2C	[-]	Karbid molybdenu
N	[-]	Dusík
NbC	[-]	Karbid niobu
Ni	[-]	Nikl
Pf	[-]	Nástrojová boční rovina
PKD	[-]	Polykrystalicky diamant
PKNB	[-]	Polykrystalický nitrid bóru
Po	[-]	Nástrojová ortogonální rovina
Pr	[-]	Nástrojová základní rovina
Ps	[-]	Nástrojová rovina ostří
PVD	[-]	Physical Vapour Deposition
Ra	[µm]	Aritmetická střední hodnota profilu drsnosti
Rq	[µm]	Kvadratická střední hodnota profilu drsnosti

Zkratka/Symbol	Jednotka	Popis
Rt	[µm]	Maximální hloubka drsnosti
Rz	[µm]	Hloubka drsnosti
Rzi	[µm]	Jednotlivá hloubka drsnosti
SEM	[-]	Scanning Electron Microscope
SK	[-]	Slinutý karbid
T	[mm]	Tolerance
TaC	[-]	Karbid Tantalu
TEM	[-]	Transmission Electron Microscope
TiC	[-]	Karbid titanu
TiCN	[-]	Karbonitrid titanu
TiN	[-]	Nitrid titanu
VC	[-]	Karbid vanadu
WC	[-]	Karbid wolframu
ba	[mm]	Fazetka
f	[mm]	Posuv na otáčku
k_c	[MPa]	Měrná řezná síla
ln	[mm]	Vyhodnocovaná délka
lr	[mm]	Základní délka
lt	[mm]	Snímaná délka
n	[min^{-1}]	Otáčky vřetene
p	[mm]	Přídavek na obrábění
r_n	[mm]	Poloměr zaoblení ostří
r_ε	[mm]	Poloměr zaoblení špičky nástroje
v_c	[°]	Řezná rychlost
α_o	[°]	Nástrojový ortogonální úhel h řbetu
α_p	[°]	Nástrojový zadní úhel h řbetu
γ_f	[°]	Nástrojový bo ční úhel čela
γ_o	[°]	Nástrojový ortogonální úhel čela
γ_p	[°]	Nástrojový zadní úhel čela
κ_r	[°]	Úhel nastavení hlavního ost ří

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1 Výkres obráběného tělesa vstřikovacího systému

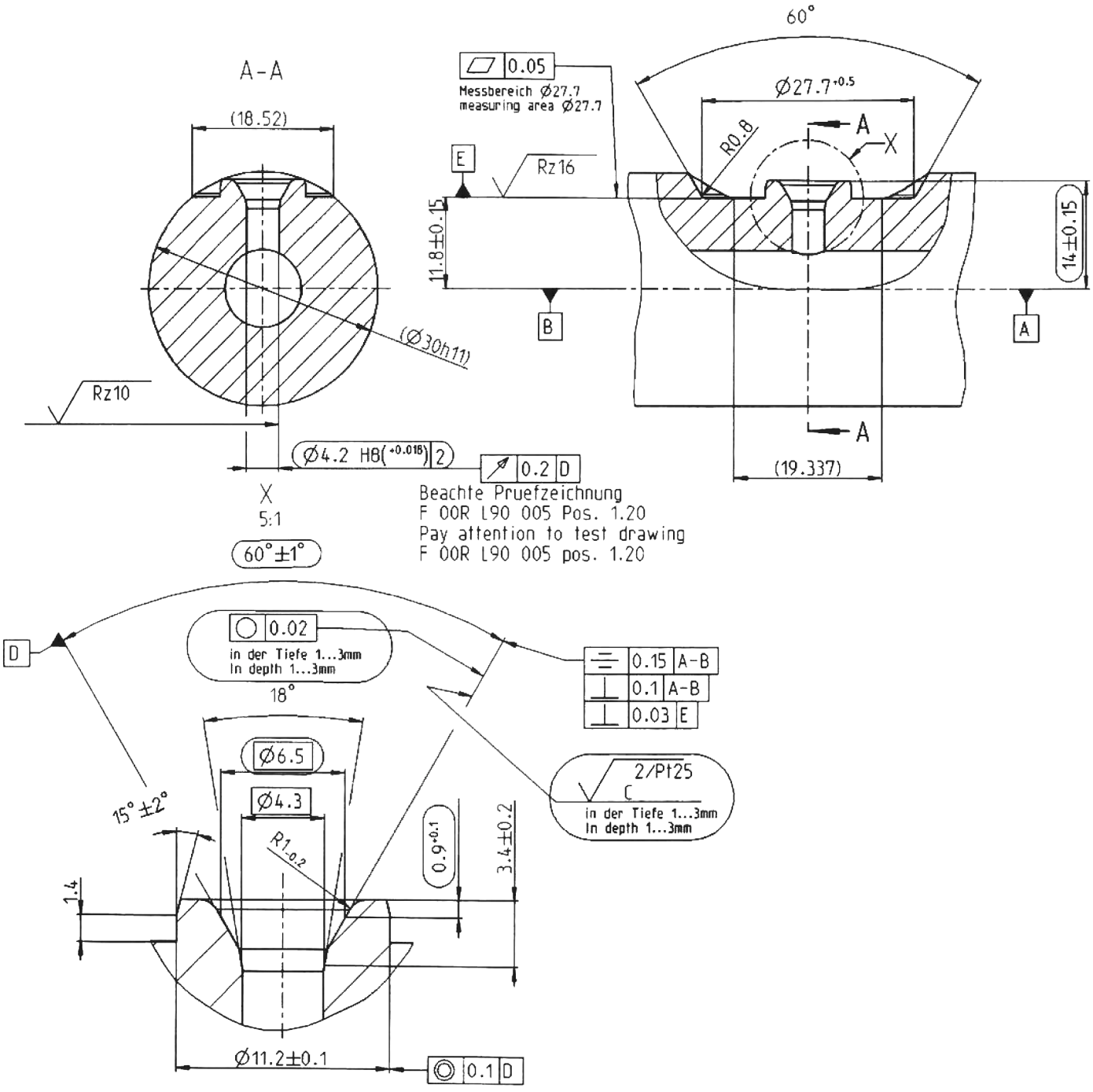
Příloha 2 Výkres doposud používaného výstružníku HAM-FINAL ø4,2

Příloha 3 Výkres nově navrženého výstružníku HAM-FINAL ø4,2

Příloha 4 Popis Univerzální CNC frézky DECKEL MAHO - DMU 60 T

Příloha 5 Popis drsnoměru Mahr – Pocket Surf

Příloha 1

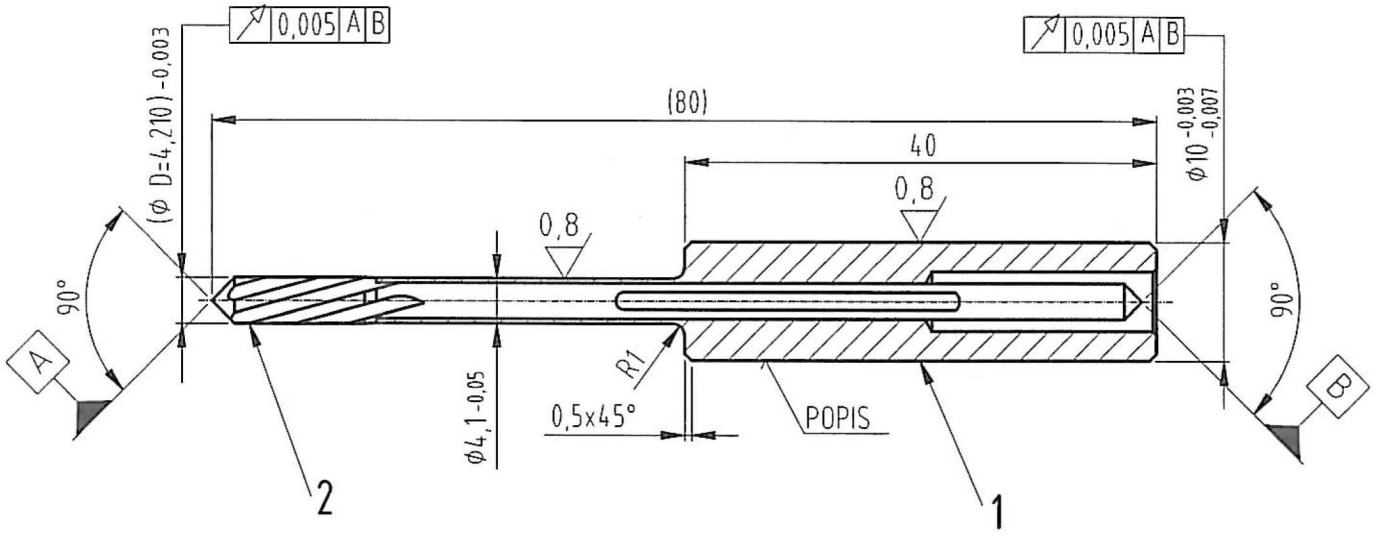


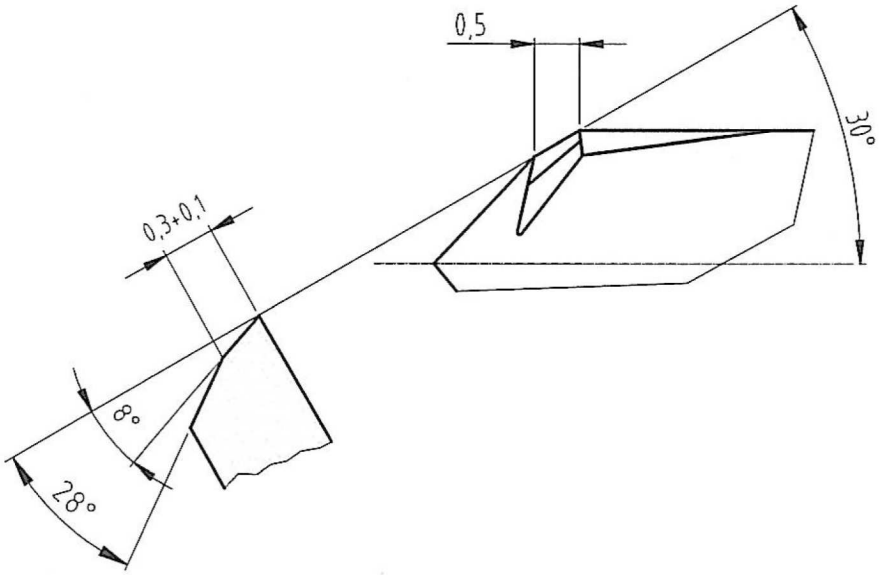
Poznámka:
Výkres není v kompletní podobě. (požadavek výrobce)

Rz40 ( )

Měřítko	Materiál	Název
2:1	20MnCrS4	TĚLESO VSTŘIKOVACÍHO SYSTÉMU

Příloha 2





POPIS: HAM RC70043R000

PA-Nr.: /týden/rok

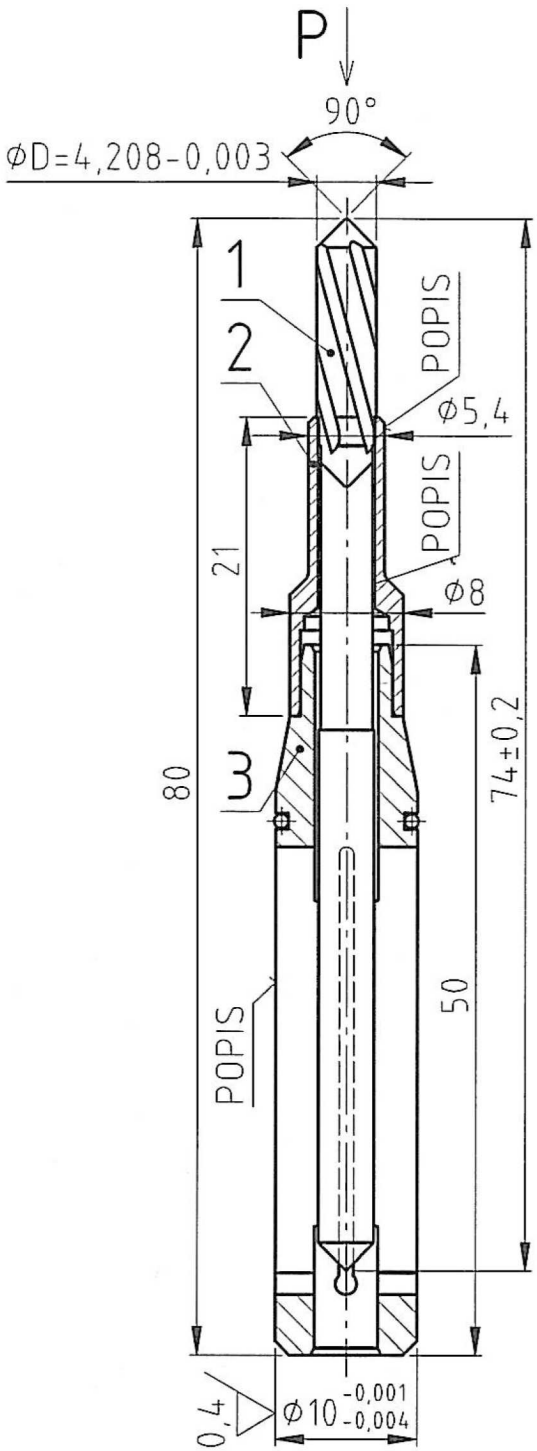
2	1	NÁSTROJ	CERMET				6320-325-P2
1	1	UPÍNACÍ DÍL	(15260) ETG100				6320-248-P1

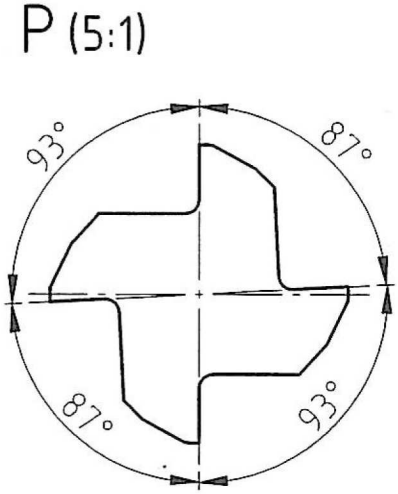
Poz.	Počet kusu	Název	Materiál	Rozměr	Hmotnost Číslo mat.	Číslo mod Norma	Číslo výkresu

Měřítko					
2:1	Kreslil: Ing. Hladík	Norm. ref.:	Změna	Datum, Podpis	a
	Kontroloval:	Výrob. ref.:			b
	Schválil:	Datum: 10.10.2007			c

HAM–FINAL BRNO	Typ:	Starý výkres Nový výkres
	Název: VÝSTRUŽNÍK ϕ4,210	Číslo výkresu: 6320-325

Příloha 3





POPIS:

3	1	UPÍNACÍ POUZDRO	OCEL				6320-439-UP
2	1	KRYCÍ POUZDRO	OCEL				6320-439-KP
1	1	VÝSTRUŽNÍK Ø4,2	CERMET+OCEL				6320-440

Poz.	Počet kusu	Název	Materiál	Rozměr	Hmotnost Číslo mat.	Číslo mod Norma	Číslo výkresu

Měřítko: 2:1	Kreslil: Ing. Plíšek	Norm. ref.:	Změna:	Datum, Podpis	a
	Kontroloval:	Výrob. ref.:			b
	Schválil:	Datum: 4.10.2010			c

HAM–FINAL BRNO	Typ:	Starý výkres Nový výkres
	Název: VÝSTRUŽNÍK Ø4,2 SESTAVA	Číslo výkresu 6320-440

Příloha 4

Univerzální CNC frézka DECKEL MAHO - DMU 60 T

Technická data

Počet os		5
Řídicí systém		Heidenhain TNC 426
Pracovní prostor X / Y / Z	mm	630 / 560 / 560
Max. rychlost rychloposuvu	m/min	26
Max. posuvová rychlost	mm/min	15000
Max. zrychlení X / Y / Z	m/s^2	7 / 7 / 6,9
Hmotnost stroje	kg	6800
Zásobník nástrojů		deskový
Počet pozic zásobníku		24
Výkon motoru vřetena (40/100% DC)	kW	15/10
Max. otáčky vřetena	1/min	18000
Max. krouticí moment vřetena	Nm	130

Příloha 5

Drsnoměr Mahr – Pocket Surf

Technická data

Rozměry	mm	140 x 76 x 25
Hmotnost	g	435
Měřící rozsahy:		
Ra	µm	0,03 – 6,35
Ry	µm	0,2 – 25,3
Rmax	µm	0,2 – 25,3
Rz	µm	0,2 – 25,3
Rozlišitelnost	µm	0,01
Splňuje normy		DIN, ISO, ASME