VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

VYSTRUŽOVACÍ NÁSTROJE S BŘITY Z CERMETU A PVD POVLAKEM

REAMERS WITH CERMET CUTTING EDGE AND PVD COATING

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE — Bc. RADIM TECHNIK
AUTHOR

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

BRNO 2009

NETISKNOUT!
Titulní list

NETISKNOUT!
Zadání

NETISKNOUT!
Licenční smlouva - oboustranně

ABSTRAKT

Diplomová práce se zaměřuje na problematiku vystružování nástroji s břity z cermetu a PVD povlakem. Poukazuje na historický vývoj a současné požadavky na kvalitu vyráběných povrchů. Obsahuje charakteristiku výstružníků, jejich základní rozdělení, konstrukci, řeznou geometrii a hlavní předpoklady vývoje vystružovacích nástrojů. V práci je posuzována vhodnost cermetů a PVD povlaků při aplikaci na vystružovací nástroje. Obsahuje přehled současného stavu na trhu s vystružovacími nástroji, včetně speciálních cermetových nástrojů a jednotlivých prvků poskytovaného Tool Managementu. Experimentální část této práce je zaměřena na ověření užitných vlastností cermetové, tepelně upínané, výměnné vystružovací hlavice s PVD povlakem, vyrobené firmou HAM-FINAL s.r.o. Součástí experimentální části je rovněž ekonomické zhodnocení investice při nákupu tohoto nástroje demonstrované na příkladě praktického použití.

Klíčová slova

Parametry přesnosti, dokončovací obrábění, výstružník, cermet, PVD povlak.

ABSTRACT

The Master's thesis is focused on reaming technology using PVD coated reamers with cermet cutting edge. This work point out a historical evolution of reaming technology as well as recent requirements to the quality of produced surfaces. Reamers characteristic, splitting, mechanical designs, cutting tool geometry as well as the assumption of a reamer potential evolution are presented. Application of cermet tool material and PVD coatings to reaming tools is considered. The work contains a review of present statement at reamer market including cermet reamers and provided single cells (elements) of the Tool Management. The experimental part of the work is focused on product manufacture qualities verification of the changeable PVD coated reamer head made by HAM-FINAL ltd. Economic analysis in case of investment to the reamer purchase is demonstrated on the example of the practical application of the reamer.

Key words

Parameters of accuracy, finishing method, reamer, cermet, PVD coating.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

TECHNIK, Radim. *Vystružovací nástroje s břity z cermetu a PVD povlakem: Diplomová práce*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2009. 98 s., příloh 12. Ing.Karel Kouřil, Ph.D.

Prohlášení

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

23. května 2009 …….

Radim Technik

Poděkování

Děkuji tímto vedoucímu diplomové práce Ing. Karlu Kouřilovi, PhD. za cenné rady a připomínky při vypracování diplomové práce.

OBSAH

Abstrakt **4**

Prohlášení **5**

Poděkování **6**

Obsah **7**

Úvod **9**

1 HISTORIE PŘESNÉHO OBRÁBĚNÍ **10**

1.1 Historický vývoj požadavků kvality obrobených povrchů *12*

1.2 Příklad postupného vývoje dokončovacích nástrojů – obrábění nábojové komory *13*

2 HODNOCENÍ KVALITY OBROBENÝCH POVRCHŮ **15**

2.1 Přesnost rozměru *15*

2.1.1 Soustava tolerancí a uložení ISO 16

2.2 Přesnost geometrického tvaru a polohy *17*

2.3 Hodnocení struktury povrchu *18*

2.3.1 Parametry struktury povrchu 19

2.4 Mechanické vlastnosti povrchové vrstvy obrobené plochy *22*

2.5 Problematika měření *23*

3 VYSTRUŽOVACÍ NÁSTROJE **24**

3.1 Charakteristika vystružování *24*

3.2 Druhy vystružovacích nástrojů *26*

3.3 Konstrukce a geometrie nástroje *27*

3.4 Hlavní vlivy na výslednou přesnost vystružené díry *31*

3.5 Ekonomické hledisko vývoje *32*

4 ŘEZNÉ MATERIÁLY APLIKOVANÉ NA VYSTRUŽOVACÍCH NÁSTROJÍCH **34**

4.1 Základní požadavky, přednosti a směr vývoje řezných materiálů *35*

4.2 Slinuté karbidy *35*

4.3 Cermety *36*

4.3.1 Historie vývoje cermetů 36

4.3.2 Výroba cermetů 37

4.3.3 Vlastnosti cermetu 38

4.3.4 Hlavní předpoklady aplikace cermetu 40

4.4 Povlakované slinuté karbidy a cermety *40*

4.4.1 Charakteristika povlaku 41

4.4.2 Základní fyzikální a chemické vlastnosti povlaků 42

4.4.3 PVD povlaky 43

4.4.4 PVD technologie povlakování 43

4.4.5 Technologie úprav nástrojů před a po povlakování 45

5 SOUČASNÝ STAV NA TRHU S VYSTRUŽOVACÍMI ŘEZNÝMI NÁSTROJI **45**

5.1 Přehled současné nabídky vystružovacích nástrojů z cermetu *46*

5.1.1 Speciální aplikace vystružovacích nástrojů 60

5.2 Tool Management *62*

6 BUDOUCNOST PŘESNÉHO OBRÁBĚNÍ 64

7 CERMETOVÁ VÝMĚNNÁ VYSTRUŽOVACÍ HLAVICE MT3 SPOLEČNOSTI HAM-FINAL 65

7.1 Společnost HAM – FINAL s.r.o. 65

7.2 Etapy vývoje výměnné vystružovací hlavice MT3 67

7.3 Technologické a konstrukční hledisko 69

7.3.1 Jedinečnost vývoje 70

8 HODNOCENÍ EFEKTIVNOSTI INVESTICE DO VÝMĚNNÉ VYSTRUŽOVACÍ HLAVICE MT3 71

8.1 Popis situace v Sauer Danfoss 71

8.1.1 Provozní spolehlivost 73

8.1.2 Dosahovaná životnost nástroje 73

8.2 Technické zhodnocení aplikace MT3 73

8.2.1 Stanovení dosažené životnosti nástroje 76

8.3 Ekonomické zhodnocení aplikace MT3 79

8.3.1 Porovnání celkových operačních výrobních nákladů 80

8.3.2 Dosažená úspora času nástrojem MT3 83

8.3.3 Úspora mzdových nákladů 83

8.4 Zhodnocení dosažených výsledků nástrojem MT3 84

Závěr 86

Seznam použitých zdrojů 87

Seznam použitých zkratek a symbolů 92

Seznam příloh 98

PŘÍLOHA 1 – Přehled měřících přístrojů na otvory firmy Mitutoyo

PŘÍLOHA 2 – Upínací systémy firmy SCHUNK

PŘÍLOHA 3 – Technologická charakteristika vystružování

PŘÍLOHA 4 – Měření a seřizování kuželovitosti výstružníků

PŘÍLOHA 5 – Přehled současných vystružovacích nástrojů z cermetu

PŘÍLOHA 6 – Pramet Prolog – náklady pod kontrolou

PŘÍLOHA 7 – PVD povlaky firmy CemeCon

PŘÍLOHA 8 – Aplikované povlaky firmy CemeCon

PŘÍLOHA 9 – Výkres součásti: Válec hydromotoru

PŘÍLOHA 10 – Příklad záznamu struktury povrchu: Mapal versus MT3

PŘÍLOHA 11 – Postup statistické analýzy hodnocení životnosti povlaků

PŘÍLOHA 12 – Nekonvenční technika vystružování

ÚVOD

Vystružování otvorů patří mezi dokončovací metody třískového obrábění s definovanou geometrií břitů udávající předobrobeným otvorům požadovaný rozměr, tvar a drsnost povrchu.

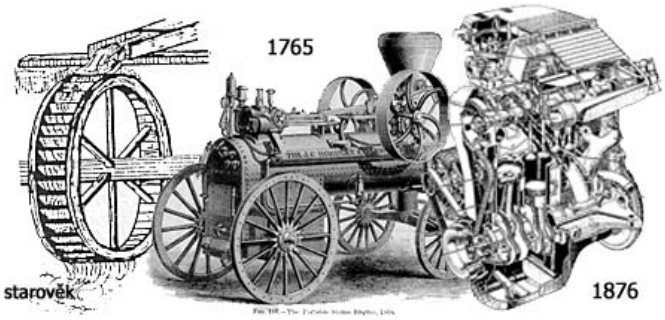
Zvládnutí technologie výroby „tvarově složitých" vystružovacích nástrojů z progresivních řezných materiálů, jako je slinutý karbid, cermet, PKNB, PKD s případným nanesením různých druhů tvrdých otěruvzdorných vrstev povlaků vytvořily z vystružování zajímavou alternativu k ostatním dokončovacím technologiím. Současné výkonné vystružovací nástroje jsou schopni dosáhnout vysoké kvality vystružovaných otvorů a to včetně akceptování ekonomických požadavků výrobních podniků. Tomuto trendu odpovídá také vývoj výkonných vystružovacích nástrojů z cermetu. Díky svým specifickým vlastnostem patří vystružovací nástroje s břity z cermetu k prodejnímu sortimentu mnoha renomovaných výrobců řezných nástrojů. Jednotlivé vlastnosti řezného materiálu jsou navíc dále umocněny pozitivním dopadem neustále se zdokonalujících vrstev PVD povlaků včetně mnoha úprav mikrogeometrie nástroje před či po samotném procesu povlakování zlepšujících užitné vlastnosti nástrojů.

Vystružovací nástroje s břity z cermetu a PVD povlakem jsou díky svým specifickým vlastnostem určeny primárně pro zákazníky z řad strojírenských podniků, které vyžadují vysokou kvalitu větších sérií vyráběných otvorů. S ohledem na vzájemnou spolupráci, která je podmíněna poskytováním většího množství nástrojů, dochází mezi výrobci či obchodními zprostředkovateli a zákazníky k oboustrannému smluvnímu vztahu. Ten obsahuje soubor často nadstandardních služeb příznivě ovlivňujících a zjednodušujících výrobní proces strojírenského podniku.

Někteří manageři z řad strojírenských firem považují nižší pořizovací cenu řezného nástroje za důležitý faktor významně ovlivňující náklady výrobního procesu. Především v sériové a hromadné výrobě součástí je však velmi často opak pravdou. Výkonný vystružovací nástroj neznamená „jenom" dosaženou vysokou kvalitu otvoru, ale celý soubor vlastností od aplikovaných vysokých řezných parametrů, způsobu a přesnosti upnutí, seřizování, apod. Takovýmto způsobem je nutné posuzovat také vývoj vystružovacích nástrojů z cermetu, který je obsahem této diplomové práce.

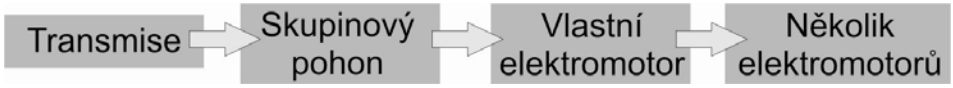
1 HISTORIE PŘESNÉHO OBRÁBĚNÍ

Snaha lidí zjednodušit si namáhavou fyzickou práci formovala od počátků vývoje člověka potřebu vynalézat nové, do té doby nepoznané věci. Od výroby primitivních kamenných nástrojů pro obstarání obživy, přes vynález vodního kola, mechanismu parního stroje, až po spalovací motory, generátory a jiné pro dnešní populaci běžné součásti denního života (viz. Obr. 1.1). Jejich vývoj však nevyžadoval pouze rozvoj jedné oblasti vědění, nýbrž komplexní vývoj celé společnosti. Vyrobení prvního spalovacího motoru (19.století) vyžadovalo jistou úroveň vývoje obráběcích strojů, nástrojů, měřidel, obráběných materiálů, potřebnou znalost kinematiky, dynamiky, termomechaniky, materiálového inženýrství apod.



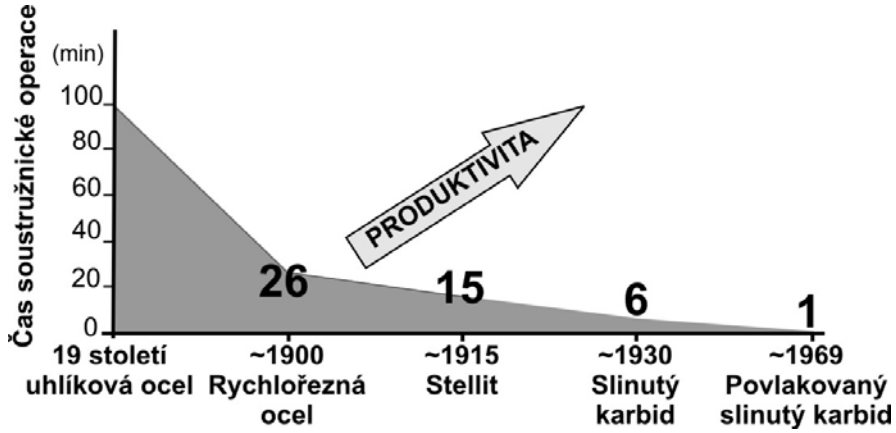
Obr. 1.1 Od vodního kola přes parní stroj ke spalovacímu motoru[68,69,70]

Vývoj **obráběcích strojů** závisel především na vývoji jejich pohonů. Od pohonů nedosahujících potřebných parametrů určených pouze pro obrábění dřeva, po pohony mechanické, jejichž síla, tuhost a řezné parametry umožnily nahrazení dřeva rychle se vyvíjejícími kovovými materiály.[59]



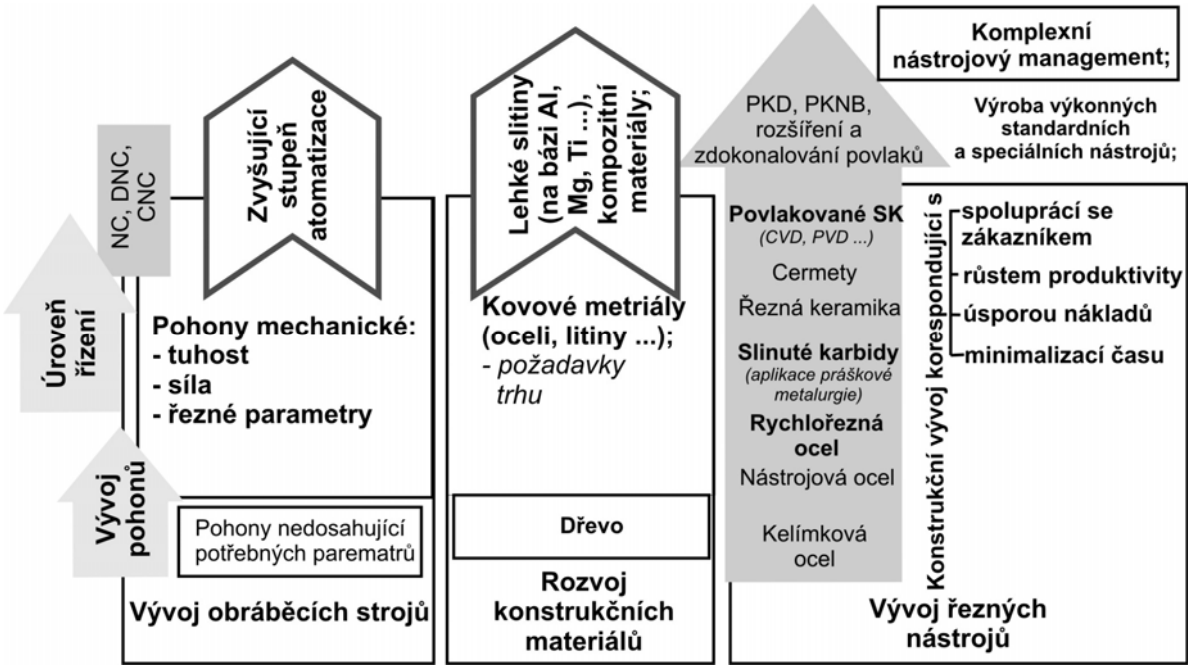
Obr. 1.2 Vývoj koncepce pohonů[59]

Vývoj **řezných nástrojů** je možné datovat od počátku 19. století vybrušováním vhodného tvaru uhlíkových nástrojových ocelí. Potřeba obrábět stále kvalitnější materiály byla částečně uspokojena roku 1900 „revolučním" objevem rychlořezné oceli, která se rychle rozšířila v aplikaci na všechny druhy řezných nástrojů. Objasnění do té doby nevídaných vlastností tohoto materiálu v podobě přítomnosti tvrdých karbidických částic vedlo k vývoji materiálu obsahujícího až 90 % WC. Jednalo se o slinutý karbid (SK) jehož průmyslovou výrobu v roce 1926 rozvinula německá společnost KRUPP. Jeho materiálové vlastnosti však v té době nedovolovaly jeho užití pro výrobu tvarově složitých nástrojů (vrtáky, frézy) a tedy jeho aplikace se soustředila především na výrobu pájených, později mechanicky upínaných destiček pro soustružení. Masivní rozšíření SK do většiny světových strojírenských podniků umocnilo nanášení otěruvzdorných vrstev povlaků, posouvající hranice aplikačních možností SK o další „stupínek" k „ideálnímu" řeznému materiálu. Vývoj řezných nástrojů nyní koresponduje s rostoucími požadavky na přesnost, ale také rychlost vyráběných součástí (viz. Obr. 1.3).



Obr. 1.3 Zvyšování produktivity postupným vývojem řezných nástrojů

Počínaje objevem rychlořezné oceli však začíná „souboj" mezi potřebnými řeznými parametry a skutečnou realitou danou tehdejšími obráběcími stroji, s kterým se i přes současné koncepce CNC obráběcích strojů potýkáme do dnes. Také další vývojové novinky z oblasti řezných materiálů, řezná keramika (širší aplikace 50 léta 20.stol.), cermety (konec 50 let 20.stol.), supertvrdé řezné materiály (po roce 1970 - PKNB, PKD), byly pro své výjimečné vlastnosti určeny především pro nepřerušované řezy, tzn. soustružnické operace. Tvarově složitější osové řezné nástroje jako například vrtáky, frézy, výhrubníky a výstružníky tak byly na dlouhou dobu vybrušovány především z rychlořezné oceli. Ačkoliv pájené, nebo mechanicky upínané břitové destičky ze SK umožňovaly jejich aplikaci například na frézovací a vrtací nástroje, i zde však přes problémy s pájením, případně masivní konstrukcí upínače, mohly být využívány převážně pro nástroje větších rozměrů. Zlom nastal až koncem 20. století, kdy technologická úroveň výroby umožnila výrobu tvarově složitých vrtáků, výstružníků a fréz z monolitního SK.



Obr. 1.4. Komplexní vývoj v oblasti třískového obrábění

1.1 Historický vývoj požadavků kvality obrobených povrchů

Objevné vynálezy 18. a 19. století (viz. Obr. 1.1) vyžadovaly pro splnění své funkce obtížněji a přesněji vyráběné strojní součásti. Jednotlivé prototypy byly žádány stále ve větším množství, což se odráželo v rostoucím konkurenčním tlaku na výrobní podniky. Nebylo tak dále únosné vyrábět jeden výrobek s rozměry dle konkrétního požadavku slícování, ale byla snaha vyrábět větší množství stejných součástí a ty pak nezávisle na sobě spojovat do montážních celků. To však vyžadovalo vytvoření systému rozměrů umožňující vzájemnou zaměnitelnost. Následovala tak snaha o zajištění jednotnosti uložení vyžadující přizpůsobení jednotlivých prvků obráběcího procesu (nástrojů, měřidel apod.).[3]

Citace: Tulská zbrojovka – Rusko (1761)[3]

Hrabě Šuvalov: *„Dle mého názoru je nutno, aby mistři měli na každou zbraň měřidla, nazývané obvykle v závodech šablonami, aby tato měřidla měla značku závodu, nebo zbrojní kanceláře a byla tak přesná, že by mohl každý podle nich vyrábět jakýkoliv předmět určité velikosti. Nepoužívá-li se měřidel, nejsou rozměry zcela stejné, protože se rozměr zjišťuje pouze od oka a proto při převzetí u vojenských útvarů se nutně musí dělat opravy, čímž se zbytečně ztrácí čas."*

Díky tomu dokázala Tulská zbrojovka v roce 1837 vyrábět cca 30 000 pušek měsíčně jejichž díly se dali vzájemně zaměňovat.

Jedním z prvních pokusů o zajištění vzájemné zaměnitelnosti bylo vytvoření lícovací soustavy navržené profesorem MVTU I.I.Kukolevským roku 1915. Roku 1919 vypracoval Ing. P.M.Šeloumov první návrh toleranční soustavy. Následovalo její postupné zpřesňování a roku 1929 byla schválena v SSSR norma „Tolerance a lícování", která se stala základem lícovací soustavy.[1] Postupná kvantifikace důležitosti jednotlivých parametrů přesnosti vedla roku 1947 k založení Mezinárodní organizace pro normalizaci (International Organization for Standardization), označované jako ISO se sídlem v Ženevě, která předepisuje jednotlivé standardy dodnes.[67]

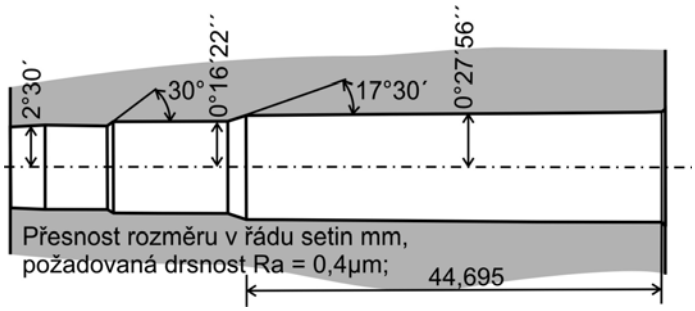
Zatímco na počátku 20. století bylo definování přesnosti vyráběných součástí závislé především na dosažení požadovaných funkčních vlastností nově vynalezených konstrukcí. Dnešní trend definování kvalitativních parametrů není (prioritně) podmiňován novými konstrukčními vynálezy, ale zdokonalováním resp. zvyšováním účinnosti výrobků stávajících a v přechodu na nové stále se zdokonalující konstrukční materiály. Současné etapy vývoje, např. spalovacího motoru, nespočívají v převratné nové konstrukci, ale především v méně ztrátové tepelné přeměně na mechanickou práci. Jednou z možností jak toho dosáhnout je zvyšování jakosti funkčních rozměrů vyráběných montážních dílů. Především v oblasti hodnocení struktury povrchu došlo k výraznému pokroku. Kromě parametrů drsnosti povrchu (dříve používán termín hladkosti povrchu[3]) se dnes vyhodnocuje (metodami 2D, 3D) počet, velikost a tvar výstupků ve vztahu k tribologii a životnosti daného produktu.

U součástí, kde přínos z dalšího zvyšování kvality povrchu s ohledem na funkci součásti není dostatečný, přichází na řadu ekonomické hledisko v podobě snahy o snižování výrobních nákladů, tzn. dosažení stejné jakosti menším počtem technologických operací. Ekonomický „pohled" na kvalitativní

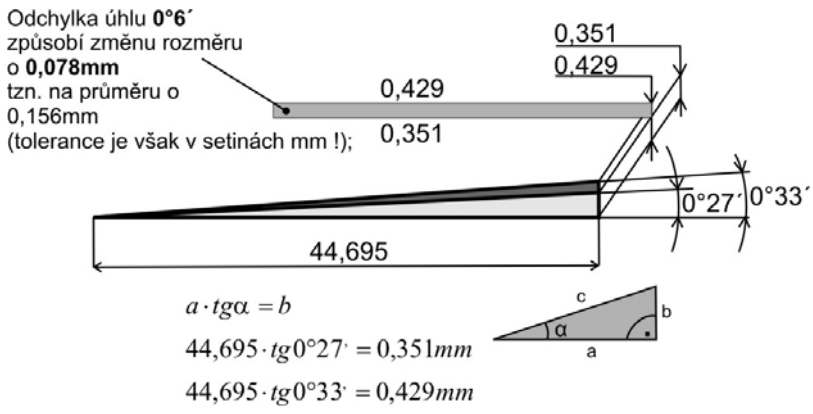
parametry obráběných povrchů se stává stále důležitějším hodnotícím kritériem strojírenských podniků.

1.2 Příklad postupného vývoje dokončovacích nástrojů – obrábění nábojové komory

Mezi podniky dávající jakosti vystružených otvorů značný význam patří výrobci střelných zbraní. Například dnes již neexistující firma Zbrojovka Brno a.s. vyráběla sdružený kužel nábojové komory hlavně pistole (viz obr.1.5) o toleranci rozměru v řádu setin milimetrů a nízké drsnosti (Ra = 0,8μm po vystružování, následným smirkováním dosažena drsnost Ra = 0,4μm). Výroba sdruženého kužele však vyžadovala vysoké nároky na obráběcí nástroje. Dodržení vzájemné závislosti požadovaného úhlu a průměru otvoru v potřebné vzdálenosti vyžaduje použití speciálního nástroje s vhodným tvarem a s dostatečnými mechanickými vlastnostmi. Minimální odchylka rozměru nástroje od požadovaného rozměru má za následek „rozhození" vzájemné závislosti průměr-délka a tedy v mezním případě vede ke vzniku zmetkového výrobku (viz. obr.1.6). Technologie výroby kužele nábojové komory střelné zbraně je tak značně složitá.



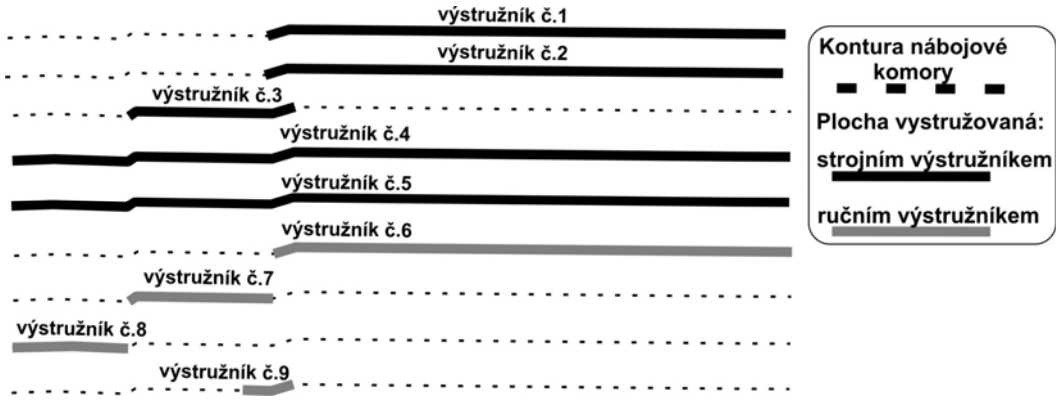
Obr.1.5 Obrys sdruženého kužele nábojové komory[31]



Obr.1.6 Vliv odchylky úhlu na velikosti rozměru

Původní technologie výroby nábojových komor využívala obrábění devíti velikostmi přesně vybroušených výstružníků z rychlořezné oceli. Výroba takovýmto způsobem však byla velice časově náročná (nízká řezná rychlost – vliv HSS, 9 x výměna nástroje atd.). Tento fakt se promítal výraznou měrou do ceny hotového výrobku. Navíc přesné vybrušování devíti vystružovacích nástrojů

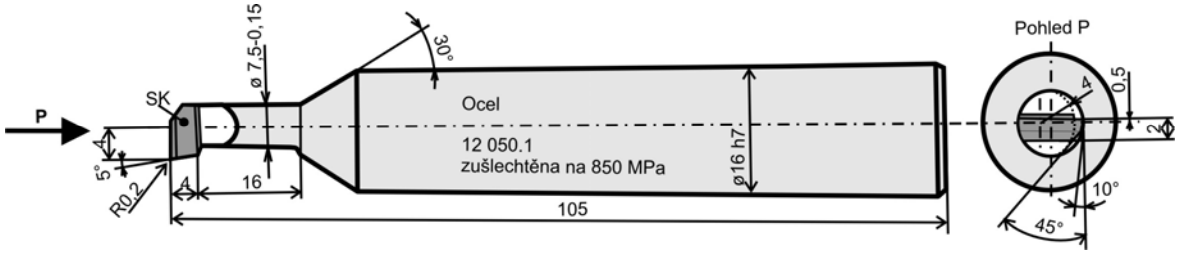
bylo značně pracné. Měření se provádělo měřícími kalibry s ryskami umožňující jednoduchou kontrolu rozměrů nábojové komory. Kalibry si Zbrojovka Brno vyráběla sama.



Obr.1.7 Postupné odebírání materiálu jednotlivými výstružníky

S ohledem na potřebu snižování času výroby (resp. výrobních nákladů výrobku) došlo k redukci počtu vystružovacích nástrojů z devíti na pět. Toho se docílilo sdružením více ploch na řeznou část jednotlivých výstružníků. S ohledem na vzájemnou provázanost ploch nábojové komory však výroba takovýchto nástrojů byla velice náročná.

Jako efektivní alternativu k časově náročnému vystružování navrhlo technologické pracoviště nástrojárny Zbrojovky Brno výrobu nábojové komory pomocí obrábění na CNC soustruhu vnitřním nožem. Tento způsob výroby byl úspěšně realizován při výrobě krátkých pistolových hlavní ráže 9 mm v divizi nářadí Zbrojovky Brno a.s. v celkovém počtu 5200 ks. Jednalo se o aplikaci hrubovacího a dokončovacího vnitřního nože obrábějícího dle předem připraveného programu. Aplikovaný obráběcí stroj SPT 16 s řízením NS 660 byl schopný dosáhnout opakovaně požadované tolerance 0,04 mm. Obráběcí vnitřní nůž musel mít dostatečnou tuhost a kvalitu břitu. Pro hrubování byl použit vnitřní soustružnický nůž s VBD (SK) firmy ISCAR (držák: 80710H SWUBR – 06, VBD: WBMT). Obrábění načisto bylo realizováno vnitřním nožem vlastní konstrukce s břitem z SK (viz. Obr.1.8). Doba vnitřního soustružení trvala méně jak dvě minuty. Díky tomu došlo k značnému snížení času výroby, což se podstatnou měrou projevilo na ceně hotového výrobku.



Obr.1.8 Dokončovací vnitřní nůž pro výrobu nábojové komory[40]

2 HODNOCENÍ KVALITY OBROBENÝCH POVRCHŮ

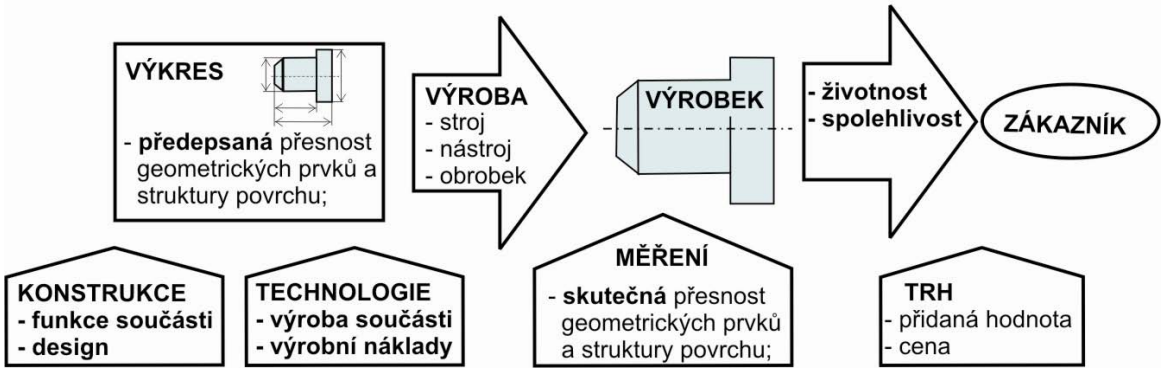
Neustávající tlak výrobních podniků na zdokonalování provozních vlastností vyráběných produktů, ovlivňuje podstatným způsobem jednotlivé výrobce prvků technologické soustavy stroj – nástroj – obrobek (dále jen S-N-O) a jejich obslužných procesů. Komplexní podstata takovéhoto vývoje spočívá především ve zvyšování jakosti obráběných povrchů, často posouvající hranice mezních parametrů. Také ve strojírenství však platí, že „**nemůžeme vyrábět přesněji, než jak dovedeme měřit".**[3] Růst parametrů kvality obráběných součástí tak vytváří rozmach v oblasti měřící techniky.

Přesností obrábění se ve strojírenství rozumí stupeň přiblížení geometrických hodnot úplně obrobené součásti k hodnotám předepsaným na výkrese.

Pro zjištění, do jaké míry byly geometrické veličiny součásti vyrobené dle výkresu splněny, je nutné určit:

- **úchylku rozměru** (viz. podkap. 2.1),
- **úchylku tvaru a polohy** (viz. podkap. 2.2),
- **parametry struktury povrchu** (viz. podkap. 2.3),
- **vlastnosti povrchové vrstvy** (viz. podkap. 2.4);[23]

Předepsané geometrické parametry vyráběných součástí mají splňovat funkční požadavky s ohledem na výrobu a její „ekonomické dopady". Konstrukčně–technologická shoda během konstrukce součásti musí zajišťovat soulad mezi provozními vlastnostmi a výší nákladů dané výroby. Stanovená přesnost součásti převyšující provozní požadavky způsobuje neopodstatněné navýšení výrobních nákladů, což v konečném důsledku negativně ovlivní výslednou tržní hodnotu výrobku (viz. obr. 2.1).



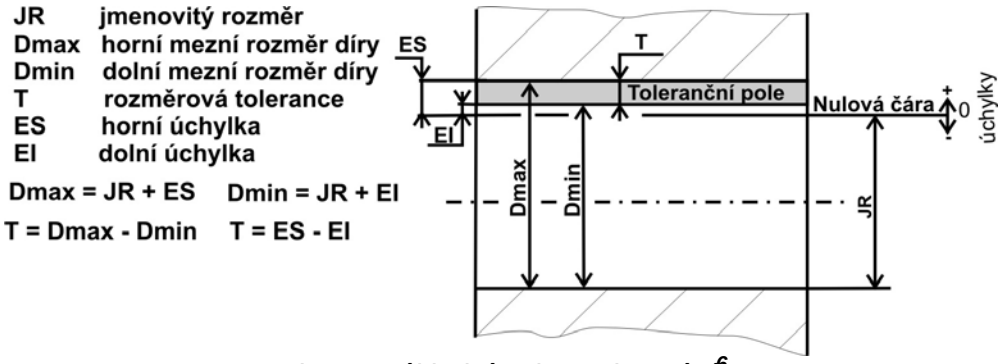
Obr. 2.1 Komplexní pohled na stanovení parametrů přesnosti součásti

2.1 Přesnost rozměru

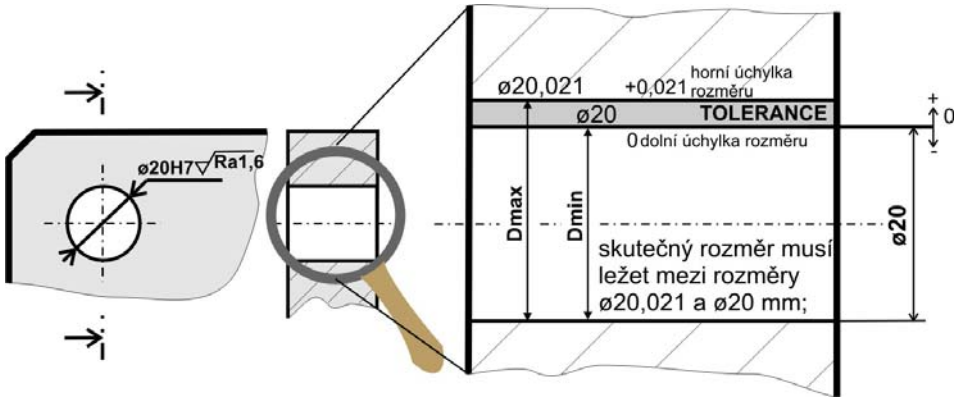
Ani při současné úrovni obrábění nejsme schopni vyrobit žádný rozměr s absolutní přesností. Skutečný rozměr musí ležet v rozsahu mezních hodnot závislých na funkčních vlastnostech produktu (viz. Obr. 2.2). Mezní rozměry jsou zpravidla udávány velikostí úchylek od jmenovitého rozměru. Jejich vzájemný rozdíl se nazývá tolerance. Tolerance je základní hodnota charakterizující přesnost vyráběné součásti. Minimalizace velikosti tolerance rozměrů představuje jeden z impulzů vývoje dokončovacích řezných nástrojů.

2.1.1 Soustava tolerancí a uložení ISO

Prostřednictvím soustavy tolerancí můžeme standardizovat vyráběné řezné nástroje (např. výstružníky) a jimi určené měřidla (kalibry).



Obr.2.2 Základní pojmy tolerování[6]



Obr. 2.3 Příklad vyhodnocení úchylek rozměru vystruženého otvoru ø20H7

Vystružované otvory s potřebnou geometrickou přesností danou tolerancí se využívají k vzájemnému spojení s hřídelovitou součástí za účelem dosažení požadovaných provozních vlastností. Vztah vyplývající z rozdílu rozměrů dvou prvků (díry a hřídele) při společném jmenovitém rozměru se nazývá uložení. Skutečné rozměry sdružených ploch, které spolu tvoří uložení, musí ležet mezi dvěma mezními rozměry zaručujícími požadovaný funkční vztah spojovaných ploch.[6]

Soustava tolerancí a uložení ISO nabízí řadu velikostí a poloh tolerančních polí pro hřídele a díry. S ohledem na přehlednost a hospodárnost se doporučují dva způsoby sdružování děr a hřídelů. Jedná se o uložení v **soustavě jednotné díry** a **soustavě jednotného hřídele** (viz. Tab. 2.1). Z hlediska funkčních vlastností jsou obě soustavy rovnocenné. Pro volbu soustavy jsou rozhodující podmínky konstrukční, montážní, výrobní a ekonomické. Ve strojírenské praxi se ve většině případů preferuje uložení v soustavě jednotné díry znamenající menší náklady na použité nástroje a měřidla (výroba standardních výstružníků). Různých uložení se dosahuje při stálých mezních rozměrech otvoru změnou mezního rozměru hřídele.[47]

Tab. 2.1 Sdružování děr a hřídelů[47]

označení soustavy uložení	úchylky	poloha tolerančního uložení	výhody použití
Soustava jednotné díry	EI = 0 ES = T	toleranční pole díra/hřídel **H**/a-zc	**- menší počet „drahých" nástrojů (např. výstružníků); - menší náklady na nástroje a měřidla;**
Soustava jednotného hřídele	es = 0 ei = -T	toleranční pole díra/hřídel A-ZC/**h**	- s výhodou se používá tam, kde je možné použít neobrobené přesně tažené hřídele a tyče;

2.2 Přesnost geometrického tvaru a polohy

Přesnost geometrického tvaru a polohy zahrnuje druhy geometrických tolerancí. Jejich názvy, značky a rozdělení do skupin jsou uvedeny v tab. 2.2.

Tab. 2.2 Geometrické tolerance[47]

Tolerance		**Značky**	**Tolerance**		**Značky**
Tolerance vztahující se k jednomu prvku			**Tolerance vztahující se ke dvěma nebo více prvkům**		
Tvaru	Přímosti		**Směru**	Rovnoběžnosti	//
	Rovinnosti			Kolmosti	⊥
	Kruhovitosti			Sklonu	∠
	Válcovitosti		**Polohy**	Umístění	⌖
Tolerance vztahující se k jednomu prvku, nebo dvěma (a více) **prvkům**				Soustřednosti s souososti	◎
Tvaru	Tvaru čáry			Souměrnosti	⌯
	Tvaru plochy		**Házení**	Kruhové (obvodového a čelního)	↗
** Parametr kvality vystruženého otvoru*				Celkové (obvodového a čelního)	⌰

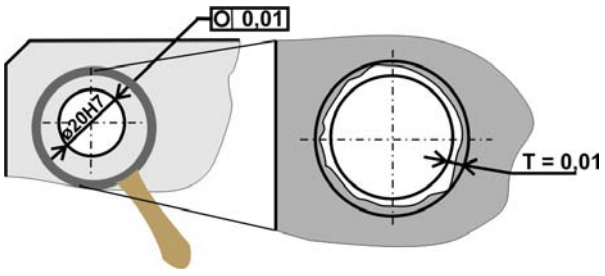
Pro hodnocení geometrického tvaru vystruženého otvoru je nejdůležitějším geometrickým kritériem hodnocení tolerancí kruhovitosti a válcovitosti, které souvisí s vystružovacím nástrojem a jeho pracovními podmínkami.

Geometrické tolerance polohy je možné ovlivnit prioritně postupem práce a polohovací přesností obráběcího stroje.

Tab. 2.3 Tolerance kruhovitosti[47]

Skutečný profil v kterémkoliv průřezu otvoru musí ležet mezi soustřednými kružnicemi vzdálenými od sebe o hodnotu tolerance.

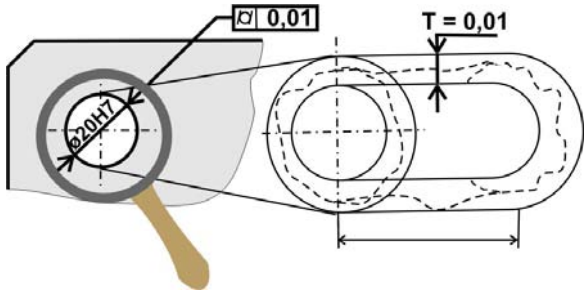
V případě vystružovaného otvoru ø20H7 je tolerance kruhovitosti 0,01mm;



Tab. 2.4 Tolerance válcovitosti[47]

Skutečná válcová plocha otvoru musí ležet mezi dvěma souosými válci vzdálenými od sebe v radiálním směru o hodnotu tolerance.

V případě vystruženého otvoru ø20H7 je tolerance válcovitosti 0,01mm;



2.3 Hodnocení struktury povrchu

Obrábění je řezný proces, při kterém dochází k plastické deformaci ovlivňující jakost povrchové vrstvy. Libovolná technologická metoda zanechává na povrchu součásti mikronerovnosti. Vlastnosti realizované povrchové vrstvy významně ovlivňují životnost a spolehlivost součásti s ohledem na její provozní podmínky. Znalost podmínek styku dvou ploch při vzájemném relativním pohybu umožňuje předurčování a řízení jejich tvarové přesnosti, drsnosti povrchu, velikosti zpevnění, velikosti a směru zbytkových napětí, apod.[43]

Výška, tvar, charakter rozložení a směr nerovností závisí na mnoha vlivech procesu obrábění: na metodě a podmínkách obrábění, procesní kapalině, chemickém složení materiálu obrobku a nástroje, struktuře a vlastnostech obráběného materiálu, geometrické konfiguraci břitu řezného nástroje, typu a stavu použitého obráběcího stroje, apod.[10]

Základní příčiny ovlivňující mikrogeometrii povrchu:

- geometrie a vyvozený pohyb řezného nástroje (příčiny geometrické),
- obráběný materiál (plastická deformace),
- kmitání soustavy stroj – nástroj – obrobek;

Teoretická drsnost, která je z geometrického hlediska vyjádřena velikostí, tvarem a vzájemným rozložením nerovností (resp. směrem stop na povrchu po obrábění), je ovlivňována především tvarem a stavem ostří řezného nástroje a aplikovanými řeznými podmínkami.[7,41]

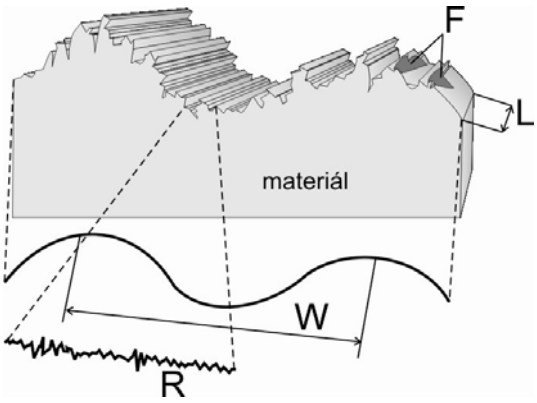
Skutečná drsnost povrchu je vždy v důsledku průběhu plastické deformace větší. Při vytváření nového povrchu se povrchová vrstva obrobku deformuje (vliv mechanického a tepelného účinku), získává jiné fyzikální vlastnosti, současně se značně mění (zhoršují se rozměry a tvar nerovností povrchu). Plastičtější a houževnatější materiály obrobku jsou náchylnější k plastické deformaci, při obrábění způsobují horší drsnost povrchu. Naopak při obrábění křehkých materiálů je možné na povrchu nalézt stopy po vytržení tvrdých částic materiálu.[43]

Deformační proces tvorby nového povrchu u ocelí je závislý především na krystalové stavbě obráběné oceli a na podmínkách, za kterých deformační proces probíhá. Struktura povrchu více závisí na řezných podmínkách, jak na

geometrii řezné části nástroje. Nejpodstatnější pro rozvoj plastické deformace je řezná rychlost. Dále je zapotřebí brát zřetel na optimální velikost úhlu nastavení hlavního ostří, velikost poloměru zaoblení ostří, míru opotřebení nástroje, optimální hloubku řezu a v neposlední řadě také minimalizovat vlivy způsobující vynucené kmitání systému S – N – O.[7,41]

2.3.1 Parametry struktury povrchu

Pro hodnocení struktury povrchu se využívá veliký počet normalizovaných parametrů stanovených pro dvourozměrné měření profilu povrchu (2D). Norma ČSN EN ISO 4287/1997 zahrnuje 3 skupiny po 14 parametrech vypočtených ze základního profilu (P), profilu drsnosti (R) a profilu vlnitosti (W).[41]

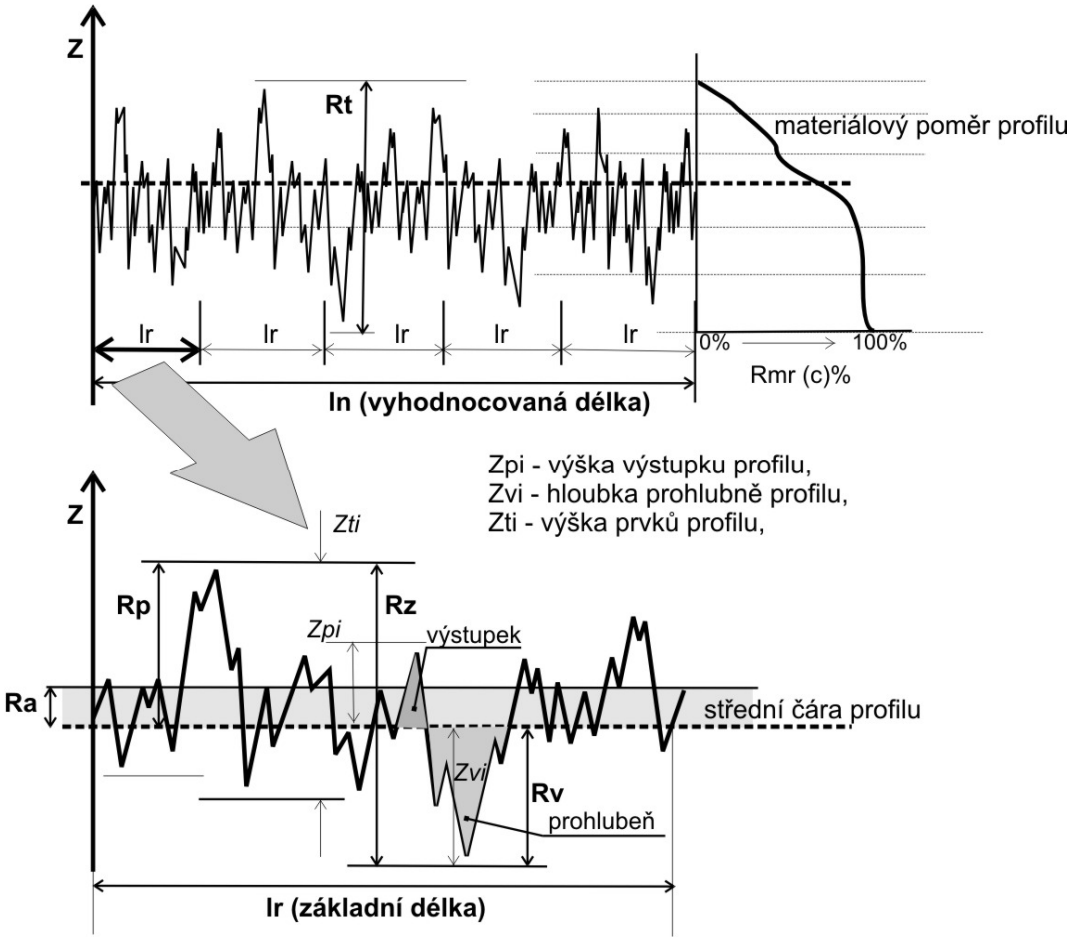


R – drsnost povrchu
(složka s nejmenší roztečí nerovností);
W - vlnitost povrchu
(drsnost je makrogeometricky překrytá vlnitostí);
P – základní profil
(složka s největší roztečí nerovností);
F – porušená místa na povrchu
(vměstky v materiálu obrobku, trhliny, neúmyslná poškození povrchu);
L – textura povrchu
(uspořádání stop (rýh) po obrábění);

Obr. 2.4 Struktura povrchu[1]

V běžné strojírenské praxi se však využívá často minimální počet parametrů struktury povrchu, zejména ve vztahu k jeho funkci. Navíc řada parametrů nedává úplnou informaci o stavu povrchové vrstvy.

■ **Definice vybraných parametrů profilu povrchu**



Obr. 2.5 Parametry charakterizující výšku profilu[1,9]

Ra – **Průměrná aritmetická úchylka posuzovaného profilu** je nejpoužívanějším parametrem hodnocení povrchu v běžné strojírenské praxi. Význam Ra je podmíněn správnou volbou vyhodnocované délky $\mathbf{l_n}$. Parametr Ra však nedává žádnou informaci o tvaru nerovností povrchu, popisuje pouze průměr povrchových nerovností. Hodnotu Ra je tak nutné často doplnit dalšími údaji, jako je základní délka měření, způsob zpracování, uspořádání a směr nerovností, apod. Pro statistické zpracování je výhodnější využít parametr **Rq** – **Střední kvadratická úchylka posuzovaného profilu**.

Dle ČSN EN 4288:1996 je Ra definována v rozsahu 0,006 až 80 μm („hodnoty, které dokážeme změřit").

Rz – Největší výška profilu je součet výšky Zp nejvyššího výstupku profilu a hloubky Zv nejnižší prohlubně profilu v rozsahu základní délky - $\mathbf{l_r}$.[9]

V normě ISO 4287-1:1984 Rz určovalo výšku nerovností z deseti bodů základní délky, v roce 1997 nahrazeno parametrem viz. výše popsaným;

Rt – **Celková výška profilu** definuje vzdálenost mezi nejvyšším a nejnižším bodem profilu v rozsahu vyhodnocované délky - $\mathbf{l_n}$ (pozn.: je-li l_n rovno l_r, potom Rt = Rz).[34]

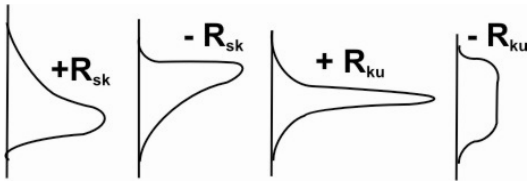
Rp – **Výška největšího výstupku profilu** je vzdálenost mezi nejvyšším bodem profilu a střední čarou profilu v rozsahu základní měřené délky - $\mathbf{l_r}$.[34]

Rv – **Největší hloubka prohlubně posuzovaného profilu** definuje vzdálenost mezi nejnižším bodem profilu a střední čarou profilu v rozsahu základní délky - $\mathbf{l_r}$.[34]

Průzkum organizace CIRP v 284 strojírenských podniků v 18 zemích světa[34]
- celkem využíváno 63 parametrů ISO,
- standardní parametry ISO využívá 95 % podniků, z toho 23 % využívá i nenormalizované parametry ISO;
- nejvíce využívanými parametry struktury povrchu jsou (dané pořadím četnosti): Ra, Rz (z 10 bodů, dle DIN), Rt;
- celých 13 % podniků využívá pro hodnocení struktury povrchu ***„pouze"*** *parametr Ra;*

S ohledem na vzájemný pohyb dvou stýkajících se povrchů je vhodné znát také **materiálový poměr profilu** $\mathbf{Rmr_{(c)}}$ [9] (tzv. nosný podíl) a **křivku materiálového poměru profilu** (tzv. nosnou křivku). Tyto charakteristiky slouží pro posuzování zatěžovaných funkčních povrchů, řeší problémy s třením, mazáním a opotřebením. Pro praktické použití „nosná křivka" nahrazována přímkami: horní přímka ($\mathbf{R_{pk}}$) – odpovídá výstupkům povrchu, střední přímka ($\mathbf{R_k}$) – jádru profilu, spodní přímka ($\mathbf{R_{vk}}$) – popisuje velikost a četnost prohlubní povrchu (vliv na mazání kontaktních ploch). **Cílem dokončování funkčních povrchů je co možná nejnižší hodnota** $\mathbf{R_{pk}}$.[35]

Přínosem pro posuzování kvality povrchu je také známost příslušné křivky **hustoty pravděpodobnosti souřadnic povrchu**. Její tvar je popisován parametry $\mathbf{R_{sk}}$ – šikmost posuzovaného profilu a $\mathbf{R_{ku}}$ – špičatost posuzovaného profilu. Parametr $\mathbf{R_{sk}}$ umožňuje rozlišovat 2 povrchy se stejnou hodnotou Ra, ale rozdílným tvarem profilu (je-li $\mathbf{R_{sk}} > \pm 2$ pak Ra nepopisuje reálné vlastnosti povrchu). Záporná hodnota $\mathbf{R_{sk}}$ definuje povrch s málo výstupky vhodný jako nosná plocha. Kladná hodnota $\mathbf{R_{sk}}$ znamená více výstupků tzn. vhodné pro nanášení povlaků, nátěrů, apod.[34]



Obr. 2.6 Tvary funkcí pravděpodobnosti[34]

Řada parametrů drsnosti se však často svým významem překrývá, očekává se tak tlak na možné snížení jejich počtu.[35]

■ Prostorové hodnocení struktury povrchu

Nové možnosti pro komplexní charakteristiku struktury povrchu přináší její 3D hodnocení. Jedná se o metrologické metody budoucnosti akceptující zvyšování požadavků na přesnost a jakost povrchu.

Prostorová charakteristika povrchu (axonometrický pohled, topografická mapa, záznam intenzity souřadnic) zajišťuje přesnější informace o počtu, velikosti a tvaru výstupků profilu. Zvyšuje objektivitu posuzování struktury povrchu,

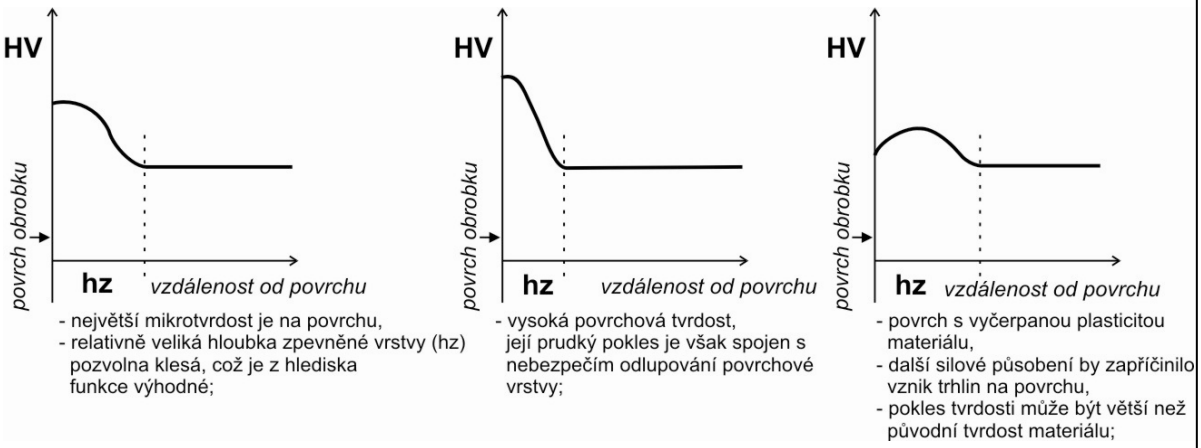
může také přispět k pozitivnímu řešení řady problémů v tribologii a výrobní technologii součástí. Umožní kvantitativní studium geometrických a rozměrových změn profilu povrchu v průběhu výroby součásti po dokončení výroby i v průběhu její funkce.[33]

Informaci, že daný parametr je vztažený k ploše povrchu a ne k profilu nám předznamenává písmeno S (surface).[36]

2.4 Mechanické vlastnosti povrchové vrstvy obrobené plochy

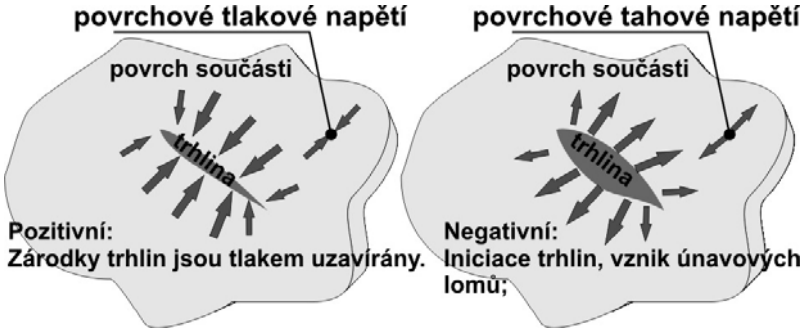
Při vytváření nového povrchu dochází k plastické deformaci materiálu za působení vysokého tlaku a teploty. V důsledku mechanického a teplotního zatížení dochází ke změně mechanických vlastností povrchové vrstvy. Intenzita změny struktury je závislá na velikosti zatížení. Jedná se především o různé strukturní změny, vady, zpevnění a zbytková napětí.[25]

Působení primárních plastických deformací zasahujících pod úroveň vytvářeného povrchu, vliv interakce negativního úhlu čela způsobeného velikým zaoblením ostří řezného nástroje (r_ε), jmenovitá tloušťka řezu nedosahující stanovené minimální tloušťky řezu h_{Dmin} (viz. Obr. 3.2), to vše vede ke **zpevňování povrchové vrstvy** obráběného materiálu. Kvantifikace velikosti zpevnění se zjišťuje stanovením mikrotvrdosti povrchu materiálu ve stupních HV (viz Obr. 2.7).[25]



Obr. 2.7 Charakteristický průběh zpevnění v povrchové vrstvě[25]

Zbytková povrchová napětí jsou způsobena nerovnoměrnou plastickou deformací. Teplotní roztažnost při nerovnoměrném ohřevu (ochlazování), strukturní změny vzniklé působením vysokých teplot při obrábění, chemické procesy v důsledku difuze a působení řezného prostředí to vše působí jako mechanismus vzniku povrchových napětí. S ohledem na životnost obráběných součástí jsou výhodnější tlakově orientovaná napětí. Naproti tomu tahová napětí na povrchu součástí působí jako iniciátor vzniku povrchových trhlin a únavových lomů.[25]



Obr. 2.8 Tlakové a tahové napětí ve vztahu ke vznikající trhlině

Vznik **tlakových napětí** je podmíněn plastickou deformací bez převažujícího teplotního účinku. Naproti tomu současné intenzivní tepelné a mechanické zatěžování vede ke vzniku **tahového napětí v povrchové vrstvě materiálu**. Oba mechanismy (mechanický i tepelný) se mohou dále kombinovat se strukturální změnou v tuhém stavu a probíhajícími chemickými procesy v obráběném materiálu. Predikce zbytkových napětí v povrchové vrstvě je často velmi obtížná, jelikož se jedná o velmi složitý děj, na kterém se podílí mnoho faktorů řezného procesu.[25]

2.5 Problematika měření

V průběhu 20. století došlo k prudkému rozmachu měřící techniky projevující se ve zvýšení účinnosti a přesnosti měřících přístrojů. Za posledních 50 let se počet zpracovaných informací jednotlivými měřícími přístroji zvýšil přibližně desettisíckrát a téměř stonásobně se zvýšila produktivita měřících operací, jejich přesnost a rychlost. V řádu desítek se zvýšily měřící rozsahy přístrojů, podstatné zvýšení pak zaznamenala také jejich spolehlivost.[8] Měřící přístroje dříve umístěné v laboratořích strojírenských podniků se dnes nasazují přímo do výrobních hal, v jistých případech přímo k obráběcím strojům. Původní konvenční měřidla jsou stále častěji nahrazovány digitální měřící technikou, či měřícími přístroji umožňující rychlou komplexní kontrolu měřené součásti.

Podobně jako progresivní vývoj obráběcích strojů a řezných nástrojů, také vývoj měřící techniky bude i nadále zaznamenávat růst. Kromě rozvoje technicko-ekonomických požadavků lze předpokládat také postupující minimalizaci vlivu lidského činitele na výsledek měření.[25]

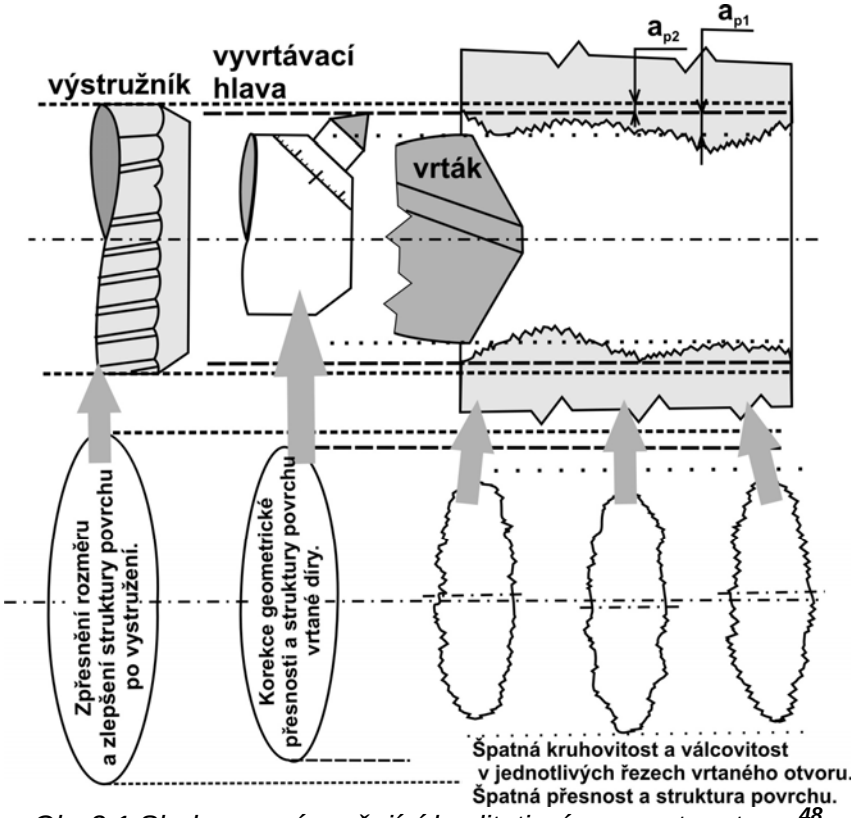
Přehled měřících přístrojů na otvory firmy MITUTOYO viz. ***PŘÍLOHA 1***

3 VYSTRUŽOVACÍ NÁSTROJE

Vystružování je až na malé výjimky konečná operace. Při zvláště vysokých požadavcích na kvalitu vyráběného otvoru lze díry dále upravovat broušením, honováním, válečkováním, apod. Na vystružovací nástroje jsou tak kladeny vysoké požadavky korespondující s výší požadované kvality obrobeného otvoru.

3.1 Charakteristika vystružování

Výstružník je nejčastěji vícebřitý nástroj (existují i jednobřité výstružníky viz. kap. 5.1) otáčející se kolem své osy (hlavní pohyb) a v jejím směru se posouvající do materiálu obrobku (posuvový pohyb). Odebíráním jemným třísek dodává předobrobeným (vrtaným, vyvrtávaným, vyhrubovaným) válcovým, nebo kuželovým otvorům požadovanou geometrickou přesnost a strukturu povrchu.



Obr.3.1 Sled operací zvyšující kvalitativní parametry otvoru[48]

■ Stanovení přídavku na průměr vystružovaného otvoru

Správně stanovený přídavek na vystružování patří k základním faktorům ovlivňujícím požadovanou kvalitu vystružovaného otvoru. Příliš malý přídavek na vystružování (p) zhoršuje výstupní parametry procesu. Navíc by docházelo vlivem velké plastické deformace k intenzivnímu opotřebení jednotlivých břitů výstružníku.Velikost přídavků závisí na mnoha parametrech jako je požadovaná výstupní kvalita otvoru, materiál obrobku, konstrukce a řezný materiál nástroje.[44]

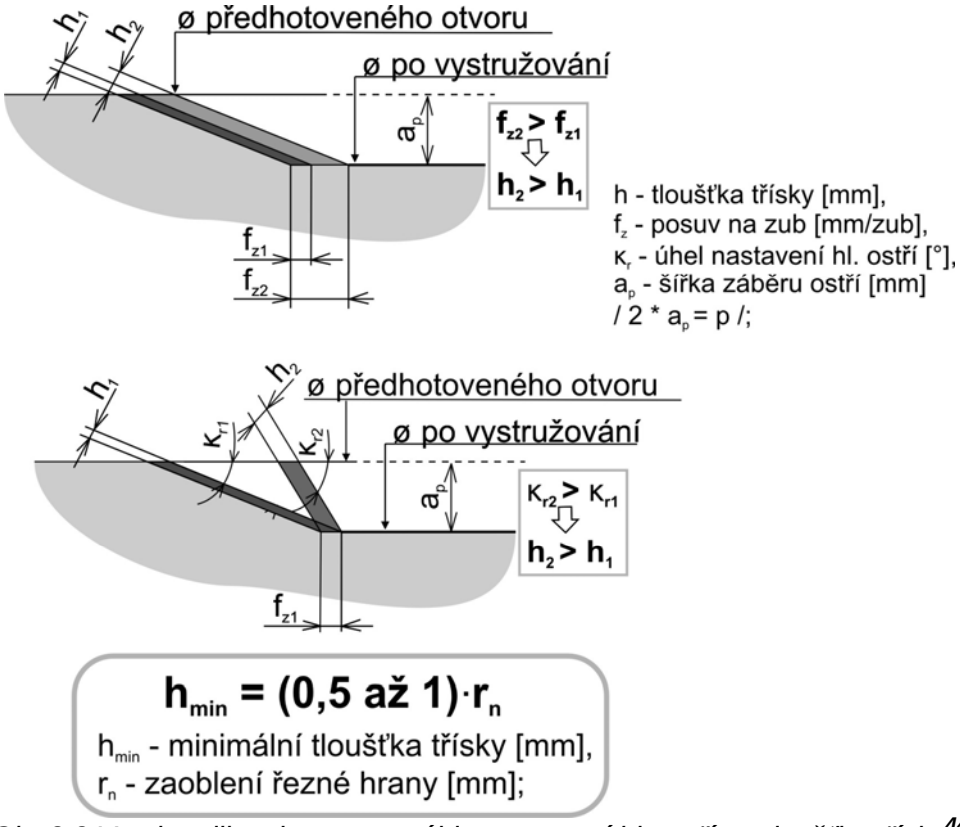
V praxi se obvykle stanovuje přídavek na průměr vystružované díry dle vztahu:

$$\mathbf{p\ (2a_p) = 0{,}1 + 0{,}005 \cdot D}\ [\text{mm}] \qquad (3.1)$$

- D je jmenovitý průměr vystružované díry [mm];

Kromě optimální velikosti přídavku na vystružování je zapotřebí, pro dosažení požadovaných výstupních hodnot otvoru, stanovit minimální tloušťku třísky h_{min}. Velikost tloušťky třísky je možné ovlivňovat velikostí pracovního posuvu a hodnotou úhlu nastavení hlavního ostří κ_r (viz. Obr. 3.2).[44]

Při nedosažení minimální tloušťky třísky neproniká ostří vystružovacího nástroje do materiálu a materiál se pouze elasticky a plasticky deformuje. Následkem vysokého tlaku a tření na ostří nástroje dochází ke zvýšenému otěru, což se projeví snížením trvanlivosti nástroje.[44]

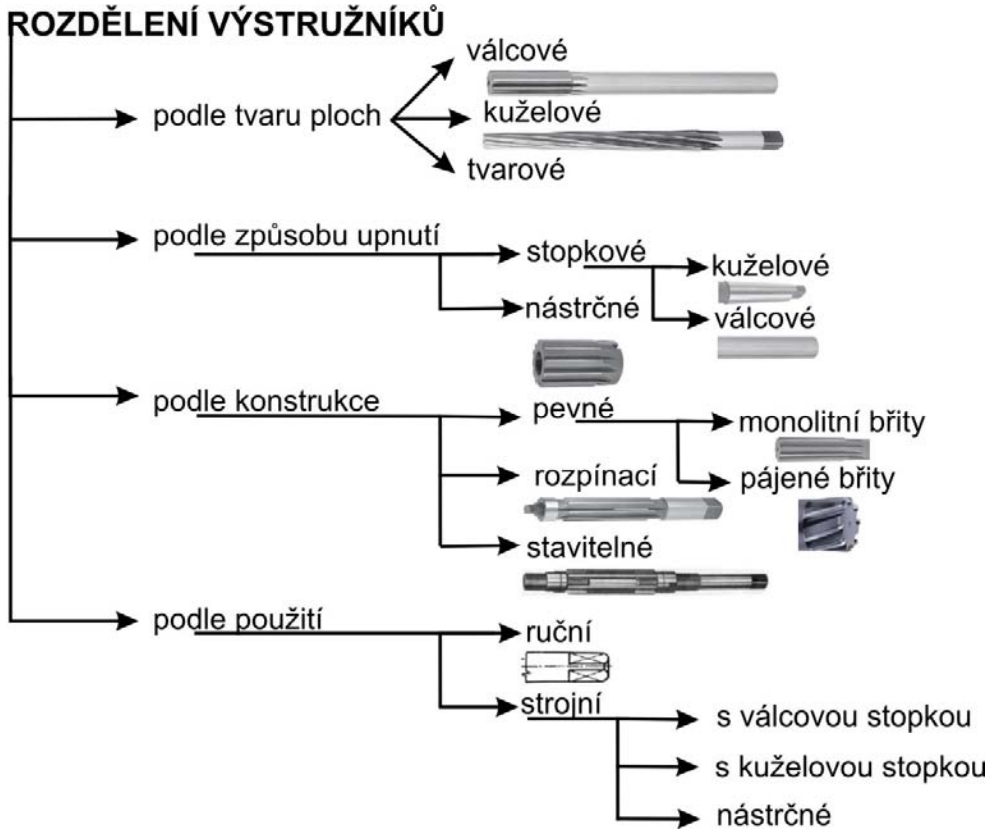


Obr.3.2 Vztah velikosti posuvu a úhlu nastavení hl. ostří na tloušťku třísky[44]

Se zvyšujícím se zaoblením řezné hrany nástroje (r_n) se zvyšuje minimální tloušťka třísky (h_{min}) a tím i mezní hodnota posuvu (f_z), případně minimální velikost úhlu nastavení hlavního ostří (κ_r).

3.2 Druhy vystružovacích nástrojů

Základní dělení vystružovacích nástrojů zohledňuje výstupní tvar obrobených ploch, způsob upnutí, základní konstrukční typy a způsob použití.[44]



Obr.3.3 Základní rozdělení vystružovacích nástrojů[61]

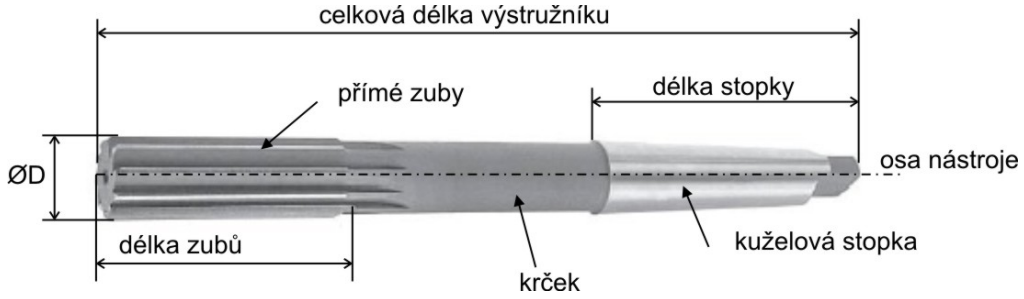
Ruční výstružníky mají většinou sudý počet zubů (4 až 18 v závislosti na průměru) a dlouhé vedení nástroje do řezu. V provedení na vystružování průchozích děr mají obvykle zuby do šroubovice (efektivnější odvod třísek z místa řezu). U variabilních tolerančních polí se mohou používat stavitelné ruční výstružníky.[44]

Strojní výstružníky mají oproti ručním výstružníkům kratší ostří. Směr břitů může být rovný, nebo mít lehkou levou šroubovici, případně silnou loupací šroubovici. Do otvoru se podobně jako ruční zavádějí samy pomocí svých vodících fazet (do kulata nabroušené vedlejší břity).[44]

U kuželových výstružníků se hlavní břity rozprostírají po celém povrchu pláště kuželu. Vedlejší břity v původním slova-smyslu zde nejsou. Tvar zubů může být rovný i šikmý.[44]

3.3 Konstrukce a geometrie nástroje

■ Konstrukce nástroje



Obr.3.4 Strojní výstružník s přímými zuby a kuželovou stopkou

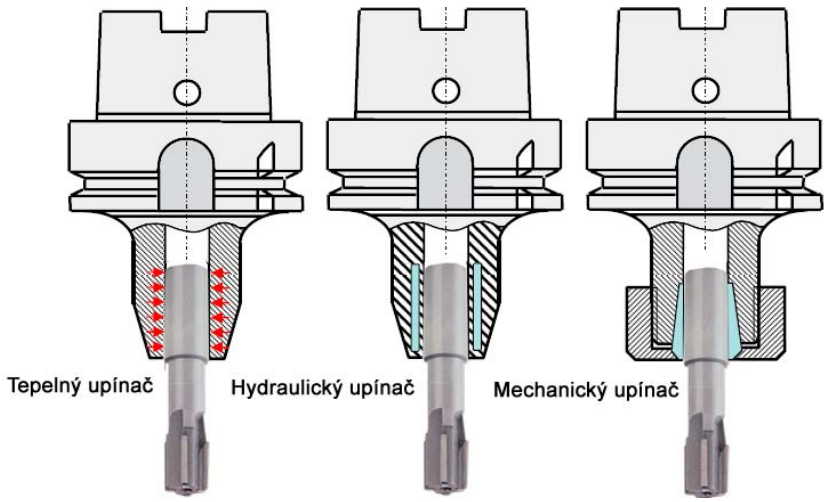
Zuby výstružníku jsou buď přímé, nebo ve šroubovici s úhlem stoupání ω = 5 – 20°. Výstružníky mají nejčastěji počet zubů v rozsahu 4 – 18 (počet roste s zvyšujícím se průměrem). Současný trh s vystružovacími nástroji nabízí také výstružníky s méně jak čtyřmi břity (viz. podkap. 5.1). Nejvyšší rozměrové a tvarové přesnosti otvorů je dosahováno aplikací jednobřitých výstružníků. Jejich omezení však spočívá v často nižší produktivitě nástroje.[61]

U výstružníků s přímými zuby se s výhodou využívá nerovnoměrná rozteč zubů zabezpečující dobrou kruhovitost a drsnost povrchu.[49]

■ Způsob upínání vystružovacích nástrojů

Ruční výstružníky se vyrábějí převážně s válcovou stopkou zakončenou čtyřhranem. Strojní se stopkou válcovou, kuželovou, nebo jako nástrčné.[49] Vysoce výkonné vystružovací nástroje s břity z SK, cermetu, PKD, PKNB se vyrábějí nejčastěji s válcovou stopkou s následným upnutím pomocí přesných a spolehlivých upínacích systémů (hydraulické, tepelné, mechanické upínací systémy viz. Obr.3.5). Upínače jsou nejčastěji v provedení HSK, DIN, strmý kužel ISO.

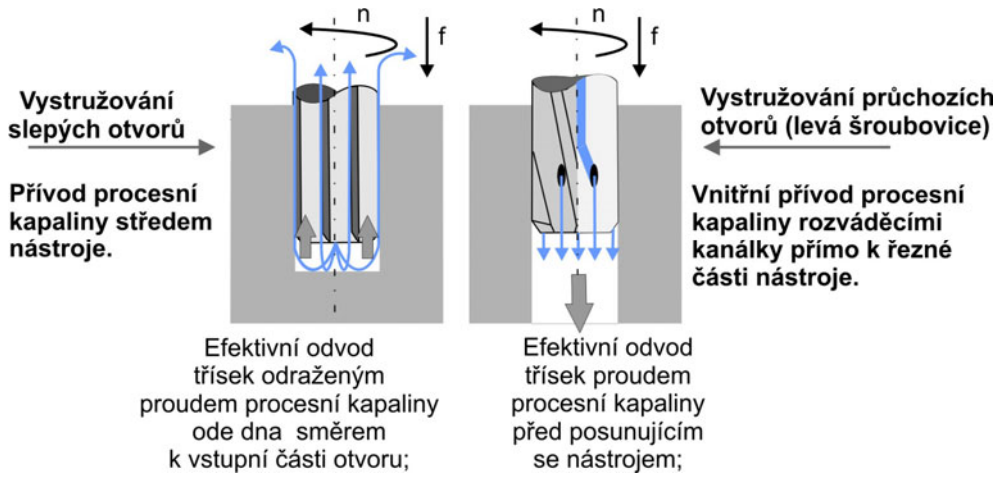
Upínací systémy firmy SCHUNK – ***<u>PŘÍLOHA 2</u>***



Obr. 3.5 Způsoby upnutí výkonných vystružovacích nástrojů[48]

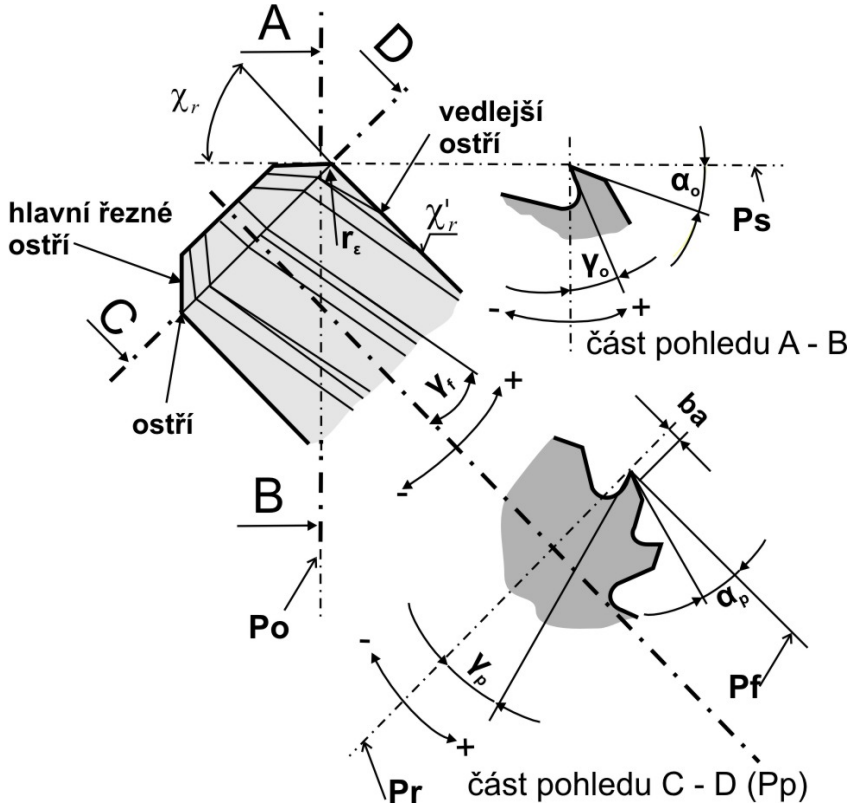
■ Konstrukce přívodu procesní kapaliny

Dosažení požadovaných kvalitativních parametrů vystružovaného otvoru vyžaduje efektivní odvod třísek z místa řezu. Většina vystružovacích nástrojů je za tímto účelem konstruována s vnitřním přívodem procesní kapaliny. V případě použití modulárních vystružovacích hlavic je zapotřebí vhodné konstrukční provedení příslušného držáku nástroje zajišťující efektivní odvod třísek z místa řezu. Podobným způsobem se s přívodem procesní kapaliny musejí výrobci vypořádat při konstruování speciálních nástrojů určených pro konkrétní aplikace (viz. podkap. 5.1.1).

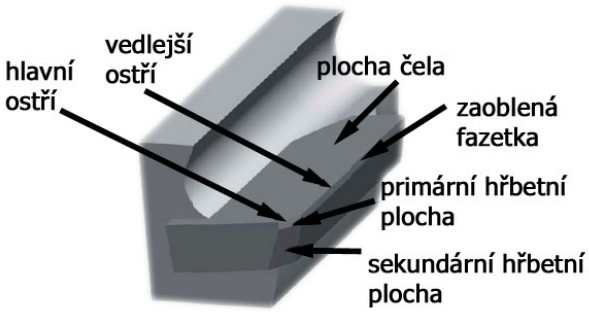


Obr.3.6 Základní provedení přívodu procesní kapaliny pro průchozí a slepé otvory[56]

■ Geometrie břitu strojního výstružníku



Obr.3.7 Geometrie vystružovacího nástroje[48]



Obr.3.8 Funkční plocha břitu výstružníku[48]

Úhel čela ($\gamma_{o,f,p}$) má na řezný proces největší vliv, zmenšuje-li se, nebo dosahuje záporných hodnot, zvětšuje se intenzita plastický deformací tzn. velikost tření mezi čelem nástroje a odcházející třískou. Zvětšuje-li se (kladné hodnoty), zvětšuje se mechanické namáhání břitu (limitně možná destrukce).[49]

Úhel hřbetu ($\alpha_{o,p}$) ovlivňuje polohu hřbetu břitu, vzhledem k ploše řezu a tím i velikost tření mezi hřbetem a plochou řezu. Čím je úhel menší, tím větší je styková plocha a existující tření.[49]

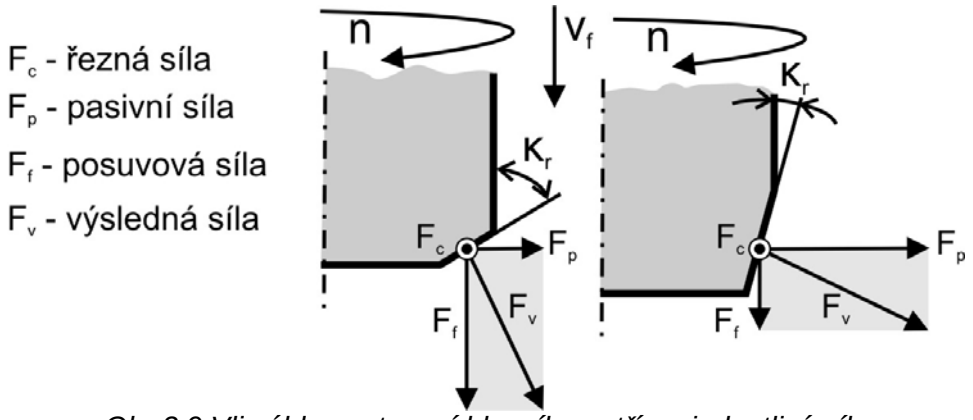
Úhel nastavení hlavního ostří (κ_r) ovlivňuje polohu ostří vzhledem k obrobku a obrobené ploše (v základní rovině). Určuje velikost jmenovitého průřezu třísky (A_D). Se zvyšující se hodnotou κ_r se zvětšuje jmenovitý průřez třísky a tím i velikost měrné řezného síly (k_c) a velikost měrného zatížení břitu. Zmenšování úhlu κ_r zvyšuje pasivní složku řezné síly (F_p) viz. Obr. 3.9.

Úhel nastavení vedlejšího ostří (κ_r) ovlivňuje drsnost obrobené plochy. Čím je velikost úhlu menší, tím lepší je výsledná drsnost povrchu. U jednobřitých výstružníků se definuje jeho velikost s ohledem na optimální kuželovitost nástroje.[52]

Poloměr špičky nástroje (r_ε) ovlivňuje drsnost vystružené plochy, velikost pasivní složky řezné síly a velikost opotřebení břitu. Zvětšováním (r_ε) se zmenšuje drsnost a opotřebení břitu, naopak roste pasivní složka řezné síly (F_p).[49]

U vystružování je **zejména důležitá kvalita řezné hrany**. Struktura a **podélná drsnost ostří** mají významný vliv na trvanlivost a výslednou jakost obrobeného povrchu. Podélná drsnost ostří by měla proto být co nejmenší (vliv broušení, následné mechanické úpravy ostří apod.). K dosažení nízkých řezných sil a lepší struktury povrchu se vyžadují „ostré" břity nástrojů. S ohledem na odtlačování povrchu obrobku musí mít **poloměr zaoblení ostří** (r_n) minimálně poloviční hodnotu jak limitní tloušťka třísky (h_{min} – viz.Obr. 3.2). Velikost r_n je ovlivněna použitým řezným materiálem a tloušťkou naneseného otěruvzdorného povlaku.[44,49]

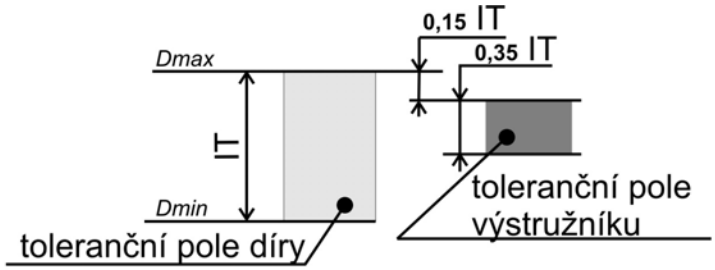
Pro zmenšené namáhání břitu se řezná hrana navíc opatřuje **definovaným zaoblením ostřím, nebo fazetkou** (b_a viz. Obr.3.8). Tato úprava řezné hrany zvyšuje stabilitu nástroje v řezném procesu, přilnavost otěruvzdorné vrstvy a snižuje náchylnost proti tepelnému zatížení nástroje.[44,49]



Obr.3.9 Vliv úhlu nastavení hlavního ostří na jednotlivé síly

Technologická charakteristika vystružování – ***PŘÍLOHA 3***

■ **Toleranční pole výstružníku**



- maximální hodnota průměru výstružníku je o 15% tolerančního pole (0,15 IT) menší než maximální hodnota průměru díry;

- šířka tolerančního pole výstružníku je rovna 35% tolerančního pole díry (0,35 IT);

Například: OTVOR ø20H7	VÝSTRUŽNÍK
Dmax = 20,021 mm	Dmax = 20,018 mm
Dmin = 20,000 mm	Dmin = 20,011 mm

Obr.3.10 Toleranční pole výstružníku[52]

Měření a seřizování kuželovitosti výstružníků – ***PŘÍLOHA 4***

3.4 Hlavní vlivy na výslednou přesnost vystružené díry

Vysoká rozměrová přesnost vystružené díry je ovlivňována[52]

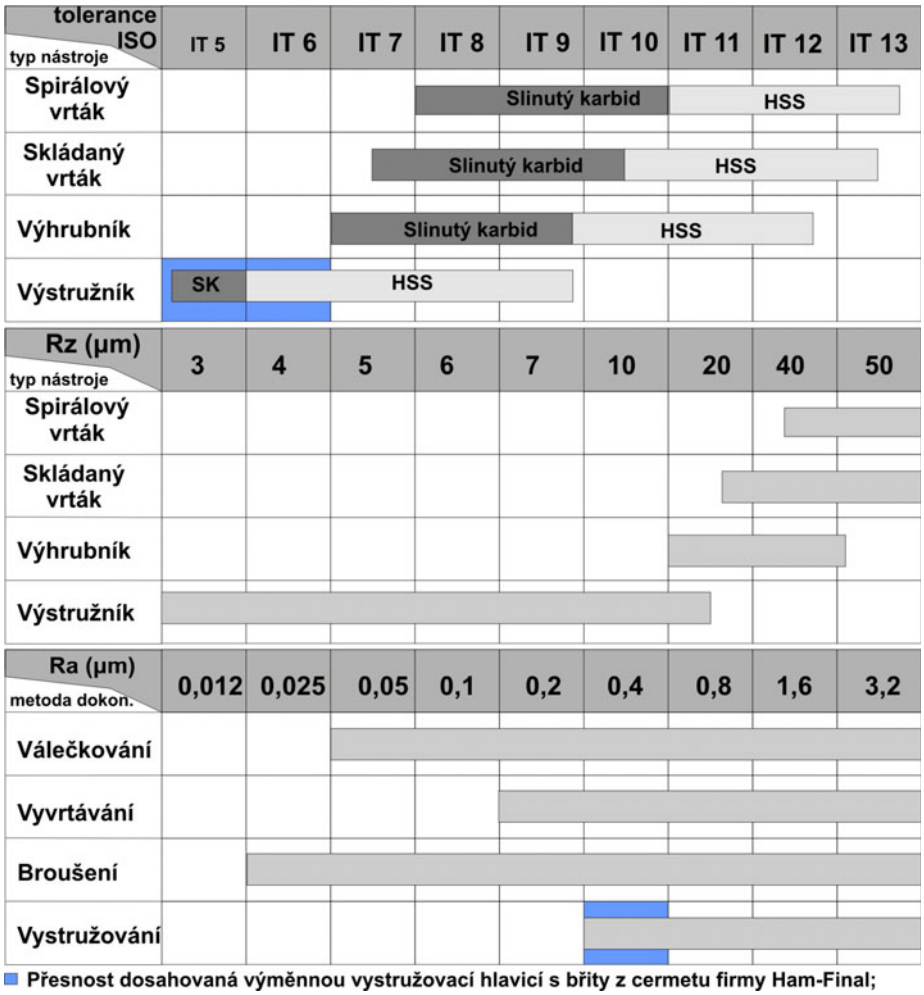
- **Optimální řezná rychlost.** Zvyšováním řezné rychlosti se zvětšuje průměr vystružené díry, zvyšuje opotřebování nástroje, snižuje trvanlivost nástroje.
- **Minimální opotřebení břitů** vystružovacího nástroje. Vliv vlastností řezného materiálu, optimální geometrie, obrobitelnosti obráběného materiálu, řezných podmínek, apod.
- **Intenzivní přívod vhodné procesní kapaliny** na řeznou část nástroje. Především jedná-li se o vystružování ocelí je důležitý výběr správného druhu procesní kapaliny. Řezné oleje zvětšují výsledný rozměr vystruženého otvoru až o 0,01mm (s ohledem na velikost otvoru), naopak emulgační oleje (ředitelné vodou) zmenšují průměr vystružené díry až o 0,03 mm (s ohledem na velikost otvoru) o proti skutečnému průměru výstružníku.

Nízké hodnoty struktury povrchu vystružené díry jsou ovlivňovány[43,52]

- **Aplikací vyšších řezných a nižších posuvových rychlostí** (čím větší posuv nástroje, tím menší vliv řezné rychlosti).
- **Optimální geometrie nástroje – vliv r_ε, κ_r a κ_r' .** Se zvyšujícím se poloměrem zaoblení ostří (r_ε) se snižuje výška nerovností (exponenciálně). Zvyšující se hodnota r_ε však zvětšuje zatížení břitu nástroje. Zmenšující úhly nastavení hlavního a vedlejšího ostří κ_r a κ_r' snižují výšku nerovností. Při nižších hodnotách posuvu však ztrácejí tyto úhly na strukturu povrchu vliv.
- **Vhodná obrobitelnost vystružovaného materiálu.** Materiály s mřížkou kubickou plošně středěnou (austenitické oceli) jsou méně citlivé na změnu deformační rychlosti a teploty, tzn. dosahuje se lepší kvality povrchu.
- **Dobrá kvalita povrchu předobrobeného otvoru.**
- **Použitá procesní kapalina,** její intenzivní přívod, efektivní odvod třísek z místa řezu.
- **Dostatečná tuhost soustavy S – N – O** (minimalizace rezonančních kmitů). Výška nerovností bude úměrná amplitudě, rozteč pak frekvenci kmitání.

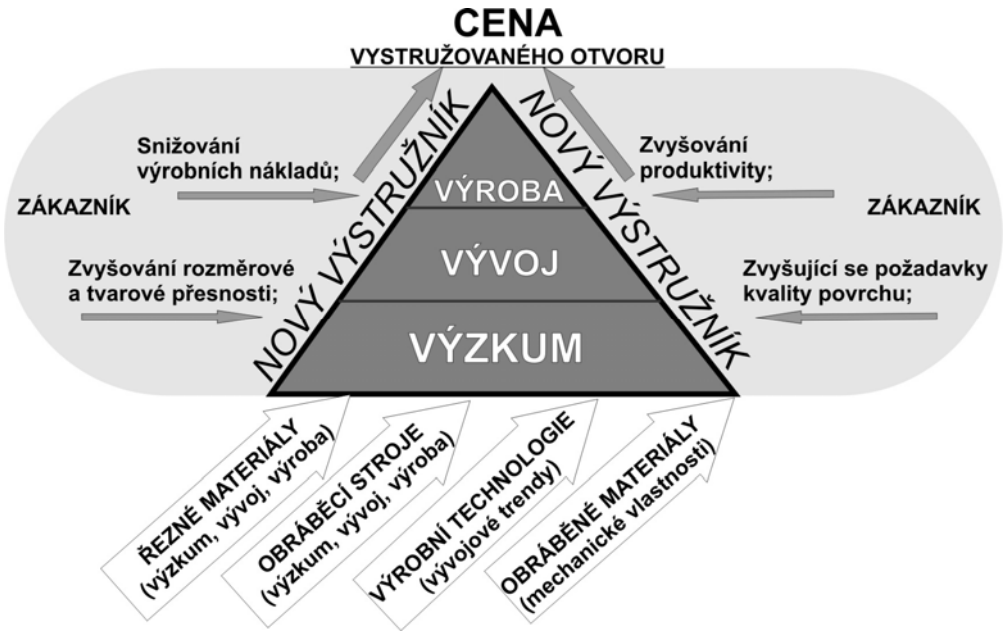
Vysoká geometrická přesnost (kruhovitost, válcovitost) je ovlivňována[49,52]

- **Optimálním rozmístěním a počtem břitů výstružníku**. Nejlepší kruhovitosti dosahují jednobřité vystružovací nástroje (vykazují však nižší produktivitu). U výstružníků s přímými zuby se s výhodou využívá nerovnoměrná rozteč zubů.
- **Vhodně předobrobená díra před vystružováním**. Přímost osy, dostatečná kruhovitost předobrobené díry, souosost a rovnoběžnost osy otvoru s osou vřetena stroje, apod. Nejlepší geometrické přesnosti je dosahováno předobrobením díry jednobřitým vyvrtávacím nástrojem.
- **Optimální řezná rychlost**. Zvyšováním řezné rychlosti se zhoršuje geometrická přesnost vystružovaného otvoru.
- **Vhodná upínací síla při upínání obrobku.** Nevhodné upnutí obrobku může způsobit vznik vnitřního napětí, které po následném uvolnění může vést k zhoršení geometrické přesnosti (vliv deformace obrobku při upínání).
- **Dostatečná tuhost soustavy S – N – O**, minimalizace vzniku rezonančních kmitů.
- **Hodnota radiálního házení** upnutého výstružníky maximálně 0,01mm (vliv upínacích prvků, opotřebení rotačních částí stroje, apod.).
- **Minimální opotřebení břitů** vystružovacího nástroje. Vliv vlastností řezného materiálu, optimální geometrie, obrobitelnosti obráběného materiálu, řezných podmínek, apod.



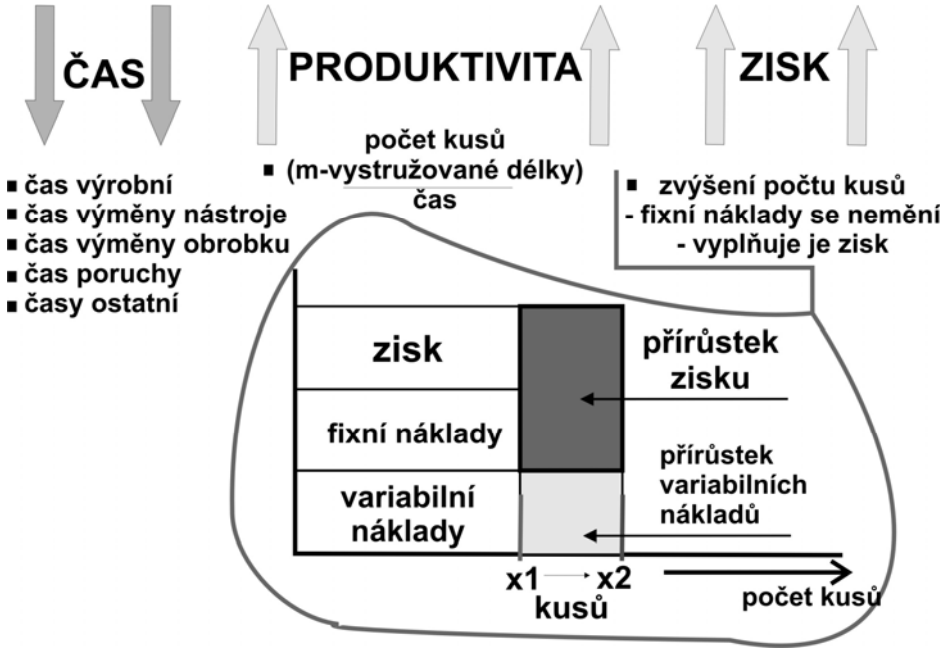
Obr. 3.11 Dosahované přesnosti a drsnosti povrchu[44]

3.5 Ekonomické hledisko vývoje



Obr.3.12 Faktory vývoje vystružovacího nástroje

Filozofie vývoje výrobců řezných nástrojů spočívá ve vývoji řezného nástroje (výstružníku) zvyšujícího produktivitu výroby a tím vytvářející úsporu výrobních nákladů svému majiteli. Jedná se jak o eliminaci času řezu nástroje (zvýšením řezných parametrů), tak eliminaci času výměny, nastavení a seřízení nástroje a v neposlední řadě zvýšení spolehlivosti (eliminace poruch).



Obr.3.13 Vzájemná závislost produktivity nástroje se ziskem strojírenského podniku

Častou „neřestí" zákazníků (managementu firem) je směřování výrobců nástrojů k co možná nejnižším prodejním cenám. Urputné trvání na neadekvátní pořizovací ceně však výrobce řezných nástrojů vede k minimalizaci řady efektivních vlastností nástroje, což v konečném důsledku způsobuje řadu problémů vlastního obráběcího procesu.[15]

Fakta firmy SANDVIK COROMANT[15]

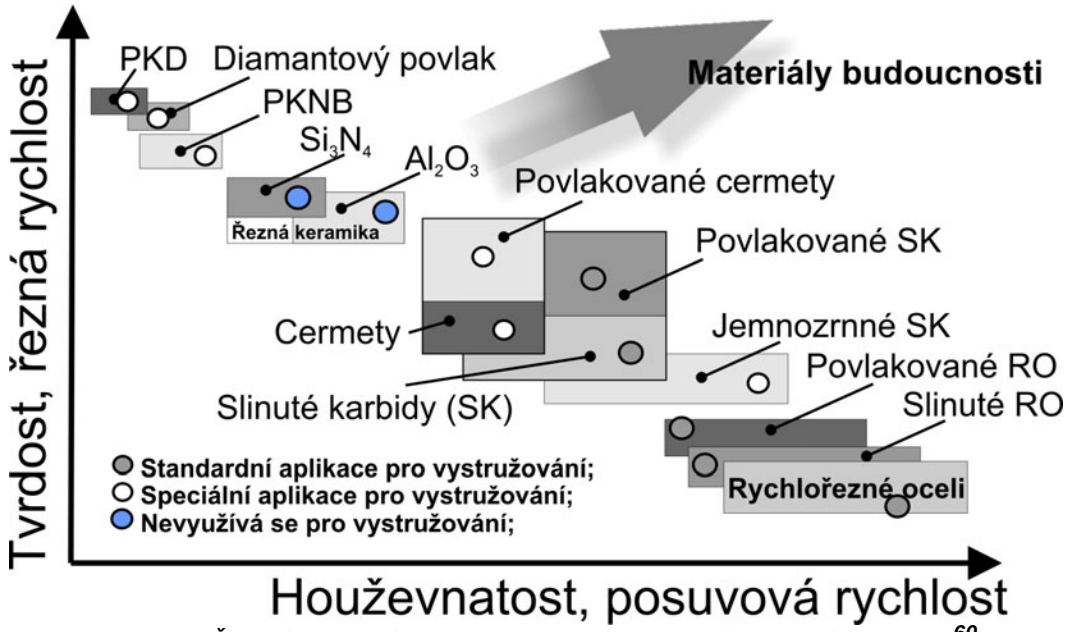
- **Snížení ceny nástrojů o 30 %** způsobí snížení výrobních nákladů zákazníka **„pouze" o ~1%**;
- **Zvýšení životnosti nástroje o 50 %** způsobí snížení výrobních nákladů zákazníka **„pouze" o ~1%**;
- **Zvýšení řezné rychlosti nástroje o 20% způsobí snížení výrobních nákladů zákazníka o ~15%;**

Důležitější než cena vystružovacího nástroje je konečná cena vystruženého otvoru (resp. hodnota výrobních nákladů). Cenově dražší vystružovací nástroj s aplikovaným výkonným řezným materiálem (SK + povlak, cermet, PKNB, PKD), spolehlivým a přesným upnutím a s progresivní konstrukcí vykazuje s ohledem na optimální konstelaci dalších elementů systému S – N – O nižší výrobní náklady otvoru, něž méně výkonný cenově levnější nástroj (především v sériové a hromadné výrobě).[15]

S ohledem na dosažení co největší produktivity řezného nástroje v konkrétních podmínkách jednotlivých strojírenských podniků dochází ke spoluúčasti zákazníků na samotném vývoji nástroje. Spolupráce často probíhá již při oblasti plánování (sběru dat), dále při rozběhu v podobě doporučení varianty, testování prototypu a dle výsledků zkoušek v případném potvrzení směru vývoje, či v neposlední řadě při implementaci úspor nákladů, tedy v samotném zavedení nového nástroje do provozu (viz. Tool Management podkap. 5.2).[15]

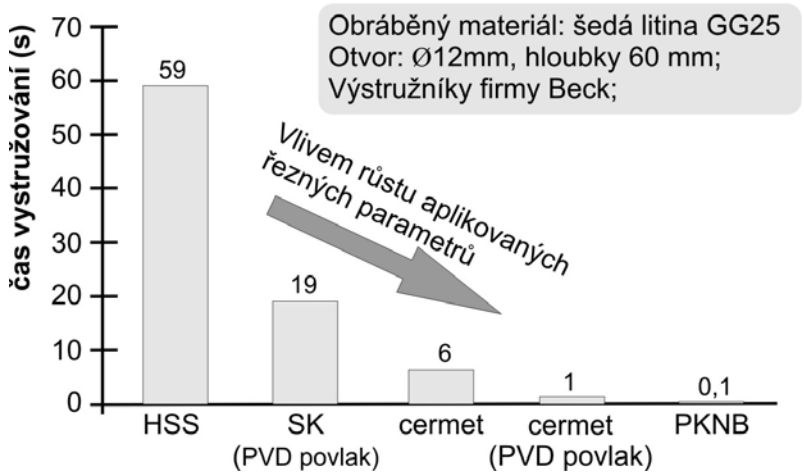
4 ŘEZNÉ MATERIÁLY APLIKOVANÉ NA VYSTRUŽOVACÍCH NÁSTROJÍCH

Při vystružování je základním kritériem kvalita vystruženého otvoru s ohledem na zajištění optimální úrovně techniko-ekonomických kritérií obráběcího procesu (životnost nástroje, produktivita řezného procesu, apod.). Výběr řezného materiálu v aplikaci na vystružovacím nástroji tak musí odpovídat stanoveným požadavkům.



Obr. 4.1 Řezné materiály – specifikace posuvové a řezné rychlosti[60]

Pro vystružování se využívá standardně především aplikace SK ve většině případů opatřených PVD povlaky. Do současné doby hojně využívaná HSS (Rychlořezná ocel) s postupným vývojem technicko-ekonomických požadavků ztrácí na významu a je postupně nahrazována výkonnějšími řeznými materiály (především SK). S ohledem na své specifické vlastnosti vhodné pro vystružování dochází k nárůstu objemu výroby vystružovacích nástrojů s břity z cermetu. Pro speciální aplikace vystružování těžkoobrobitelných materiálů se využívá PKNB a PKD. Naopak i přes zvýšení houževnatosti současných vyráběných řezných keramik umožňujících lehké a střední přerušované řezy se řezná keramika, jako pracovní část vystružovacího nástroje, „prozatím" nevyužívá. V tomto ohledu lze očekávat v budoucnu možný posun i na aplikace vystružování.



Obr.4.2 Průměrné hodnoty času vystružování různými řeznými materiály[14]

4.1 Základní požadavky, přednosti a směr vývoje řezných materiálů

Mezi řeznými materiály jsou tak z hlediska jejich vlastností značné rozdíly. Žádný řezný materiál však nesplňuje požadavky univerzálně používaného nástroje. Ačkoliv se v současné době vžité aplikace postupně rozšiřují o další aplikační možnosti, snaha vývojových pracovníků řezných materiálů o „vlastnostmi ideální" řezný materiál je prozatím nevyplněna. V tomto ohledu lze za „nejideálnější" řezný materiál považovat SK povlakovaný velkým množstvím, různými způsoby nanášených specifických povlaků.[60]

Tab. 4.1 Ideální vlastnosti řezných materiálů[60]

- **dostatečná tvrdost** – *zajišťující odolnost proti opotřebení a plastické deformaci břitu,*
- **dostatečná houževnatost** – *ochrana proti lomu,*
- **chemicky neutrální chování** vůči materiálu obrobku,
- **chemická stabilita** – zajišťující odolnost proti oxidaci a difuzi,
- **dobrá odolnost proti zatížení tepelným šokem**;

Tab. 4.2 Přehled řezných materiálů pro různé aplikace vystružování[14]

Slinutý karbid	univerzální použití
Cermet	**ocel, tvárná litina**
PKNB	šedá litina, tvrdé obrábění
PKD	hliník, neželezné kovy

4.2 Slinuté karbidy

Řezný materiál vyráběný metodami práškové metalurgie způsobil za téměř 80 let své existence značné zvýšení produktivity řezného procesu. Původní dvousložkový SK typu WC–Co, postupně doplněný dalšími karbidy (např.: TiC, TaC, NbC) si zajistil, značným rozsahem svých vlastností, první volbu dnes především podkladového materiálu pro velké množství povlakovaných řezných nástrojů. Prioritní vliv na vlastnosti SK má především typ a velikost tvrdých částic (WC, TiC, TaC, NbC), druh kovového pojiva a jeho podíl (především Co), výrobní technologie a kvalita výroby.[60]

Tab. 4.3 Vliv velikosti zrna na tvrdost a houževnatost SK[60]

velká zrna - vliv na vyšší houževnatost	**nepřímá úměrnost**	**malá zrna** - vliv na vyšší tvrdost
Závislost velikosti povrchu plochy karbidu smáčené pojivem.		

Tab. 4.4 Vyšší obsah karbidů/pojiva v substrátu SK[60]

Tvrdých částic (WC,...)		**Pojiva (Co)**
vyšší tvrdost	vyšší odolnost proti opotřebení	vyšší houževnatost ;
pevnost v tlaku		vyšší pevnost v ohybu - která je vyjádřena houževnatostí a jeho odporem proti lomu (nepřímá úměra na tvrdosti);

S ohledem na veliký počet nejrůznějších možností obrábění slinutými karbidy byl ve snaze popsat v hrubých rysech určitý druh SK vyvinut systém ISO. Klasifikace dle normy ISO 513 je určena pro SK, které dělí do 6 skupin dle aplikace: **P** – ocel, **M** – korozivzdorná ocel, **K** – litina, **N** – neželezné kovy, **S** – žáruvzdorné materiály, **H** – tvrzené materiály.[78]

V každé skupině jsou uvedena čísla, která udávají požadavky na obrábění. Pro dokončovací obrábění je vhodná skupina 01 až 24. Jedná se o materiály mající menší obsah pojícího kovu (Co), tzn. nižší pevnost, resp. houževnatost a naopak velkou tvrdost, resp. otěruvzdornost (viz. Tab. 4.4). Umožňují tak aplikaci velké řezné a nízké posuvové rychlosti. Přesnější údaje o konkrétním SK je možné zjistit z popisu řezného materiálu vydaného výrobcem.[60]

Aplikované pájené, mechanicky upínané „destičky" ze SK (VBD - větší průměry nástroje), potažmo zvládnutí technologie výroby monolitních nástrojů zajistilo prioritní postavení pro aplikaci na vystružovací nástroje splňující technicko-ekonomické kritéria řady strojírenských podniků (kvalitu otvoru, životnost, produktivitu vystružování apod.).

4.3 Cermety

Název Cermet odvozený od původního předpokladu tvrdosti keramiky a houževnatosti kovu je i v současné době značně „nadnesený". Na rozdíl od aplikačně dominantnějšího SK je cermet tvořen na místo tvrdé fáze WC zejména TiC, TiN, Ti(C,N), Mo_2C (výjimečně se tak užívají názvy: slinutý karbonitrid, slinutý karbid na bázi titanu, nebo bezwolframové SK). Dle ČSN ISO 513 jsou cermety označovány symbolem HT.[19]

4.3.1 Historie vývoje cermetů

Z historického hlediska je vývoj cermetů z velké míry spojen se snahou „obejít" patenty výrobce SK - německé firmy Krupp. První materiál bez WC byl vyroben rakouskou firmou Plansee (dnes součást firmy Ceratizit) počátkem 30. let 20.století. Jednalo se o řezný materiál názvu Titanit S (42,5 % Mo_2C+42,5 TiC + 14 % Ni+1 % Cr). První, pro třískové obrábění prakticky pou-

žitelné generace cermetů byli k dispozici až v 50. letech 20.stol. v USA. Vzniklé problémy způsobené v té době nedostatečnou houževnatostí znemožnily do poloviny 80. let jeho masivnější rozšíření v amerických i evropských strojírenských podnicích. Výhody spojené s absencí vzácného wolframu a kobaltu zajistily naopak širší použití v Japonsku. Cermet zde představoval levný a na tu dobu snadno dostupný řezný materiál. Zásadní vliv na vývojové stádia cermetu má tak v převážné míře japonský strojírenský průmysl. Systematickým vývojem bylo dosaženo vytvoření řezného materiálu s výhodou aplikovaného pro dokončovací obrábění. Ve srovnání s „konkurenčními" SK je zásadní předností cermetů možná aplikace vyšších řezných rychlostí (TiC je termochemicky stabilnější než WC). Díky tomu došlo k postupnému rozvoji cermetových řezných nástrojů také ve zbylých částech světa (USA, Evropa).[19]

Tab.4.5 Vývojové stupně cermetů[19]

Vývoj	Složení	Oblast obrábění	Vlastnosti
1. generace	TiC + Mo + Ni	Jen oblast lehkého řezání - vyšší řezné rychlosti.	Nižší houževnatost a odolnost proti vydrolování než běžné SK → dnes se nepoužívají.
2. generace	přidáno TaC + WC	Obrábění nižšími řeznými rychlostmi a vyšším posuvem.	Zvýšení pevnosti a odolnosti proti vydrolování přidáním TaC a WC.
3. generace	kombinace TiC + TiN, (podíl TiC postupně nahrazován TiN, nebo TiCN)	Obrábění vyšší řeznou a posuvovou rychlostí.	Přidáním TiN se zmenšila vel. zrn tvrdé fáze, čímž vzrostla tvrdost. Vyniká nižší pórovitostí, vyšší houževnatostí a odolností proti opotřebení a vydrolování.
Postupný nárůst podílu TiN z 10 % - vlivem pokroku výrobních technologií až nad hranici 25 %			

Pokud jsou pečlivým řízením výrobního procesu eliminovány póry (vliv menší smáčivosti TiN) stávají se cermety typu TiC-TiN (3. generace) vhodným řezným materiálem pro široké oblasti využití v aplikacích na řezné nástroje. V současné době je tak většina vyráběných cermetů pro vyšší odolnost proti opotřebení a vydrolování právě na bázi TiC-TiN.[19]

4.3.2 Výroba cermetů

Současné cermety na bázi karbonitridu titanu se nejčastěji vyrábějí vysokoteplotním lisováním, vysokoteplotním izostatickým lisováním (HIP), slinováním, nebo slinováním v kombinaci s HIP (metody podobné výrobě SK).[19]

Výchozími materiály jsou prášky TiC/TiN nebo Ti(C,N). Dalšími přísadami mohou být Mo_2C, VC, WC, NbC, TaC, ZrC, Cr_3C_2, apod., zpevňující tvrdé fáze pro zajištění zpevňujících mechanismů. Jako pojivo pak přednostně slouží Ni, ke kterému je často přidáván Co za účelem snížení rozpustnosti Ti v Ni a stabilizaci karbonitridů. V některých případech se dále do pojiva přidává Mo (zpevnění tuhého roztoku Ni), na místo Co pak optimální množství Cr (zvýšení smáčivosti, houževnatosti, vysokoteplotní pevnosti a odolnosti proti oxidaci).[19]

Základní předpoklad pro výrobu kvalitního cermetu je dostatečně pevná vazba mezi tvrdými částicemi a pojivem (ovlivnění slinovatelnosti resp. konečných vlastností cermetu). Vysoká pevnost mezi tvrdými částicemi a pojivem vyžaduje dobrou smáčivost zrn tvrdé fáze tekutým kovem. Nejlepší smáčivost

v roztaveném kovovém pojivu má Mo_2C (navíc zvyšuje houževnatost, potlačuje tvorbu grafitu a přispívá k udržení pevnosti za vysokých teplot).[19]

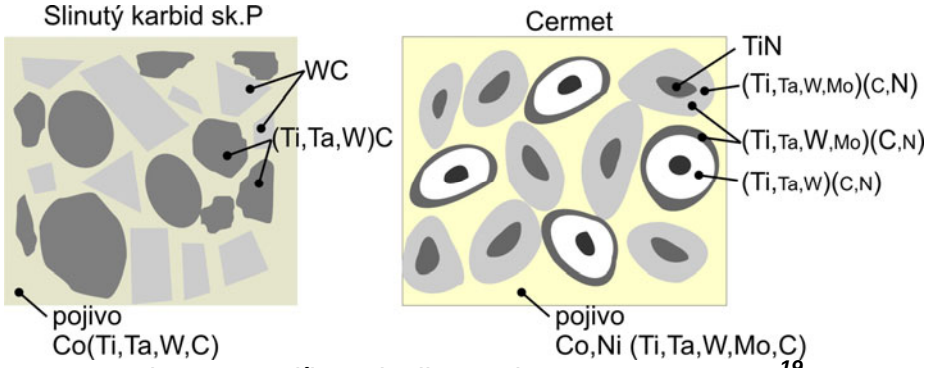
Dalším faktorem ovlivňujícím vlastnosti cermetu je velikost zrn tvrdé fáze. S rostoucím časem slinování (při teplotě 1400 – 1600°C) roste exponenciálně také velikost zrn.[19]

Při výrobě cermetů na bázi TiC/TiN dochází velmi často k denitrifikaci (ochuzení o dusík). Tento negativní jev je spojen s nahrazováním dusíku z TiN uhlíkem. Obsah dusíku v materiálu klesá. V materiálu se vytvářejí mikropóry („bubliny N") způsobující negativní nehomogenitu materiálu (možná minimalizace prostřednictvím metody HIP). Tento jev se také negativně projevuje omezením slinovatelnosti, což je možné částečně kompenzovat přidáním Mo (ten však zhoršuje obrobitelnost cermetu). Efektivní metodou snižující potřebné množství Mo a současně zachovávající vysoký obsah dusíku je metoda přípravy tuhého roztoku karbonitridu před vlastním slinováním tělesa cermetu názvu PSSS (Pre-Sintering Solid-Solutino, patent USA). Tato technologie přináší vysokou pevnost, houževnatost a odolnost proti opotřebení při zachování dobré obrobitelnosti cermetu.[19]

Výroba cermetu je i v současné době neustále optimalizována za účelem dosažení ideálních vlastností pro konkrétní aplikace. V případě potřeby vysoké odolnosti proti abrazivnímu opotřebení jsou vhodné především cermety s vysokým obsahem TiC, středním obsahem TiN a nízkým obsahem pojiva. Pro frézovací aplikace s vysokým tepelným a rázovým namáháním jsou vhodné cermety s vyšším obsahem pojiva, dusíku a Ta/Nb v tvrdé fázi. Díky novým technologiím slinování je možné vyrobit (kromě VBD) celistvé (monolitní) nástroje rozmanitých rozměrů.[19]

4.3.3 Vlastnosti cermetu

Se zvyšujícím obsahem dusíku, nebo nitridů (3. generace cermetů) dochází oproti původním vývojovým stupňům cermetů k podstatnému zvýšení řezných výkonů. Klíčem k interpretaci mechanických vlastností cermetů na bázi Ti(C,N) je jejich značně složitá mikrostruktura (složitější než-li u SK). Mikrostruktura cermetu je ovlivňována složením výchozích prášků, velikostí částic, rozložením velikosti částic a slinovací atmosférou (vakuum, atmosféra N_2, nebo Ar). Nejčastěji jsou cermety složeny ze dvou fází: jednou je tvrdá fáze – karbonitrid titanu (zajišťující dostatečnou tvrdost), druhou kovové pojivo – Ni, Co, nebo kombinace (spojující tvrdou fázi, zajišťující houževnatost a odolnost proti teplotním šokům).[19]

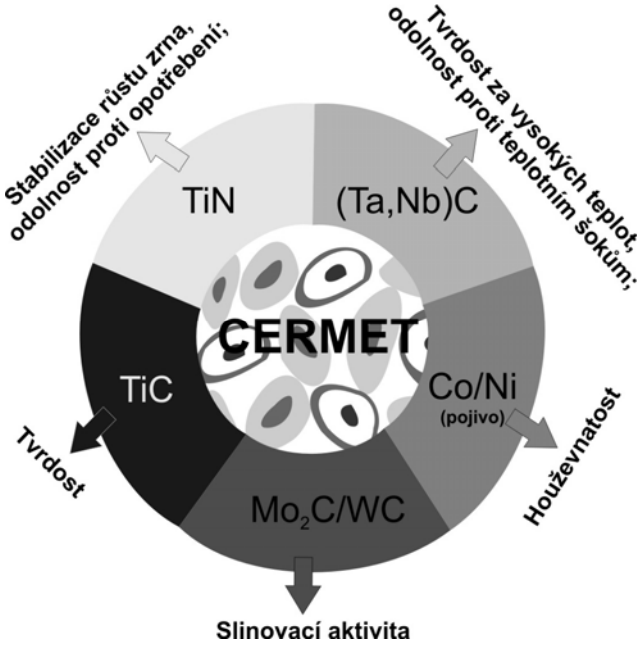


Obr.4.3 Rozdíl mezi mikrostrukturou cermetu a SK[19]

Tab.4.6 Vlastnosti Cermetů na bázi Ti(C,N)[19]

- *vysoká odolnost proti opotřebení hřbetu, a opotřebení čela ve tvaru žlábku,*
- *vysoká chemická stabilita a tvrdost za tepla,*
- *malý sklon k vytváření nárůstku,*
- *malý sklon k oxidačnímu opotřebení;*

Cermety na bázi karbonitridu titanu mají ve srovnání s cermety na bázi karbidu titanu vyšší tvrdost za vysokých teplot, mnohem vyšší pevnost v ohybu, odolnost proti oxidaci a tepelnou vodivost. Vykazují vyšší odolnost proti tvorbě nárůstků na čele nástroje, vydrolování ostří a tvorbě výmolu na čele.[19]



Obr.4.4 Vliv základních složek na vlastnosti cermetu[19]

Tab.4.7 Porovnání vlastností cermetů s vlastnostmi SK[19]

Výhody	Nevýhody
Vlastnosti vztažené převážně na dokončovací a střední obrábění.	**Vlastnosti při náročnějších předhrubovacích a hrubovacích op.**
• neměnící se stabilita břitu při malých konstantních zatíženích, • **lepší a déle trvající schopnosti vytváření kvalitních povrchů,** • větší vhodnost při obrábění většími řeznými rychlostmi, • větší odolnost proti opotřebení ve tvaru vrubu na hřbetě břitu, • **vhodnější při obrábění přesných povrchů, při obrábění tažných a lepivých materiálů se sklonem k tvorbě nárůstku;**	• příliš malá pevnost břitu při středních a vyšších posuvech, • příliš malá houževnatost při střídavém středním až těžkém zatížení břitu, • příliš malá odolnost proti abrazivnímu opotřebení, • příliš malá odolnost proti opotřebení na čele ve tvaru žlábku, • příliš malá odolnost proti nárazovým zatížením;

4.3.4 Hlavní předpoklady aplikace cermetu

Při porovnání s širokým spektrem použití SK na bázi W cermety zabírají nesrovnatelně menší prostor. Používají se pro obrábění posuvovými rychlostmi na úrovni řezné keramiky a řeznými rychlostmi na úrovni povlakovaných slinutých karbidů. Ideální podmínky použití jsou stabilní obráběcí proces a obrábění bez přerušovaných řezů. Ostrý a trvanlivý břit je často výhodou při obrábění velkého počtu kusů (sériová, hromadná výroba) zvláště tam, kde jsou přídavky na obrábění udržovány v úzkých tolerancích. Mají však poměrně nízkou houževnatost. Aplikace je proto omezena pouze na lehké a střední řezy. [19,60]

Jsou tedy zvláště vhodné pro dokončovací operace, kde jsou schopny vytvořit plochu s velmi nízkou drsností. Speciálně u materiálů se sklonem k mazání, kde může být jejich vyšší tvrdosti při zvýšených teplotách a nižším difúzním opotřebení nejlépe využito. S výhodou se používají u lehčích operací kopírování a u malých, přesně definovaných přídavků na obrábění, při použití středních až vysokých řezných rychlostí a při středních posuvech v takových případech, kde jsou trvanlivost břitu a jakost obrobeného povrchu za příznivých podmínek obrábění hlavními kritérii.[19,60]

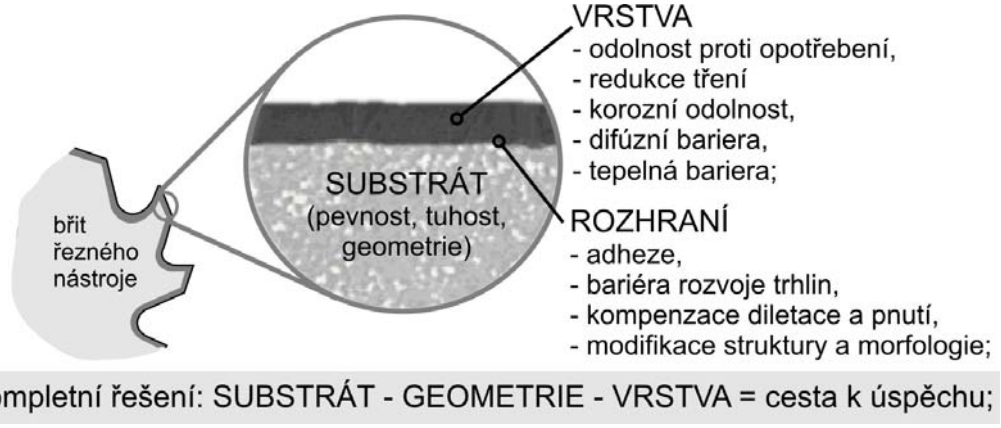
Díky specifickým vlastnostem se cermety ve stále větším objemu využívají pro výrobu vysoce výkonných vystružovacích nástrojů. Současná úroveň jejich výroby dovoluje jak aplikace pájených či VBD, tak celistvé (monolitní) provedení cermetového vystružovacího nástroje (viz. podkap. 5.1).

4.4 Povlakované slinuté karbidy a cermety

Řezný materiál skládající se z pevného karbidového podkladu, na který je nanesena pomocí povlakovací technologie termochemicky stabilní tenká vrstva povlaku (povlak karbidů, nitridů, oxidů, či jejich kombinací) s vysokou tvrdostí a vynikající odolností proti opotřebení.

4.4.1 Charakteristika povlaku

Tenké vrstvy povlaků je třeba chápat jako systém, neboť vrstva pro svoji tloušťku dosahuje společně se substrátem specifických vlastností a chování. Z tohoto důvodu je zapotřebí věnovat pozornost všem složkám tvořící daný systém (substrát – geometrie - vrstva)**.**[65]



Obr.4.5 Skladba povlakovaného řezného nástroje[65]

Kromě povlaků vícevrstvých se dnes využívají speciální lubrikační povlaky (nízký koeficient tření), multivrstvé povlaky (eliminace šíření trhlin), nanokompozitní povlaky, diamantové povlaky, povlaky karbidu boru, apod.[11] V odborné literatuře jsou obvykle uváděny vývojové stupně („generace") povlakovaných slinutých karbidů viz. Tab. 4.8.

Tab. 4.8 Vývojové stupně („generace") povlakovaných SK[60]

gen.	**počet vrstev**	**přechody**	**složení**	**charakteristika**
JEDNOVRSTVÉ POVLAKY				
1.	jednovrstvý		výhradně TiC	• špatná soudržnost podklad x povlak vlivem nedokonalé technologie → vznik eta - karbidu mezi podklad x povlak, vrstva tl. ≈ 7 μm
2.	jednovrstvý		TiC, TiCN, TiN	• dokonalejší technologie výroby, větší tl. povlaku ≈ až 13 μm, bez eta - karbidu, bez nebezpečí odlupování
VÍCEVRSTVÉ POVLAKY *Spojení dominantních "pozitivních" vlastností jednotlivých vrstev.*				
Řazení vrstev odpovídá vlastnostem. První vrstvy s lepší přilnavostí k podkladu, ale s nižší odolností proti opotřebení. Poslední vrstvy jsou naopak charakterizovány svou vyšší tvrdostí a odolností proti opotřebení.				
3.	vícevrstvé- 2,3 i více	ostře ohraničené	TiC,TiN,TiCN Al_2O_3,	• řazení dle odpovídajících vlastností
4.	speciální vrstvené - i více jak 10 vrstev	více či méně výrazné	TiC,TiN,TiCN Al_2O_3,	• užití stejných povlakovacích materiálů jako u 3. generace, výroba cíleným řízením atmosféry v povlakovacím zařízení dle potřeb povlakování

Nanášení tenkých vrstev otěruvzdorných povlaků se provádí technologií CVD (Chemical Vapour Deposition) a PVD (Physical Vapour Deposition), případně jejich modifikacemi. Zatímco povlaky CVD se využívají zejména u nástrojů určených pro soustružení (plynulý řez). PVD povlaky našly své nezastupitelné uplatnění u nástrojů vyžadujících ostří s minimálním zaoblením (frézy, vrtáky, výstružníky) prioritně aplikované u technologií s přerušovaným řezem (frézování, vrtání, vystružování)*.*[19]

4.4.2 Základní fyzikální a chemické vlastnosti povlaků

K základním faktorům ovlivňujícím fyzikální a mechanické vlastnosti řezných nástrojů patří především druh povlaku, jeho tloušťka, drsnost, metoda povlakování a řezný substrát.[18]

Vysoká kvalita vystruženého otvoru vyžaduje značné nároky na výslednou kvalitu povlaku. Povlaky musí vykazovat:

fyzikální vlastnosti[18]	- vysokou tvrdost (odolnost proti abrazivnímu opotřebení), - optimální rovnoměrnou tloušťku (vliv na poloměr zaoblení ostří), - nízkou drsnost (menší řezné síly, tření nástroje při řezání, odvod třísek), - dostatečnou adhezi k podkladovému materiálu (obrana proti stržení, odlupování vrstvy), - vhodné kluzné vlastnosti (snížení tepelného zatížení nástroje),
chemické vlastnosti[18]	- odolnost proti oxidaci (především obrana proti hloubkové oxidaci), - chemickou stabilitu (obrana proti chemické reakci s obráběným materiálem), - tepelnou stabilitu (zajištění termodynamické stability povlaku);

Častý problém především při aplikaci vytváření povlaku metodou obloukového odpařování (jedna z metod PVD) je vysoká drsnost povlaku (větší částice s vyšší energií lépe ukotví na povlakovaném povrchu). Drsnost povlaku zvyšuje řezné síly, čímž dochází k tepelnému a mechanickému namáhání břitu nástroje. Tento negativní jev se snaží většina výrobců vrstev minimalizovat úpravou technologie povlakování, případně dodatečnou úpravou nástrojů po povlakování. K minimalizaci drsnosti povlaku může přispět aplikace povlakovací metody magnetronového naprašování, u které nedochází k tak razantnímu vzniku makročástic na povrchu povlakovaného materiálu (viz. Obr.4.6). [5,18]

Tab. 4.9 Vlastnosti tenkých vrstev povlaků[19]

	Chemická stabilita	Odolnost proti oxidaci	Tvrdost	Tvrdost za tepla
Vysoká ↑	* Al_2O_3	* Al_2O_3	TiC	* Al_2O_3
	TiAlN	TiAlN	TiCN	TiAlN
	TiN	TiN	* Al_2O_3	TiN
	TiCN	TiCN	TiAlN	TiCN
Nízká	TiC	TiC	TiN	TiC

Šedě označené – povlaky aplikované nejčastěji na výstružnících;
** S ohledem na rozvoj PVD technologií nabídka povlaků Al_2O_3 na vystružovací nástroje. Prozatím první aplikace, např.: firma CemeCon.*

4.4.3 PVD povlaky

Do současné doby bylo vytvořeno mnoho druhů PVD vrstev s cílenou kombinací přísadových prvků pro zlepšení mechanických vlastností, zvýšení tvrdosti, snížení koeficientu tření, zlepšení kohezivně-adhezivního chování, zvýšení oxidační odolnosti, apod.

Jako PVD vrstvy pro řezné aplikace na podkladu ze SK, cermetu se při vystružování nejčastěji používají povlaky TiN, TiCN, TiAlN. Malá tloušťka nanášených vrstev (1-5μm) nevytváří veliké zaoblení břitu, navíc nízké nanášecí teploty působí příznivě na podkladový substrát. Zbytkové tlakové napětí brání větší inicializaci trhlin, čímž působí pozitivně na výslednou životnost nástroje. Menší tloušťka povlaku vyžaduje dostatečnou odolnost proti abrazivnímu opotřebení, která je zajištěna potřebnou hodnotou tvrdosti povlaku.[20]

Tab.4.10 Pozitivní a negativní aspekty PVD povlaků[60]

Výhody - PVD	Nevýhody – PVD
• vytváří tlaková zbytková napětí, • příznivý vliv na vlastnosti podkladu, • **schopnost povlakovat i ostré hrany,** • možnost přesných tloušťek vrstev;	• důkladnější příprava povrchu *(čištění, odmašťování, know-how výrobců),* • nemožnost napovlakování odvrácených míst, • tenčí vrstva povlaku ≈ 5 μm, • menší možnosti výběru povlaku;

Původní nedostatky spojené s aplikací metod PVD se s postupným zdokonalováním technologie odstraňují. Současné vyspělé povlakovací PVD zařízení dokáží nyní vytvořit takové vrstvy povlaků jako je např.: Al_2O_3, diamantové povlaky, progresivní povlaky PKNB, apod.[19]

4.4.4 PVD technologie povlakování

PVD je ekologicky nejšetrnější metoda povlakování (na rozdíl od CVD zde není použit žádný nebezpečný materiál) probíhající za velmi nízkých pracovních teplot (v rozmezí 600 – 300°C v některých případech až 180°C).[18] Povlak je vytvářen za sníženého tlaku (0,1 – 1,0Pa) kondenzací částic (atomů, případně shluků atomů), které jsou uvolňovány ze zdroje fyzikálními metodami. Jedná se o metody **rozprašování** (urychlenými ionty Ar vytvářenými ve zkříženém elektromagnetickém poli), **odpařování** (indukčně, nízkonapěťovým obloukem, laserem, nebo elektronovým paprskem), některé metody využívají i **klasický odporový ohřev**. Následně dochází k ionizaci uvolněných částic spojené s jejich reakcí s atmosférou povlakovací komory (inertní a reaktivní plyn, např.: Ar a N_2). Částice jsou dále urychlovány k povrchu substrátu, kde se usazují ve formě tenké vrstvy homogenního povlaku.[19]

K nevýhodám všech povlakovacích metod PVD patří především relativně složitý vakuový systém a požadavek pohybu povlakovanými předměty pro zajištění rovnoměrného ukládání povlaku po celém povrchu nástroje (plochy ležící mimo směr pohybu odpařovaných částic se nepovlakují). Mezi výhody lze kromě nižší depoziční teploty zařadit možnost napovlakování ostrých hran nástroje.[19]

Povlakovací proces lze obecně rozdělit do třech na sebe navazujících kroků:

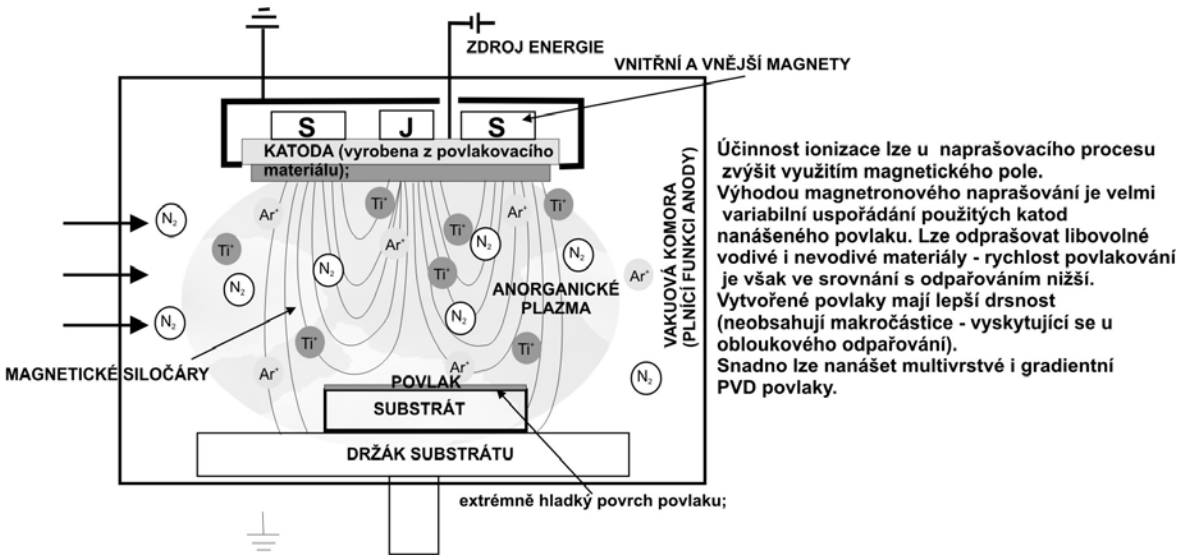
- převedení materiálu do plynné fáze,
- transport par ze zdroje k substrátu,
- vytváření vrstvy na povrchu substrátu;[60]

■ Nejčastěji používané metody PVD povlakování

Napařování (fyzikální odpařovací proces)[19]
Proces probíhající ve středním až vysokém vakuu (tlak pod 1 Pa) → čistý kov (obvykle Ti) odpařován pomocí el. oblouku → emitované atomární částice reagují s atmosférou komory (Ar,N_2) a s tepelnou energií (0,1÷0,5 eV) → dopadají na povrch substrátu, kde se usazují ve formě tenké homogenní vrstvy pevně a adhezně spojené s povlakem.

Naprašování (fyzikální rozprašovací proces)[19]
Využívá el. výboj v plynné atmosféře komory, při kterém vznikají kationy (+ionty) → bombardující katodu z čistého kovu, záporně napájenou o el. napětí (≈0,5 ÷ 5 kV). Vysoká kinetická energie iontů → uvolní z terče čistého kovu částice potřebného chemického složení (dle složení kovu a atmosféry komory) → usazující se na povrchu substrátu za vzniku požadovaného povlaku (viz. Obr. 4.6)

Iontová implantace[19]
Kombinace napařování a naprašování. Mezi substrátem (jako katoda 50 ÷ 1000 V) a odpařovačem je vytvořeno silné el. pole (rozdíl potenciálů ≈ 10^4 V i více) → dochází k el. výboji v plynné komoře → ten ionizuje částice plynu i odpařovaného čistého kovu → vlivem reakcí iontů dochází na povrchu substrátu k usazování povlaku.



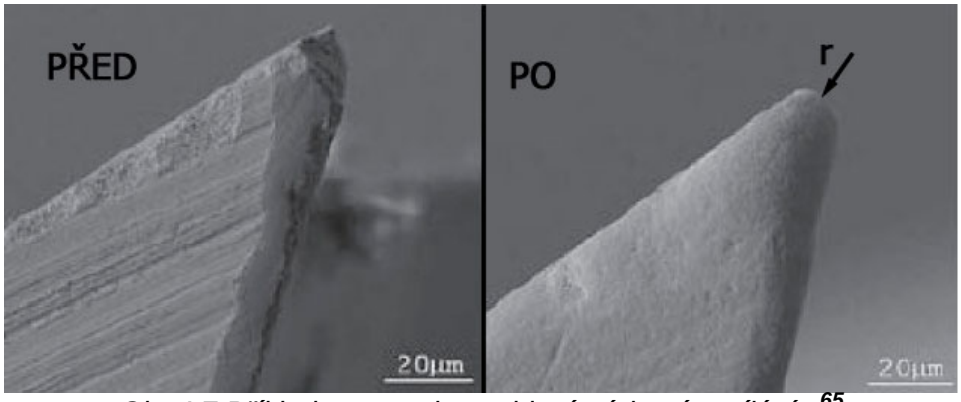
Obr.4.6 Magnetron Sputter Deposition – magnetronové naprašování – fa CemeCon[5]

4.4.5 Technologie úprav nástrojů před a po povlakování

Řezná geometrie, mikrogeometrie a její vhodná modifikace vede ke zvýšení trvanlivosti nástrojů. Mikrogeometrie je do značné míry ovlivněna jak použitým řezným materiálem, tak naneseným otěruvzdornými povlakem. Před povlakovací, povlakovací i po povlakovací úpravy povrchu řezné části nástroje tak v současné době vytvářejí důležitý prvek komplexního řešení nově vyvíjeného nástroje.

Počínaje broušením geometrie nástroje (při menší zrnitosti brousícího kotouče dochází k nižší podélné drsnosti ostří, negativní vliv velké řezné rychlosti), pokračující eliminací drsnosti a úpravou řezné hrany (lapování, pískování, omílání, kartáčování, bezdotykový způsob působením laseru, apod.). Podstatou většiny metod je působení abrazivních částic nesených vhodným médiem (vzduch, pasta, pojivo, vlákno, „rarita" – ořechové skořápky, apod.). Při povlakování je též nutné zohlednit nárůst zaoblení břitu daný tloušťkou naneseného povlaku. Především u dokončování, kde jsme limitováni min. tloušťkou třísky, která nesmí být menší než velikost zaoblení.[18]

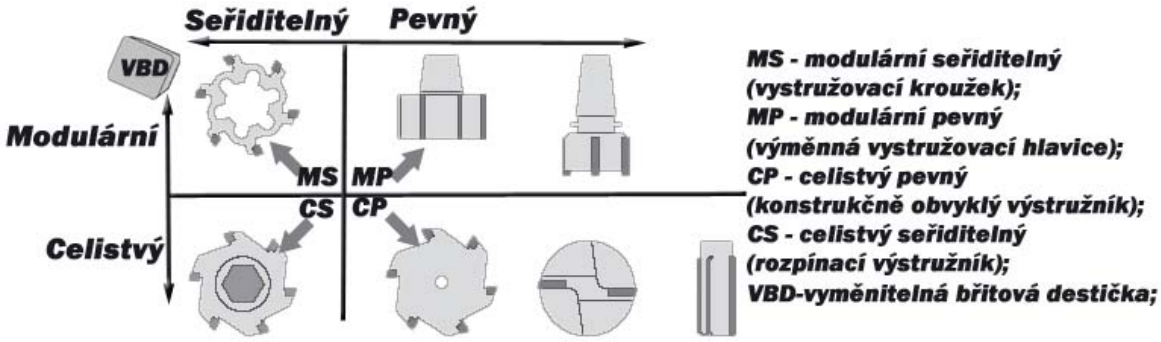
Aplikované předdepoziční úpravy mohou částečně vylepšit kvalitu povrchu, ostří, zaoblení špičky nástroje. Velké defekty povrchu však již neopraví.[18]



Obr.4.7 Příklad geometrie zaoblení, získané omíláním[65]

5 SOUČASNÝ STAV NA TRHU S VYSTRUŽOVACÍMI ŘEZNÝMI NÁSTROJI

Existující konkurenční prostředí na trhu s řeznými nástroji podněcuje jejich výrobce ke zkracování času mezi jednotlivými inovačními procesy. Současný trh s vystružovacími nástroji je charakterizován produkcí standardních a speciálních vystružovacích nástrojů osazených kromě řezné keramiky všemi obecně užívanými řeznými materiály. Zatímco vývoj speciálních vystružovacích nástrojů se liší případ od případu dle konkrétních požadavků jednotlivých zákazníků (tzv. „nástroje na zakázku"). Standardně vyráběné současné vystružovací nástroje je možné typizovat na základě následujících kritérií: **seřiditelný, pevný, modulární a celistvý** výstružník viz. Obr.5.1.



Obr.5.1 Rozdělení současných vystružovacích nástrojů[51]

Vystružovací nástroje z rychlořezné oceli, jsou postupně nahrazovány výkonnějšími slinutými karbidy opatřenými vhodně zvoleným PVD povlakem (nejčastěji TiN, TiAlN). S ohledem na kvalitativní specifika vystružování se do popředí zájmů vývojových pracovníků dostává stále častěji cermet, PKD a PKNB. Způsob volby řezného materiálu, konstrukčního provedení, společně s vhodně zvoleným upínačem prioritně směřují ke snižování nákladů na konkrétní vystružení otvoru. Ačkoliv je s ohledem na použití výkonných řezných materiálu cena většiny současně vyvíjených nástrojů vyšší, konečný důsledek takové aplikace ve správném případě směřuje ke snížení ceny vystruženého otvoru.

S ohledem na rozvíjející se asijské výrobce řezných nástrojů je sortiment většiny renomovaných výrobců doplněn souborem předprodejních, prodejních i po prodejních služeb dle konkrétní pozice zákazníka (Tool Management). Jako konkurenční výhoda je také chápáno udělení normy ISO 9001 (Systém managementu jakosti) a ISO 14001 (Systém environmentálního managementu).[29]

5.1 Přehled současné nabídky vystružovacích nástrojů z cermetu

Následující přehled cermetových vystružovacích nástrojů definuje pouze základní sortiment typů vyskytujících se přednostně na evropském trhu.

Obr.5.2 Vybraní výrobci cermetových vystružovacích nástrojů

Přehled současných vystružovacích nástrojů z cermetu – ***PŘÍLOHA 5***

BECK

Firma vyrábějící vysoce přesné řezné nástroje byla založena před více jak sto lety v Německém městečku Ebingen (od r. 1925 - Winterlingen). V současné době má společnost 190 zaměstnanců. Výrobní program tvoří z 50 % výroba standardních nástrojů, zbylých 50 % tvoří výroba speciálních nástrojů, dle úzké spolupráce se zákazníkem. Téměř 75 % vyráběných nástrojů směřuje do německých strojírenských podniků.[56]

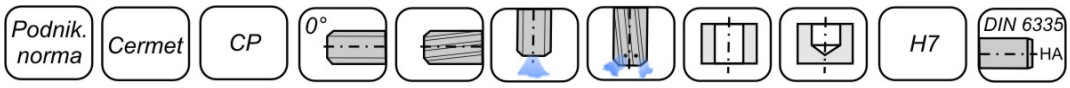
Firma Beck využívá objemových skladů polotovarů výstružníků, tzn. speciální nástroje mohou být dodány ve velmi krátké době. U všech nástrojů je možné s ohledem na požadovanou kvalitu otvoru provést vícenásobné přeostření (ekonomická efektivnost).[12]

Kromě vysoce výkonných vystružovacích nástrojů RR01, HCS, RB03, RB08 firma Beck nabízí výkonné výstružníky HNC-speed s povlakovaným SK (aplikace např.: na vysoce jakostní nerezové oceli).[12]

■ **Výstružník RR®01**

RR®01		Průchozí díry, řezný materiál: SK+povlak, rozsah: 4,0 - 20,0 mm,
RR®01		Průchozí díry, řezný materiál: SK, rozsah: ø21,0 - 32,0 mm,
RR®01		Průchozí díry, řezný materiál: cermet, rozsah: ø4,0 - 20,0 mm,
RR®01		Průchozí díry, řezný materiál: cermet, rozsah: ø21,0 - 40,0 mm,
RR®01		Slepé díry, řezný materiál: cermet, rozsah: ø4,0 - 20,0 mm,
RR®01		Slepé díry, řezný materiál: cermet, rozsah: ø21,0 - 40,0 mm,
RR®01		Rozšiřující verze pro průchozí díry, řezný materiál: cermet, rozsah: ø8,0 - 40,0 mm,

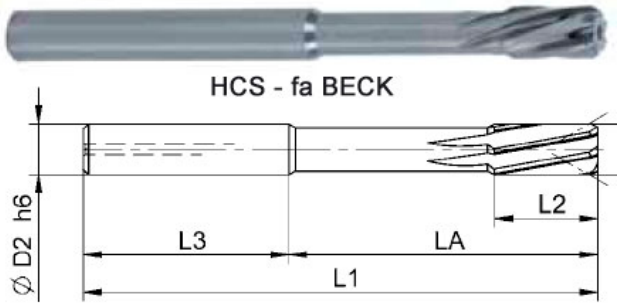
Obr.5.3 Výstružníky řady RR01[55]



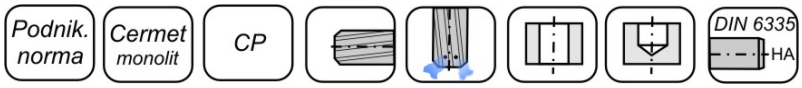
■ **Monolitní vícebřitý výstružník HCS**

Monolitní cermetový výstružník HCS s vnitřním přívodem procesní kapaliny se vyznačuje optimalizovanou geometrií břitu. Nestejnoměrné dělení břitů zaručuje optimální, přesné a kruhové otvory, zmenšuje riziko chvění nástroje.[36]

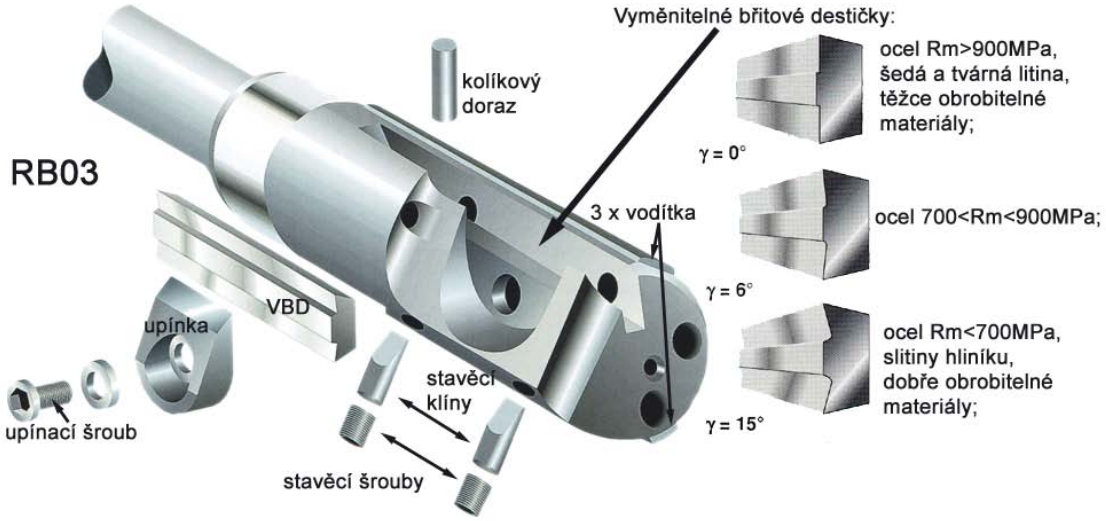
Rozsah rozměrů - tolerance: ø4–12 mm, odstupňované po 0,5mm vyráběny v toleranci H7; ø3,97-3,99mm , ø4,01-4,03mm, ø4,97-4,99mm, ø5,01-5,03mm odstupňované po 0,01mm, vyráběny v toleranci 0,004mm (od JR); ø5,97-5,99mm, ø6,01-6,03, ..., ø11,97-11,99mm, ø12,01-12,03mm odstupňované po 0,01mm vyráběny v toleranci 0,005mm (od JR).[55]



Obr.5.4 Monolitní cermetový výstružník HSC [55]

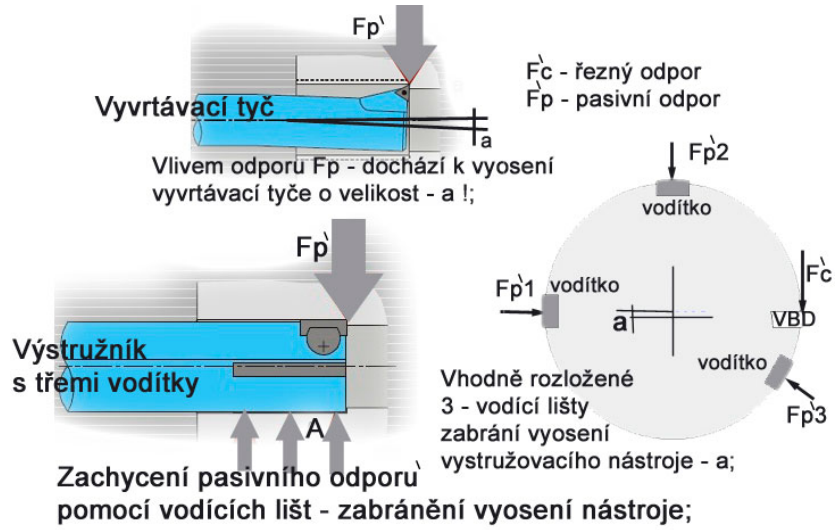


■ **Výstružník RB03 a RB08**



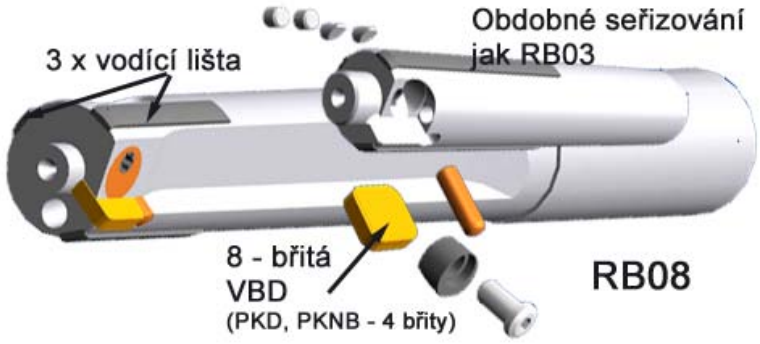
*Obr.5.5 Jednobřitý výstružník **RB03***[74]

Jednobřitý výstružník s třemi vodícími lištami pro vyšší kvalitu otvoru **RB03** je vyráběn v rozsahu průměrů 8–35 mm (standardní provedení). Nástroj s vnitřním chlazením je vhodný pro aplikaci průchozích i neprůchozích otvorů. Možnost použití různých řezných materiálů – SK, SK + povlak TiAlN, TiN, cermet, PKNB, PKD. S ohledem na konkrétní použití je možné využít různé materiály vodících lišt – přednostně cermet, dále pak SK, PKD.[74]



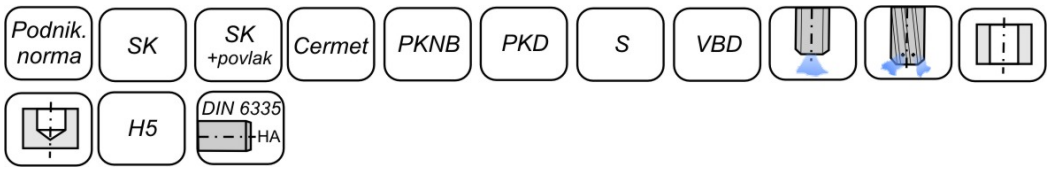
Obr.5.6 Pozitivní přínos vhodně rozmístěných 3 vodících lišt [74]

Obdobným způsobem je řešena také konstrukce výstružníku **RB08.** Jedná se opět o výstružník s třemi vodícími lištami a vyměnitelnou břitovou destičkou. Nejmenší vyráběný průměr nástroje je 18 mm. VBD je vyráběna z cermetu, SK (+ povlak TiAlN, TiN) - v provedení 8 břitů. VBD z PKD a PKNB je dodávána v provedení 4 břitů.[74]



Obr.5.7 Výstružník s VBD RB08 [74]

Výstružníky **RB03 a RB08** patří mezi seřiditelné vystružovací nástroje zajišťující vysokou rozměrovou a geometrickou (souosost, kruhovitost, válcovitost) přesnost vystruženého otvoru.[74]

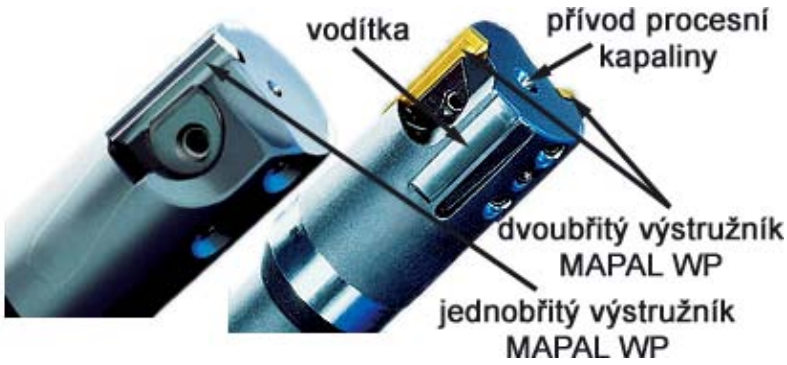


MAPAL

Firma Mapal Dr.Kress KG byla založena Dr. Georgem Kressem v roce 1950 v německém městě Aalen. V současné době má více jak 3000 zaměstnanců pracujících v pobočkách ve 20 zemích světa. Firma patří mezi významné

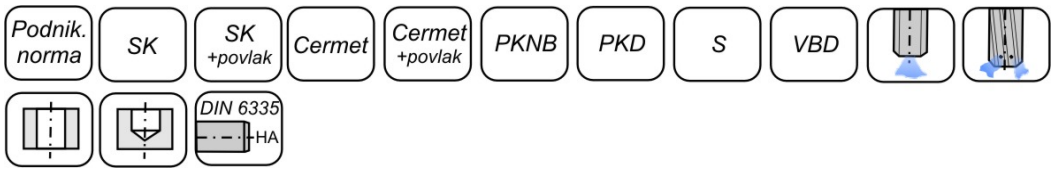
výrobce nástrojů pro přesné obrábění otvorů (vystružovací a vyvrtávací nástroje, vrtáky, frézy, apod.).[57]

■ **Výstružníky MAPAL WP** s vyměnitelnými břitovými destičkami

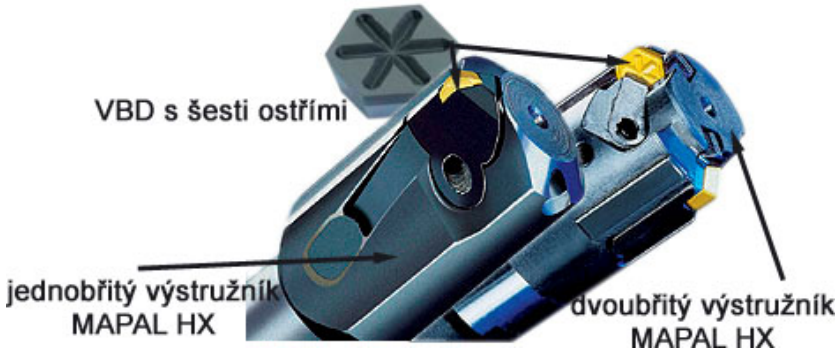


Obr.5.8 Výstružníky MAPAL WP[72]

Rozsah rozměrů: ø5,00–89,29 mm. VBD ze SK, SK + povlak, cermet, cermet+povlak, PKD i PKNB – dle konkrétní aplikace.

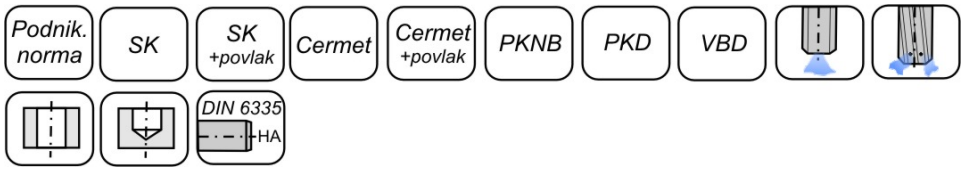


■ **Výstružníky MAPAL HX** s vyměnitelnými břitovými destičkami

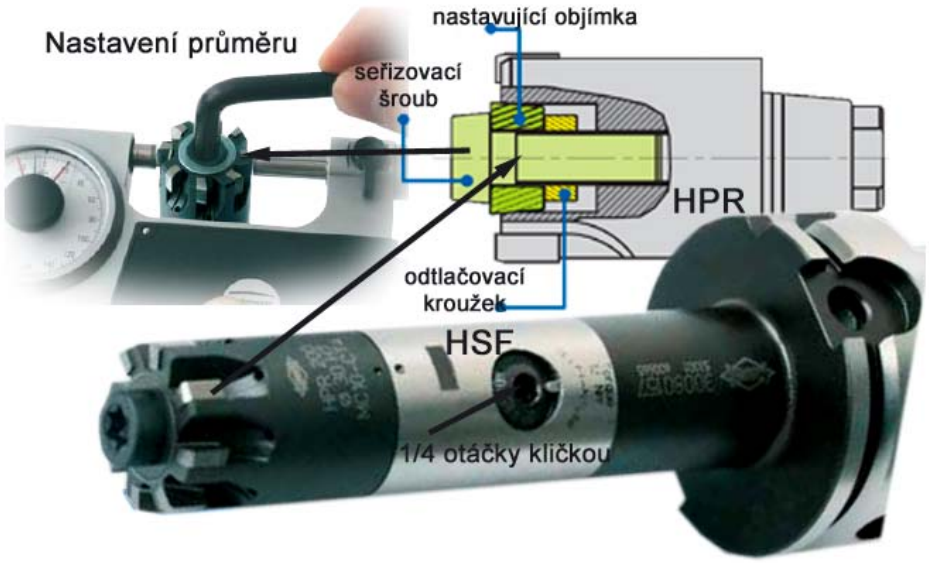


Obr.5.9 Jednobřitý výstružník MAPAL HX[63,72]

Rozsah rozměrů: ø13,83–80,16 mm; VBD HX (6 břitů) z SK, SK + povlak, cermet, cermet+povlak, PKD i PKNB – dle konkrétní aplikace.[72]



■ **Výměnné vystružovací hlavice HPR s upínacím systémem HFS**

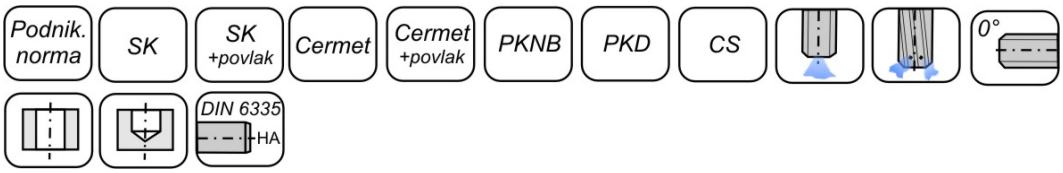


Obr.5.10 Výstružník MAPAL HPR s upínacím systémem HSF[62,66]

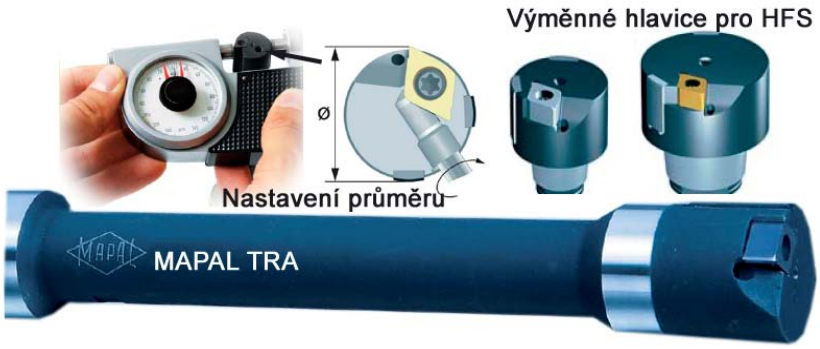
Rozsah: ø7-40 mm, dle průměru 4,6,8 břitů.[37]

Řezný materiál: SK, SK + povlak, cermet, cermet + povlak, PKD, PKNB;

Upínací systém HSF - vlastní upínání zajišťuje excentrická vačka ovládaná z boku klíčem a osovým tažným čepem. Pootočením vačky *(stačí ¼ otáčky)* je nástrojová hlava vtažena do držáku. Dostatečná tuhost je zajištěna čelním dosednutím. Systém umožňuje vnitřní přívod procesní kapaliny. Možná výměna (pootočením v obráceném směru) přímo na stroji (minimalizace času). Souosost a přesnost polohy spojovaných dílu do 3 µm.[37]



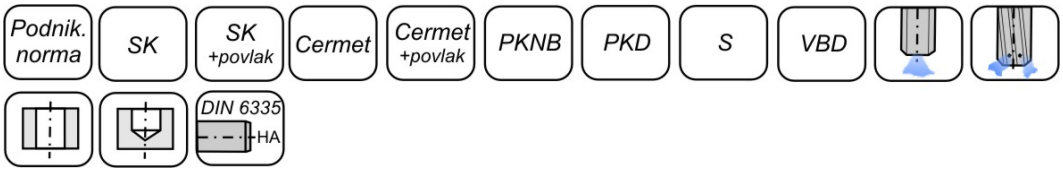
■ **Tangenciální výstružník TRA**



Obr.5.11 Tangenciální výstružník TRA[66]

Vystružovací nástroj s tangenciálně upnutou vyměnitelnou břitovou destičkou. Provedení válcová tyč, nebo výměnná vystružovací hlavice upnutá pomocí systému HSF.

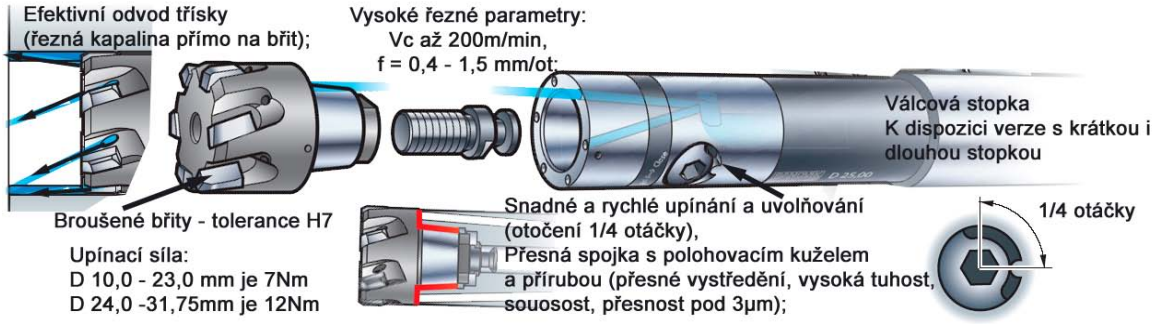
Rozsah rozměrů: ø20–60 mm; VBD z SK, SK + povlak, cermet, cermet+povlak, PKD i PKNB – dle konkrétní aplikace.[66]



SANDVIK COROMANT

Od roku 1942, kdy došlo k zaregistrování obchodní značky si firma zajistila přední místo světového výrobce řezných nástrojů. Společnost působící současně v 60 zemích má na svém kontě na 2000 aktivních patentů.[38]

■ **Výstružník – Reamer 830**



Obr.5.12 Reamer 830 firmy SANDVIK COROMANT[78]

Vyměnitelné vystružovací hlavy zajištěné upnutím zepředu, osazené tvrdě pájenými břity z cermetu (4 až 8 břitů dle průměru). Kombinace více břitů snášející vysoké řezné rychlosti zajišťuje efektivní vnikání do materiálu. Hlavy mají levosměrné drážky pro efektivní odvod třísek pozn. lze obrábět jen průchozí otvory (třísky „tlačí" před sebou ven). Tento typ řezu vytváří řezné síly působící axiálním směrem do vřetena, to zajišťuje vyšší tuhost a přesnost průměru díry. Je zde možnost obrábět i křížící se otvory.[78]

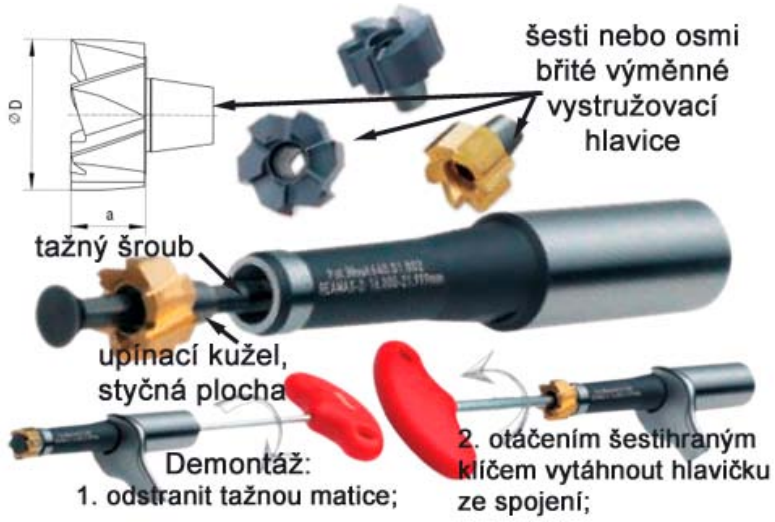
Rozsah rozměrů je: 10 až 31,75 mm, pro různé hloubky vystružovaných děr (45 až 106 mm). Úhel čela 6°, tvrdě pájené destičky třídy P10R pro aplikaci na oceli a litiny, válcová stopka v toleranci h6.[78]

Požadavky použití: vysoká kvalita předobrobené díry, a_{pmin} = 0,1mm, f_{zmin} = 0,1mm/zub, použití řezné emulze (lépe chladí něž olej) o tlaku cca 4 bary, použitý efektivní nástrojový držák *(hydraulický, tepelný apod.)*.[78]

DIHART AG

Švýcarská firma Dihart AG, výrobce precizních dokončovacích nástrojů, je od roku 1996 součástí skupiny firem KOMET GROUP (KOMET, DIHAT, JEL).[51]

■ **REAMAX**

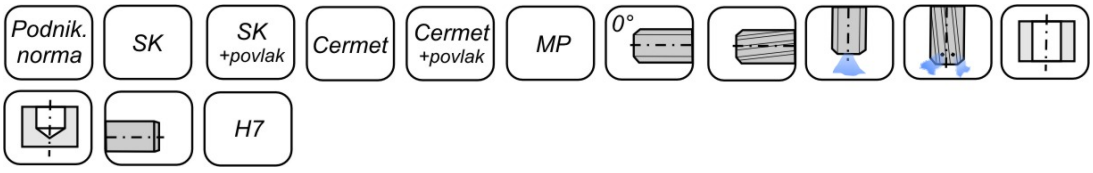


Obr.5.13 Princip upínání výměnné vystružovací hlavice REAMAX[51]

Výměnná vystružovací hlavice s 6, 8 břity (dle aplikovaného průměru), je vyráběna v rozsahu průměrů 12,5 až 40 mm. Kromě konvenčního provedení z SK je hlavice vyráběna z povlakovaného SK (povlak TiN, TiAlN), z cermetu (bez, s povlakem TiAlN). Řezná část je nabroušena na 2/3 tolerance zhotoveného průměru, čímž je zajištěna vysoká stabilita rozměru.[46,51]

Výměna nástroje probíhá bez potřeby nastavovacích nástrojů. Odpadá časově dlouhé a nákladné seřizování průměru. Nástroj umožňuje také aplikaci minimálního množství procesní kapaliny. Prostřednictvím „chladícího" kanálku umístěného ve středu tažného šroubu (s radiálním výstupem) „omývá" procesní médium celou plochu řezu (min. ztráta chladící kapaliny).[51]

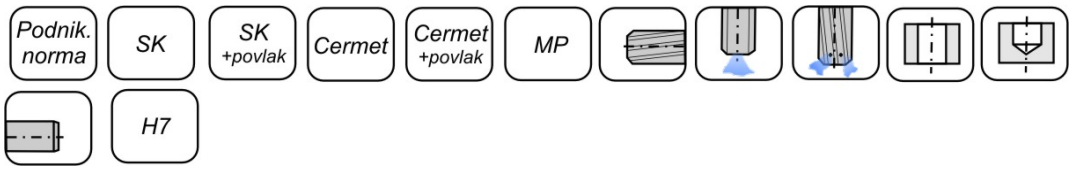
Aplikace cermetu (bez, s povlakem TiAlN) pro vystružování ocelí (nelegovaných, nízkolegovaných, automatových) řeznými rychlostmi v rozsahu 150 ÷ 210 m/min, vystružování litiny (tvárná litina, temperovaná litina) s řeznými rychlostmi v rozsahu 180 ÷ 210 m/min dle konkrétní aplikace.[51]



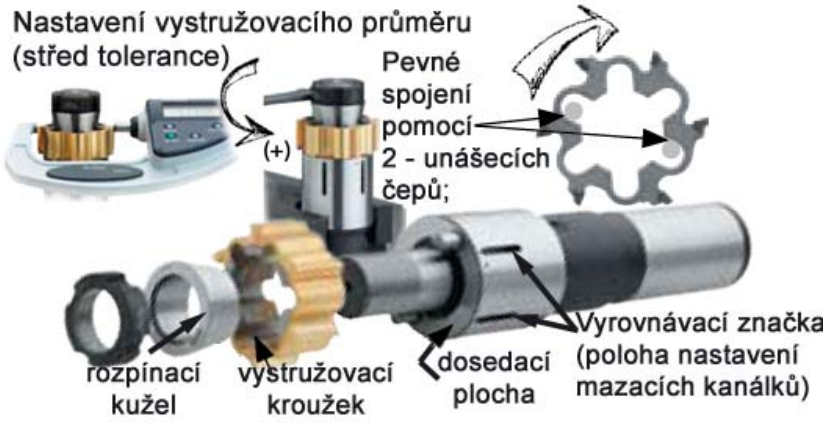
■ **Výměnná vystružovací hlavice**

Obr.5.14 Výměnná vystružovací hlavice [51]

Výměnná vystružovací hlavice s 4, 6 břity (dle aplikovaného průměru) je vyráběna v rozsahu průměrů 9,6 až 60 mm. Kromě konvenčního provedení ze SK je hlavice vyráběna z povlakovaného SK (povlak TiN, TiAlN) a z cermetu (bez, s povlakem TiAlN). Nástroj má vnitřní přívod procesní kapaliny.[51]

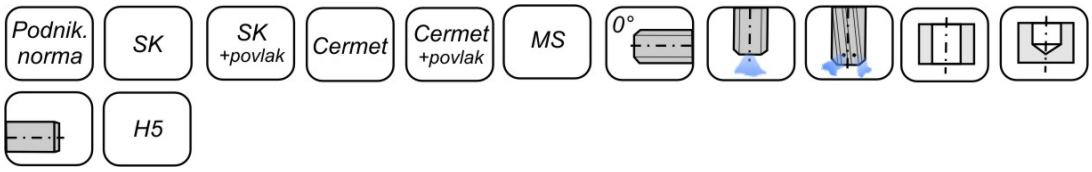


■ **Vystružovací kroužky**



Obr.5.15 Vystružovací kroužky firmy Dihart AG[51]

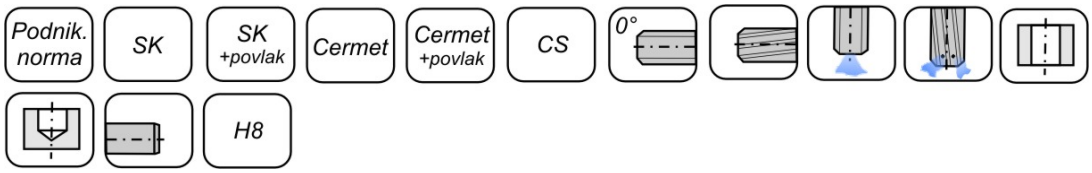
Vystružovací kroužky s 6, 12 břity (dle aplikovaného průměru) jsou vyráběny v rozsahu průměrů 17,6 až 139,6 mm (speciálně až 300 mm). Kromě konvenčního provedení ze SK jsou kroužky vyráběny s aplikací povlakovaného SK (povlak TiN, TiAlN), cermetu (bez, s povlakem TiAlN). Kroužek je schopný přeostření. Výhodou konstrukce je možná kompenzace opotřebení nástroje.[51]



■ **Rozpínací výstružník Monomax**

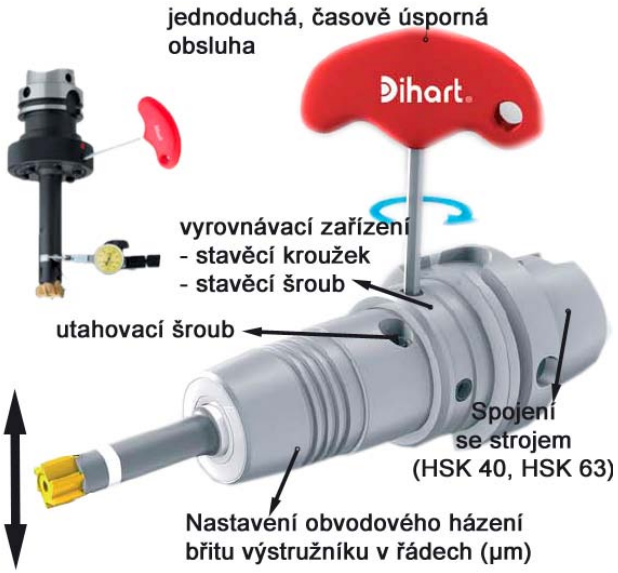
Obr.5.16 Rozpínací výstružník Monomax[51]

Rozpínací výstružníky Monomax s 4, 8 břity (dle aplikovaného průměru) jsou vyráběny v rozsahu průměrů 5,6 až 40,6 mm. Kromě konvenčního provedení ze SK jsou kroužky vyráběny s aplikací povlakovaného SK (povlak TiN, TiAlN), cermetu (bez, s povlakem TiAlN). Vnitřní přívod chladící kapaliny. Provedení s přímými, nebo šikmými zuby v levé šroubovici.[51]



Vyráběné jsou také varianty v pevném provedení bez možnosti kompenzace opotřebení.

■ **Vyrovnávací držák firmy Dihart – DAH** - zajišťující vysokou jakost vystružovaných otvorů.



Obr.5.17 Vyrovnávací držák DAH firmy Dihart[51]

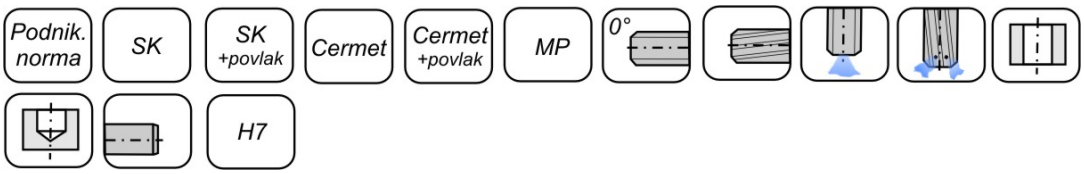
SECO TOOLS AB

Švédská společnost Seco Tools AB patří mezi přední světové výrobce řezných nástrojů pro obrábění kovů. Prostřednictvím více než 21 000 produktů poskytuje kompletní řešení pro téměř všechny oblasti třískového obrábění. Zabývá se výrobou nástrojů pro frézování, soustružení a vrtání. Seco Tools AB má zastoupení ve všech průmyslově vyspělých zemích světa a je vlastníkem certifikátu jakosti ISO 9001, od roku 2006 také normy ISO 14 001:2004. Od roku 1991 má své obchodní zastoupení v České republice – Seco Tools CZ, s.r.o. Brno.[71]

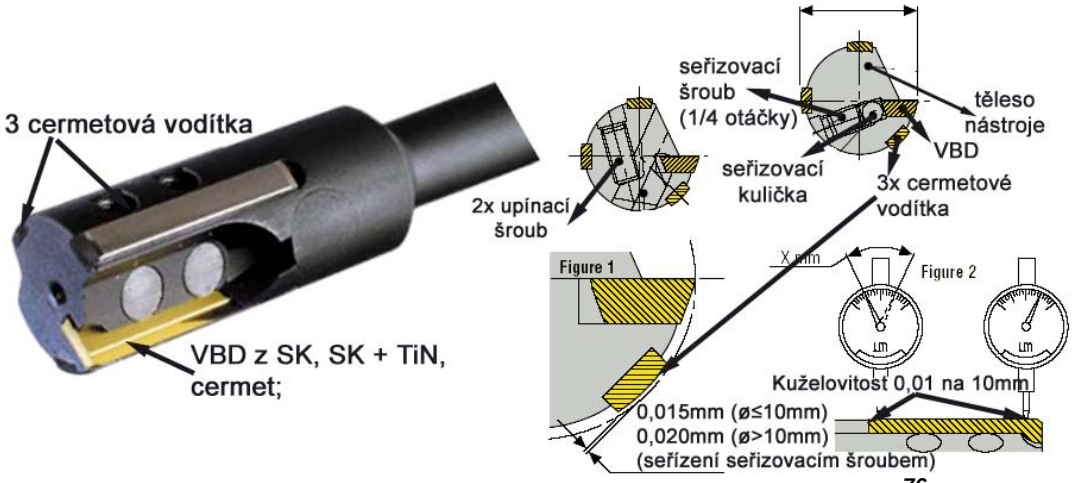
■ **Výstružník s vyměnitelnou hlavičkou názvu PrecimasterT**

Obr.5.18 Vystružovací nástroj PrecismasterT [71,76]

Výstružník s vyměnitelnou vystružovací hlavicí *s 4, 6* pájenými břity (dle průměru) a s přesným patentovaným upínacím systémem. Výměnná vystružovací hlavice nevyžaduje zdlouhavé seřizování. Jednoduché a přesné upnutí je zajištěno pomocí zámku, který je ovládán šroubem na boční straně tělesa nástroje. Konstrukce s vnitřním chlazením umožňuje vystružování průchozích i neprůchozích otvorů. Použité řezné materiály – SK, SK + povlak TiN, cermet, cermet + povlak. Rozsah průměrů 4 až 60 mm, možnost použít celkem tří délek držáku vystružovací hlavice (3, 5 a 8 x D).[71,76]

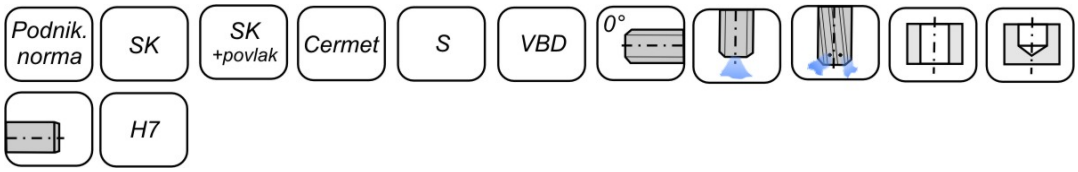


■ **Výstružníky s vyměnitelnou destičkou názvu Bifix**



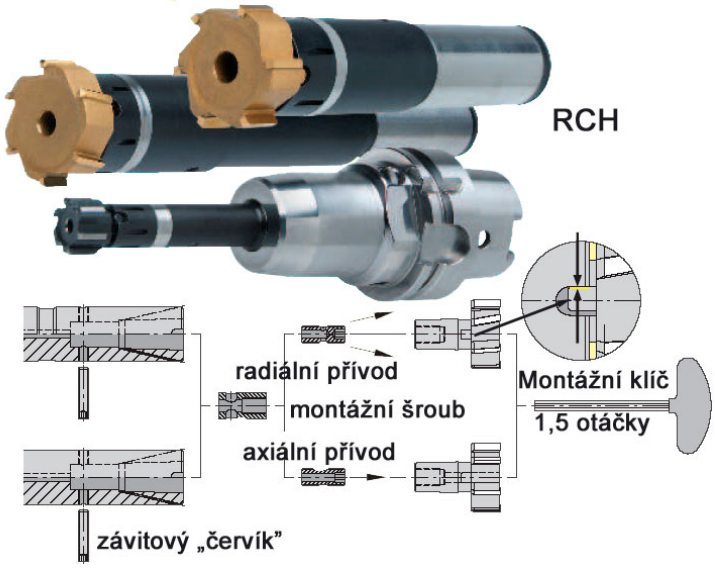
Obr.5.19 Bifix – způsob upnutí a nastavení řezné destičky[76]

Bifix je přesný vystružovací nástroj s třemi cermetovými vodítky a jednou vyměnitelnou řeznou destičkou v provedení z SK, SK+TiN, cermet. Nástroj je vyráběn v rozsahu průměrů 5,9 až 60,5mm. Specifické provedení nástroje s dvojitým ostřím zajišťuje vysokou přesnost rozměru a drsnost vystružené díry až Ra = 0,25μm. Nástroj je možný použít jak pro průchozí, tak pro neprůchozí otvory.[76]



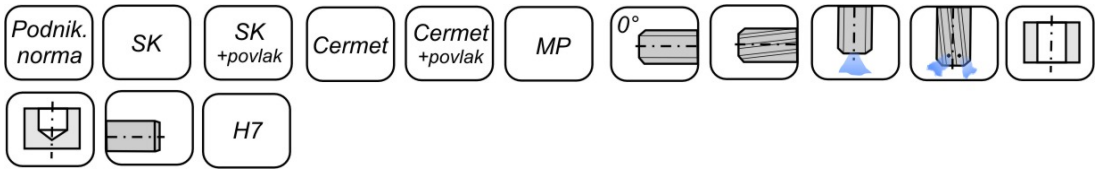
KENNAMETAL

■ **Výměnná vystružovací hlavice RCH**

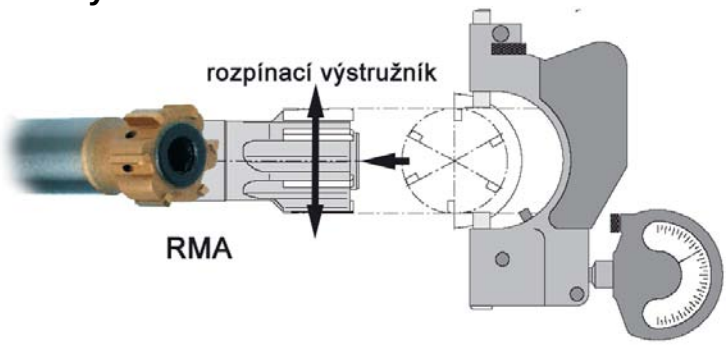


Obr.5.20 Výstružník RCH firmy Kennametal[21]

Modulární vystružovací nástroj RCH s vyměnitelnou vystružovací hlavou s pájenými břity 4, 6 (dle průměru) je vyráběn v rozsahu průměrů 12,6 až 60 mm s přesností IT7. Nástroj umožňuje vystružovat průchozí i neprůchozí otvory (viz. axiální, radiální přívod kapaliny – Obr. 5.20). Jako řezný materiál je použit: SK, SK + PVD povlak (TiN, TiCN, TiAlN), cermet, cermet + povlak (TiCN, TiAlN).[21]

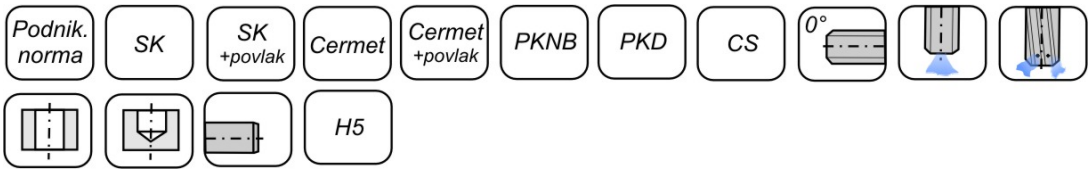


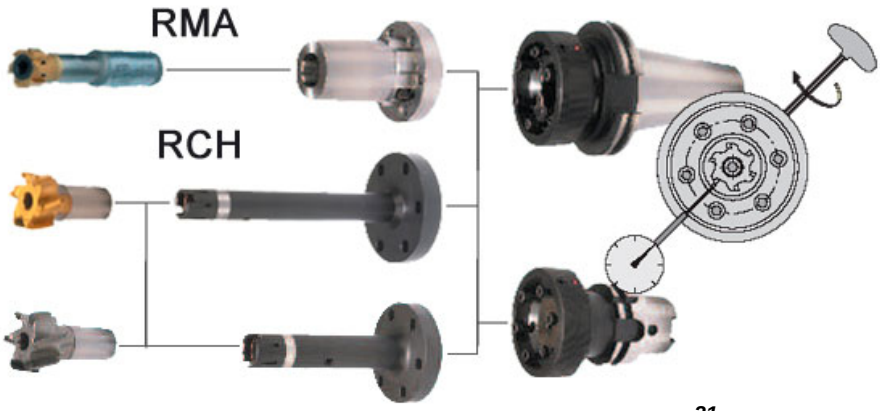
■ **Rozpínací výstružník RMA**



Obr.5.21 RMA rozpínací výstružník[21]

Rozpínací výstružník RMA s pájenými břity 4, 6 (dle průměru) je vyráběn v rozsahu průměrů 5,60 až 32,59 mm s přesností až IT5. Nástroj umožňuje vystružovat průchozí i neprůchozí otvory (viz. axiální, radiální přívod kapaliny – Obr. 5.20). Jako řezný materiál je použit: SK, SK + PVD povlak (TiCN), cermet, cermet + povlak (TiCN), ve speciálních případech PKD. V rozsahu průměrů 9,90 až 45,59 mm pak PKNB.[21]

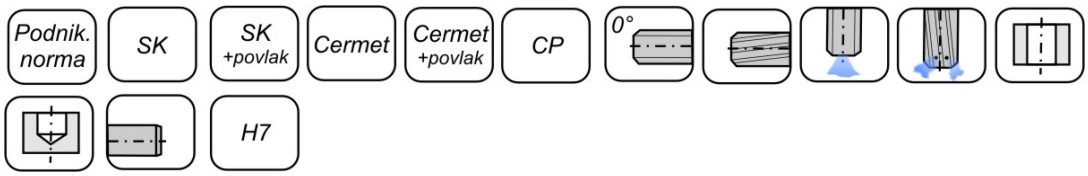




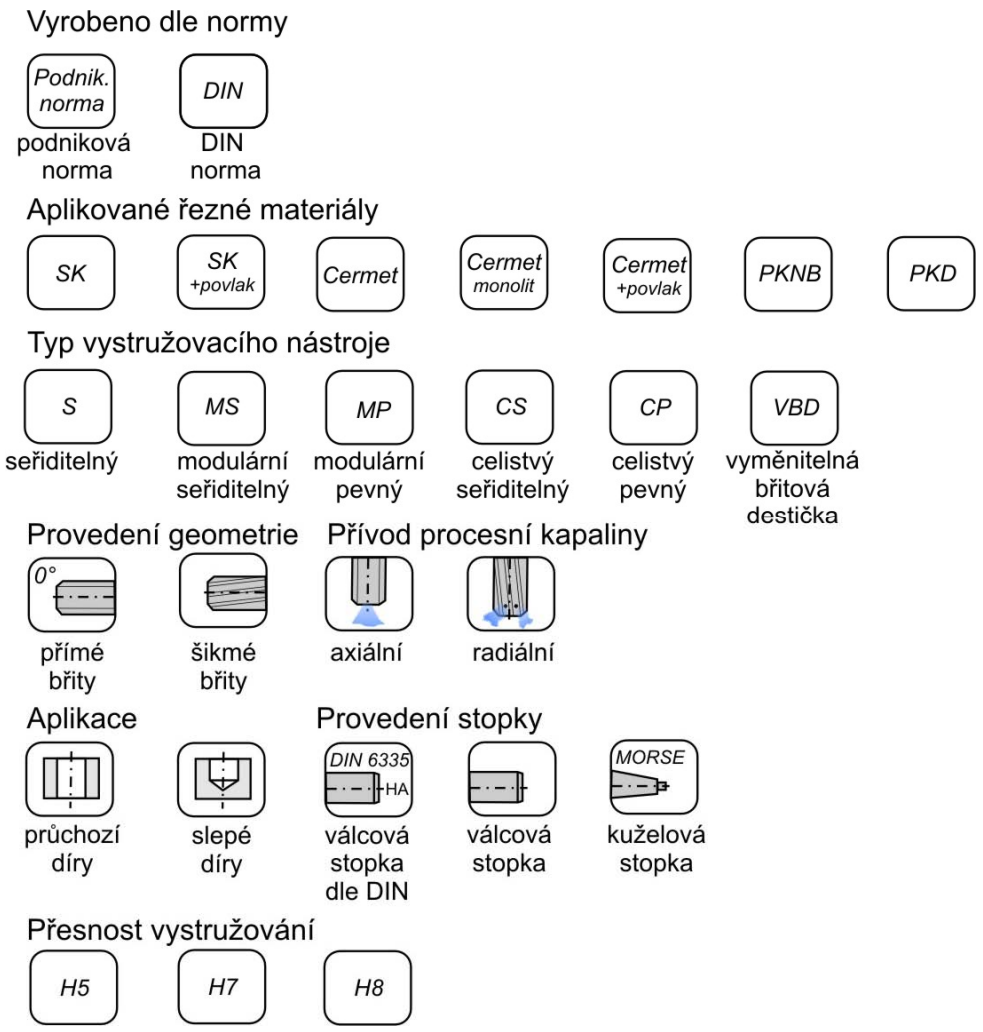
Obr.5.22 Upínání výstružníků RMA, RCH[21]

■ **Monolitní výstružník RMS**

Monolitní výstružník RMS s 4, 6 břity (dle průměru) je vyráběn v rozsahu průměrů 1,4 až 12,70 mm s přesností až IT7 (standardně H7). Nástroj umožňuje vystružovat průchozí i neprůchozí otvory. Jako řezný materiál (monolit) je použit: SK, SK + PVD povlak (TiAlN), cermet, cermet + povlak (TiCN).[21]



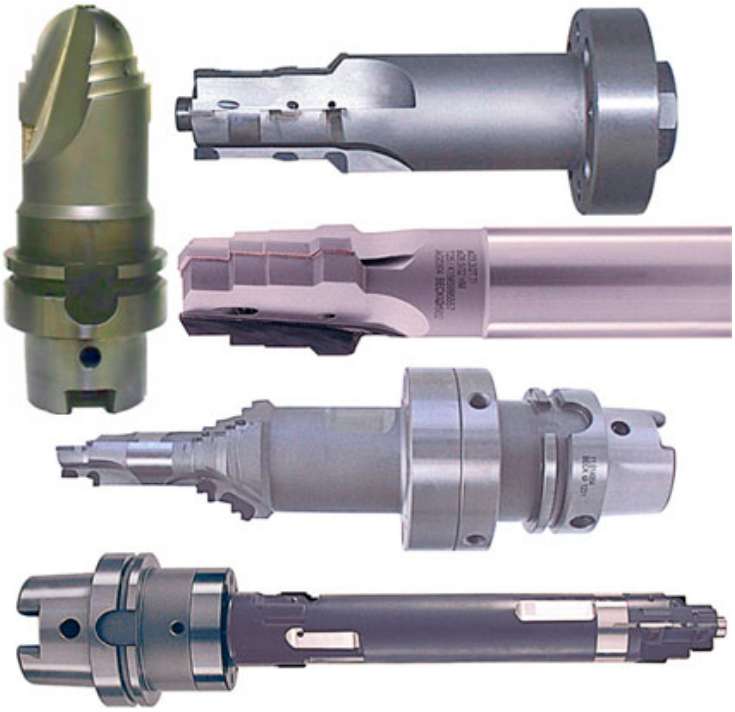
■ **Použité piktogramy**



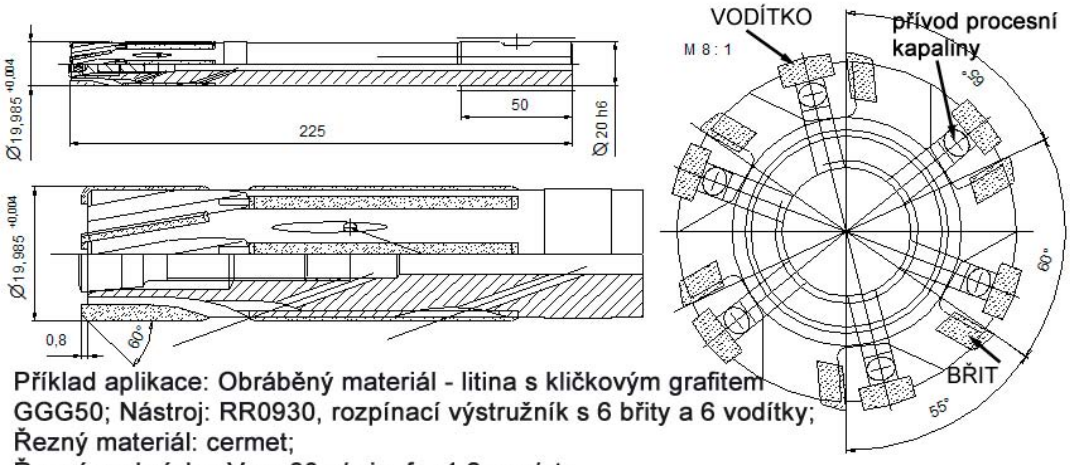
Obr.5.23 Význam použitých piktogramů

5.1.1 Speciální aplikace vystružovacích nástrojů

Kromě standardních katalogových řezných nástrojů se výrobci zaměřují na vývoj a výrobu nástrojů orientovaných na konkrétní (často technologicky složitou) strojírenskou aplikaci svých zákazníků, tzv. „výroba na zakázku". Oboustranná pozitivní investiční příležitost často vede výrobce řezných nástrojů v úzké spolupráci se zákazníkem k vývoji a výrobě speciálních vystružovacích nástrojů. Vývoj a výroba speciálních vystružovacích nástrojů je součástí výrobního programu téměř všech výrobců dokončovacích řezných nástrojů.

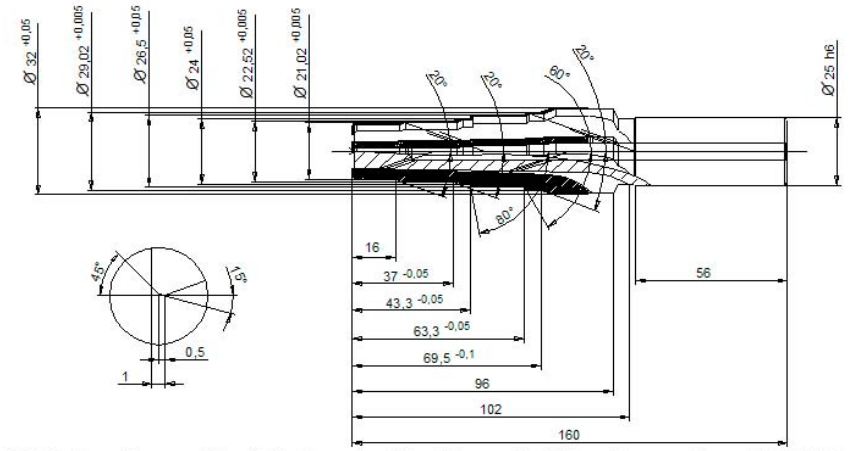


Obr.5.24 Speciální vystružovací nástroje s břity z cermetu firmy Beck[56]



Příklad aplikace: Obráběný materiál - litina s kličkovým grafitem GGG50; Nástroj: RR0930, rozpínací výstružník s 6 břity a 6 vodítky; Řezný materiál: cermet; Řezné podmínky: Vc = 80m/min, f = 1,2 mm/ot;

Obr.5.25 Příklad speciálních výstružníků firmy Beck pro obrábění tělesa ventilu[56]



Příklad aplikace: Obráběný materiál - litina s kuličkovým grafitem GGG40;
Nástroj - RG 0899 - 6 břitů (viz. výkres),
požadovaná drsnost povrchu - Rz = 8 µm; Řezný materiál: cermet;
Řezné podmínky: Vc = 80m/min, f = 0.5 mm/ot;

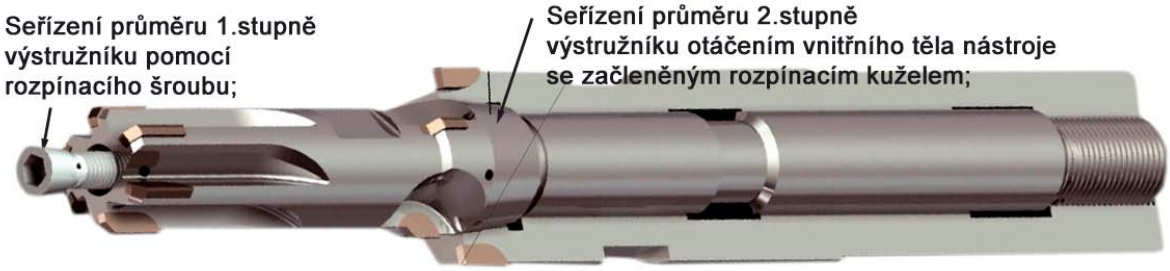
Obr.5.26 Příklad speciálních výstružníků firmy Beck pro obrábění tělesa ventilu[56]

■ **Skládané vystružovací nástroje**

Skládaný výkonný nástroj pro přesné obrábění ojničních ok firmy Mapal je sestaven z hrubovacího a dokončovacího stupně. Konstrukce nástroje spojující oba stupně v jeden nástroj a s využitím upínacího systému HFS musí zajistit optimální provázání s ohledem na rozdíly v typech, tvarech, rozměrech a řezných materiálech jednotlivých stupňů nástroje, vzhledem k jejich určení. Hrubovací část vyžaduje především dostatečnou tepelnou odolnost. Pro dokončování je naopak požadována dostatečná pevnost a rozměrová stálost aplikovaného břitu. Výsledkem dané aplikace je snížení času výměny nástroje, zvýšení kvality otvoru a trvanlivosti řezného nástroje v důsledků dosažených malých a rovnoměrných přídavků pro dokončovací část nástroje.[39]

Obr.5.27 Skládaný nástroj firmy Mapal[39]

Vysoce přesný nástroj se dvěma stupni průměrů nabízí také firma Gühring. Jedná se o vysoce přesný výstružník s pájenými destičkami z PKD, nebo PKNB.[75]



Nástroj s patentovaným seřizováním průměrů dvoustupňového výstružníku a patentovanou cestou chladící kapaliny přímo na řezný břit přes rozšiřující se šroub; Aplikace pájeného PKD, nebo PKNB;

Obr.5.28 Dvoustupňový výstružník firmy Gühring[75]

5.2 Tool Management

Úzká spolupráce výrobců progresivních řezných nástrojů se zákazníkem s sebou přináší participaci výrobců řezných nástrojů na technicko-organizačních prvcích konkrétních strojírenských podniků. Jedná se o tzv. Tool Management (dále jen TM), který se v různých modifikacích stává stále častěji běžnou součástí nabídky renomovaných výrobců řezných nástrojů, ale také jejich obchodních zprostředkovatelů. Ve své podstatě se jedná o smluvní systém služeb (výrobce-zákazník) zajišťující dodání řezných nástrojů (příp. jejich zapůjčení), sledování spotřeby, jejich automatické doplňování umožňující plynulost výroby, nástrojovou údržbu, opravy, ostření, likvidaci, apod. Zatímco sortiment služeb správy nářadí zajišťovaný samotnými výrobci s vlastním sortimentem nástrojů je vhodné využít především při zavádění nové technologie, případně nové výroby (využití odborných služeb a zkušeností). Poskytování obdobných služeb obchodními zprostředkovateli s širším sortimentem nástrojů od různých výrobců je vhodné převážně u výroby zavedené, tzn. nově optimalizované.[32]

Mezi výrobce řezných nástrojů nabízející takovýto program služeb svým zákazníkům již od poloviny devadesátých let patří německá společnost Gühring. TM společnosti Gühring zajišťuje spolupráci při vývoji a možnost hodnocení technologického procesu pracovníky obou firem, ale také distribuci nástrojů v optimálním čase, jejich údržbu, ostření, opravy, odborné konzultace, apod. Výsledkem oboustranné spolupráce se dle pracovníků firmy Gühring projevují ve snížení výrobních nákladů dle konkrétních případů až o 60 %.[32,50]

Tab. 5.1 Základní typy Tool Managementu firmy Gühring[32]

typ	charakteristika
1	Vlastníkem řezného nástroje je uživatel, TM zahrnuje jen technické služby; Každá služba má svou stanovenou cenu, která je hrazena až po jejím poskytnutí; Vhodnost: Výroba s neověřenými výrobními faktory (např.: nově zaváděná);
2	Vlastníkem řezného nástroje je poskytovatel TM; Při odebrání nástroje ze skladu uživatel hradí tzv. směsnou cenu (cena vypočtená z ceny nového nástroje + všechny služby poskytnuté v průběhu životnosti);
3	Vlastníkem řezného nástroje je poskytovatel TM; Poskytnuté služby i cena nástroje jsou účtovány za vyrobenou součást po jejím vyhotovení; Vhodnost: Zavedené a ověřené provozy;

Mezi základní prvky Tool Managementu patří především skladování a správa nástrojů pomocí automatické výdejny nástrojů zajišťující snadnou do-

stupnost nástrojů s ohledem na minimalizaci finančně nákladných skladových zásob.[50] Ve své podstatě se jedná **konsignační sklad** tzn. sklad u „nevlastníka" zboží (odběratele). Do okamžiku odběru je řezný nástroj majetkem zřizovatele skladu, který nese riziko s ním spojené (neprodejnost, pohyb cen, inflace, apod.). Zřizovatel konsignačního skladu jej automaticky doplňuje a výrobní subjekt u nějž je sklad umístěn odebírá řezný nástroj až v okamžiku spotřeby. Tím je zajištěn rychlý a snadný přístup k potřebnému řeznému nástroji, bez nutnosti vázání firemního kapitálu v nástrojových zásobách. Po odběru nástroje je zřizovateli konsignačního skladu zasílána konsignace (seznam odebraných řezných nástrojů) na základě které dochází k vyúčtování (obvykle standardní doba splatnosti) a doplňování zboží. Konsignační sklad se využívá především pro stěžejní nástroje, pro CNC výrobu objemem odběrů významnějších zákazníků.[64]

Tab. 5.2 Potenciál úspor automatického výdeje nástrojů Gühring[50]

1	Snížení nákladů na objednávání pomocí připojení online;
2	Snížení osobních nákladů na pořízení a správu nářadí;
3	Snížení vázaného kapitálu (hodnoty skladu);
4	Optimální dostupnost nářadí ve výrobě (minimalizace strojních prostojů);

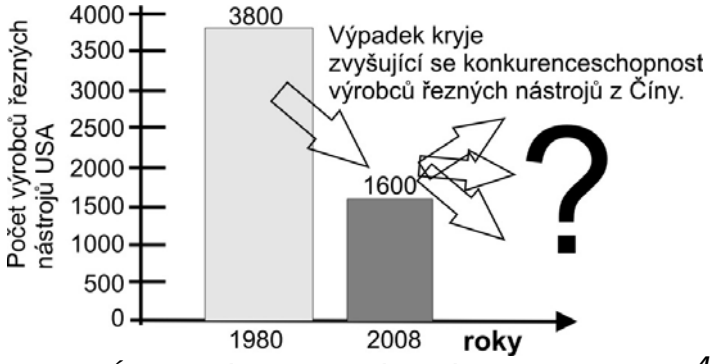
Obr.5.29 Automatická výdejna nástrojů firem Gühring a Kennametal[58]

Tool Management představuje nový racionalizační prostředek v hospodaření s řeznými nástroji a nářadím. Stále se rozšiřující nabídka služeb zejména ze strany výrobců přináší značný potenciál zvýšit technickou i ekonomickou úroveň využití funkčních vlastností moderních obráběcích nástrojů s aplikovanými progresivními řeznými materiály (cermet, PKNB, PKD).[32] I v tomto případě je však zapotřebí pečlivě zvážit, zdali nabízená oboustranná spolupráce přináší pro konkrétního uživatele dostatečný přínos s ohledem na možné negativní „narušení" vlastních výrobních útvarů. Vysoký podíl poskytovatele TM na výrobním procesu strojírenského podniku může v mezních případech vést k značné závislosti a tedy k možným budoucím problémům.

Pramet Prolog – náklady pod kontrolou – ***PŘÍLOHA 6***

6 BUDOUCNOST PŘESNÉHO OBRÁBĚNÍ

Současný globalizovaný trh přináší tvrdou konkurenci firem napříč celým strojírenským odvětví. Přílišná provázanost jednotlivých odvětví strojírenské výroby na existenci automobilových gigantů způsobuje jejich značně oslabenou stabilitu. I v budoucnu budou schopni „přežít" pouze takové subjekty, které dokáží lépe než dříve čelit cyklickým hospodářským problémům (viz. hospodářská krize na přelomu roku 2008, 2009). Také závislost výrobců řezných nástrojů ať přímo, či nepřímo na automobilovém průmyslu je dosti markantní. Přežijí jen ti nejflexibilnější, kteří dokáží podporou výzkumu a vývoje dostát měnícím se požadavkům trhu.



Obr.6.1 Úbytek výrobců řezných nástrojů na trhu USA[4]

Roste tlak na zkracování dodacích lhůt. Více než jindy se řeší cena v kontextu zlepšování poměru cena versus přidaná hodnota nástroje. Podpora výzkumu a vývoje však vyžaduje značné finanční zdroje často přesahující možnosti jednoho výrobce. Dochází tak ke sdružování sil prostřednictvím společenství firem s jasně definovanými cíly pro všechny firemní partnery (např.: Komet group – spojení firem: KOMET, DIHART, JEL, apod.).[4] V tomto ohledu je výhodné korigovat často neefektivní tvořivost konstruktérů, snížit náklady a čas průběžné doby výroby nástroje vyšším podílem nakupovaných částí či konstrukčních skupin řezného nástroje. Zvyšující se podíl subdodávek na hotovém nástroji dává uplatnění velikému množství subdodavatelů, kteří již nenabízejí jen standardní normálie. Výrobci nástrojů musí efektivněji využívat progresivní technologie výroby, kvalifikovanou pomoc sofistikovaných softwarů, optimálně stanovit konkurenceschopnou cenu, provést časovou a technologickou optimalizaci vlastní výroby nástroje.[4] Dle prvotních signálů také nastavená cesta totálního Tool Managementu některých firem přinášející úplnou závislost strojírenského podniku na nástrojové technologii jednoho výrobce není úplně ideální. Negativním způsobem se na trhu s řeznými nástroji projevuje také absence existence skutečně nekomerčního technického periodika s relevantními informacemi a srovnávacími testy nástrojů jednotlivých výrobců.

Budoucnost vývoje dokončovacích nástrojů není podmíněna vývojem nových řezných materiálů, či nových obráběcích technologií. Současné vyráběné nástroje stejného typu jsou, co se týče kvality vystružených otvorů, ve většině případů vzájemně zaměnitelné. Základní a pro zákazníka podstatný rozdíl mezi dostupnými řeznými nástroji tak dnes nebývá primárně kvalita, ale ekonomická efektivita za předpokladu požadované jisté úrovně jakosti vystružovaného otvoru. Primární podstata výzkumu a vývoje spočívá ve snižování

nákladů obrobeného otvoru modifikací mikrogeometrie nástroje, zdokonalováním vytvářených povlaků, změnou konstrukčních částí nástroje s ohledem na rozšíření doposud omezených aplikací existujících řezných materiálů. Pozitivní vyústění těchto snah se promítá ve snížení obráběcích časů, zvýšení produktivity obrábění a životnosti použitého nástroje. Nezávisle na výše ceny vystružovacího nástroje se tak v kontextu s předcházejícím dosahuje konkurenční výhody snižováním ceny vystruženého otvoru a tím snazšího obchodního přístupu k potenciálnímu zákazníkovi (viz. kap.8).

7 CERMETOVÁ VÝMĚNNÁ VYSTRUŽOVACÍ HLAVICE MT3 SPOLEČNOSTI HAM-FINAL

Minimalizace výrobních nákladů zákazníka při dodržení požadovaných funkčních předpokladů vyráběné součásti patří k základním faktorům současného vývoje řezných nástrojů. Ekonomické hledisko vývoje se stává stále důležitějším prvkem i u takových technologií třískového obrábění, kde výsledná kvalita obrobené plochy představuje prioritní výstup daného procesu. V tomto ohledu také vývoj vysoce výkonných vystružovacích nástrojů směřuje ke zvyšování produktivity a snižování výrobních nákladů aplikováním nových konstrukčních řešení vyráběných nástrojů. V souladu se současnou tendencí výroby vysoce produktivních vystružovacích nástrojů vyrobila společnost HAM-FINAL výměnnou vystružovací hlavici MT3. Aplikovaný cermetový řezný materiál společně s vhodným otěruvzdorným PVD povlakem a ojedinělým konstrukčním provedením zajišťuje dobré spojení kvality a ceny vystruženého otvoru.[23]

7.1 Společnost HAM – FINAL s.r.o.

Německo-česká strojírenská firma HAM-FINAL s.r.o. je v současné době jedna z nejvýznamnějších firem zabývajících se přesným obrábění se sídlem na území České republiky. Zabývá se vývojem, výrobou a prodejem moderních nástrojů pro vystružování, vyvrtávání a obrábění velmi přesných otvorů. Specializací firmy je vývoj a výroba nástrojů s řeznou částí ze slinutého karbidu, cermetu a jiných progresivních řezných materiálů, jako jsou PKD a PKNB pro přesné dokončovací obrábění děr o přesnosti rozměru a tvaru do 6 μm.[23]

■ Historie firmy

Technická dovednost a dlouholeté zkušenosti v konstrukční praxi vedly v roce 1991 současného ředitele společnosti pana Stanislava Fialu k založení firmy FINAL. Společnost se svým založením snažila zaměřit na oblast vývoje přesných řezných nástrojů, která byla do roku 1989 v ČR zajišťována prostřednictvím renomovaných zahraničních firem. V roce 1994 firma představila unikátní konstrukci strojních výstružníků s bajonetovým mechanismem výměny řezné části nástroje. Snadná a rychlá výměna nástroje při zajištění vysoké přesnosti a stability výroby zajistila masivní použití tohoto nástroje ve firmě Škoda Auto Mladá Boleslav, která během 7 let spotřebovala cca 40 000 ks

těchto výstružníků. I přes řadu patentů na konstrukci řezných nástrojů a dosažené postavení společnosti jako významného českého dodavatele firma přistoupila na nabídku německé firmy HAM GmbH (HARTMETALL – WERKZEUGFABRICK ANDREAS MAIER, GmbH), která umožnila další rozvoj společnosti a otevřela ji snazší cestu na zahraniční trhy. Roku 1997 tak vzniká stabilní německo-česká společnost HAM-FINAL s.r.o. zaměřená na vývoj, výrobu a distribuci nástrojů pro velmi přesné obrábění děr pro trhy celého světa.[23,30]

■ **Současnost:**

Firma i nadále intenzivně pracuje na splnění zvyšujících se technicko-ekonomických požadavků zákazníků z řad převážně automobilového průmyslu. K vývoji dokončovacích nástrojů přistupuje komplexně. Spolupracuje s výrobci řezných materiálů, dodavateli PVD povlaků (především firmami CemeCon, SHM, apod.), využívá přínosu ze spolupráce s vysokými školami (VUT – FSI Brno, VŠB – TU Ostrava) a dalšími odbornými pracovišti (např.: AV ČR). Téměř 50 % současné produkce je určeno na export. S ohledem na kvalitativní výjimečnost při vystružování děr tvoří pouze 10 % z obratu firmy výroba standardních (katalogových) nástrojů. Zbytek představují speciálně vyrobené nástroje dle požadavků konkrétního zákazníka. Řada projektů vývoje probíhá za podpory mezinárodního programu MŠMT Eureka. K významným zákazníkům patří firmy především z automobilového a leteckého průmyslu, např.: VW, Škoda Auto, GM-Opel, Bosch, TRW, Aero, Letov, apod.[23,30]

■ **Nejvýznamnější nástrojové aplikace z produkce firmy 1997 - 2008**

1. **VRV** - vícebřitý vystružovací nástroj s břity z cermetu pro dokončování průchozích i slepých děr s vnitřním přívodem procesní kapaliny. Stopka nástroje je z oceli nebo slinutého karbidu.

2. **NGV** – jednobřitý vyvrtávací nástroj s vyměnitelnou břitovou destičkou ze SK, cermetu, případně PKD nebo PKNB.

3. **Vystružovací nástroj s břity z PKNB** pro produktivní vystružování kalených ocelí s tvrdostí nad 55 HRC (ekonomicky efektivní náhrada za nákladné broušení). V tomto ohledu je HAM-FINAL jediný výrobce v ČR.

4. Tepelně upínané **výměnné vystružovací hlavice MT**

Originální koncept nástroje s tepelně upnutou výměnnou vystružovací hlavicí disponující vysokou přesností a dalšími výhodami plynoucími z monolitního provedení výměnné vystružovací hlavice (dle provedeného průzkumu - tepelně upínané výměnné vystružovací hlavice vyrábí pouze společnost HAM-FINAL s.r.o.).[53]

Obr.7.1 Nástrojové aplikace firmy HAM-FINAL s.r.o.

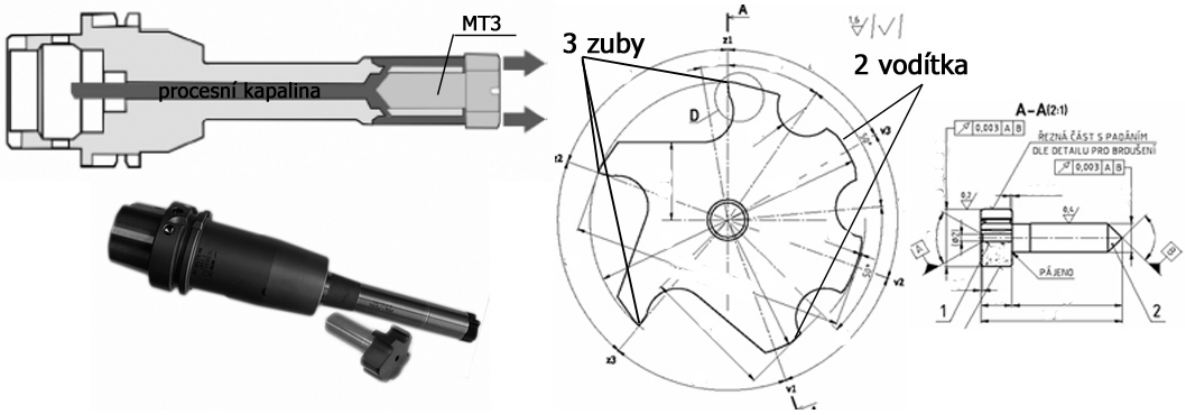
7.2 Etapy vývoje výměnné vystružovací hlavice MT3

Projekt vývoje výměnné vystružovací hlavice MT3 byl zahájen 1.1.2006. Datum zakončení projektu bylo 12.1.2008. Projekt byl řešen firmou HAM-FINAL s.r.o. v rámci dotačního programu Eureka MŠMT ČR. Na vývoji nástroje se podílela také firma CemeCon, světový producent PVD povlaků na řezné nástroje. Samotný vývoj MT3 řešen v těsné spolupráci s předpokládanými uživateli.[53,54]

■ **Shrnutí vývoje rok 2006–2008**

ROK 2006

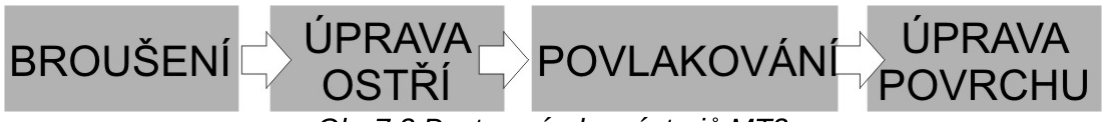
Vytvoření výkresové dokumentace, výroba prototypu I nástroje. Prototyp výměnné vystružovací hlavice MT3 dosahuje požadované jakosti vystružovaného otvoru. Navržená konstrukce a geometrie nástroje je plně funkční. Další směřování vývoje je zaměřeno na zvyšování životnosti (koncepce MT3: životnost = trvanlivost) nástroje, která u prototypu I nedosahuje potřebných hodnot.[53]



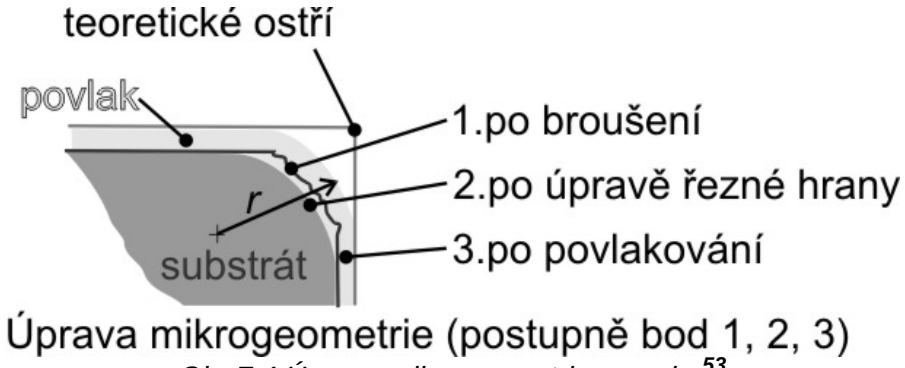
Obr.7.2 Konstrukční a geometrické provedení první etapy vývoje

ROK 2007

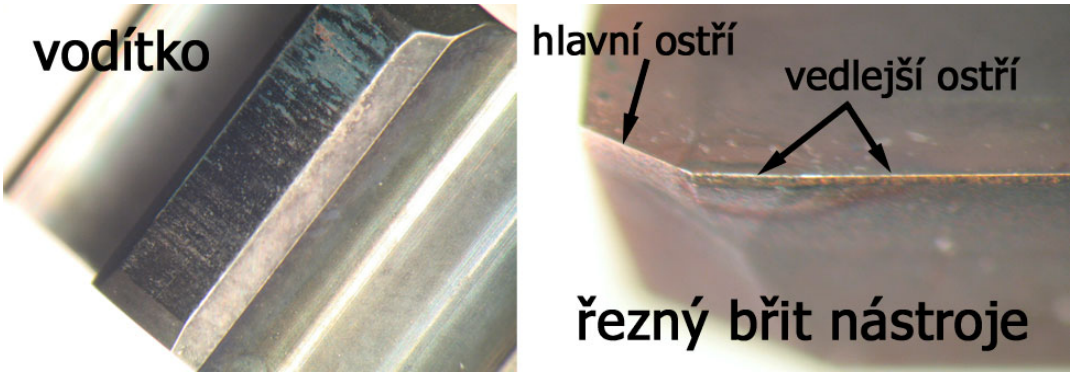
S ohledem na zvýšení životnosti nástroje - výroba prototypu II. Aplikace nových povlaků, úprava mikrogeometrie MT3 (cíl: odstranění nadměrného opotřebení vodítek MT3 – Obr. 7.5). Testované PVD povlaky firmy CemeCon – povlaky HSN^2, HYPERLOX. Úprava mikrogeometrie: pískováním, lapováním, leštěním. Zahájení testů u vybraného uživatele. Během druhého roku řešení projektu byla zvýšena životnost nástrojů v průměru o 25 %.[53]



Obr.7.3 Postup výroby nástrojů MT3



Obr.7.4 Úprava mikrogeometrie povrchu[53]



Obr. 7.5 Opotřebení vodítka a břitu nástroje – prototyp II (před úpravou mikrogeometrie)

ROK 2008

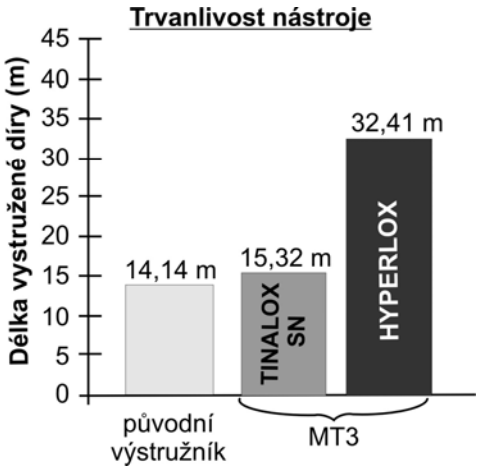
Pokračování dlouhodobých testů na různorodých obráběných materiálech. S ohledem na nezcela uspokojivé výsledky životnosti (trvanlivosti) nástroje navrženo 9 konstrukčních a technologických úprav. Tyto úpravy společně s aplikací výkonného PVD povlaku firmy CemeCon (TINALOX SN, HYPERLOX) zajistily podstatné zvýšení trvanlivosti nástrojů, podložené dlouhodobými testy u zákazníků. Předpokládané požadavky vyvíjené výměnné vystružovací hlavice MT3 byly splněny.[54]

Nástroj: ø17,8 mm (cermet,PVD povlak);

Obráběný materiál: 42 CrMo4 (950 - 1000 MPa);

Požadovaná přesnost: ø17,8 *+0,018 až +0,027mm,*
Ra_{max} - 0,4µm *(Ra_{max} - 0,2µm - po válečkování)*

Řezné parametry:
v_c = 200 m·min^{-1},
v_f = 1430 mm·min^{-1},
f = 0,4 mm;



Obr.7.6 Dosažená průměrná trvanlivost nástroje s ohledem na jednotlivé PVD povlaky

7.3 Technologické a konstrukční hledisko

■ **Řezný materiál** – cermet, (možnost: SK, speciální aplikace PKNB);

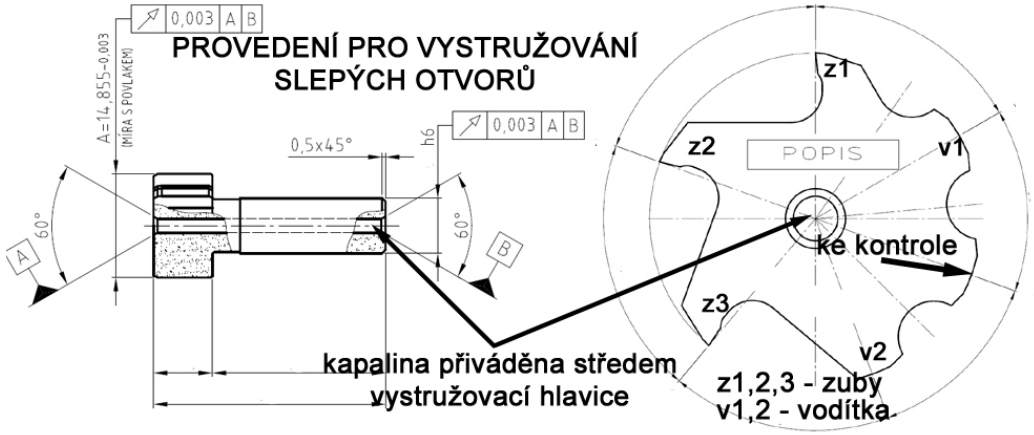
■ **Aplikovaný povlak** – nanokompozitní PVD povlak TiAlN německé společnosti CemeCon. PVD *povlaky firmy CemeCon* - ***PŘÍLOHA 7***, ***PŘÍLOHA 8***

Tab.7.1 Aplikované povlaky firmy CemeCon[45]

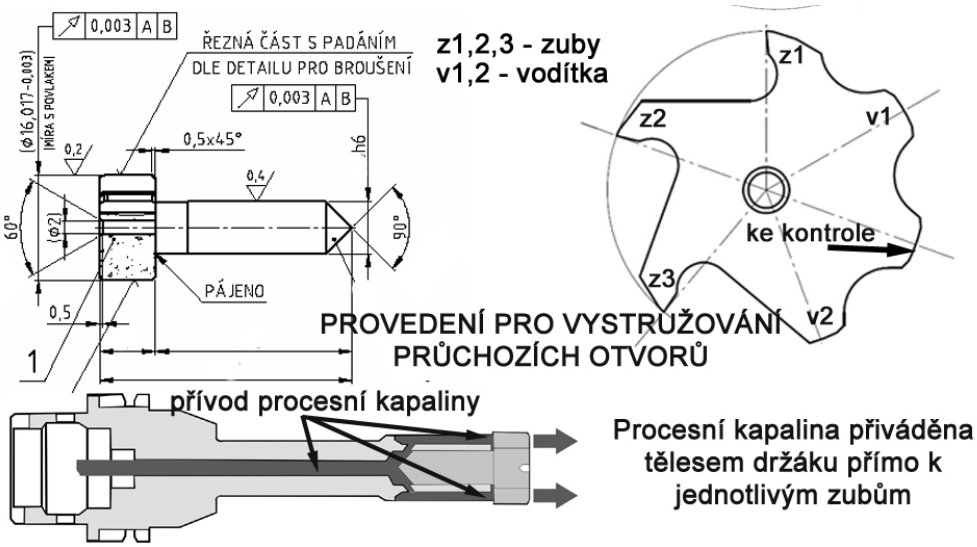
Povlak	Materiál	Struktura	Tvrdost [$HV_{0,05}$]	Max. prac. teplota [°C]	Tloušťka [µm]	
					1)	2)
TINALOX SN[2]	TiAlN	nanokompozit	3 500	1 000	3±1	3±1
HSN[2]			3 800	1 100		4±1,3
HYPERLOX			3 700		3±1	3±1/4,5±1,5

** koeficient tření 0,3; Pozn.: 1) VBD, 2) stopkové nástroje;*

■ **Konstrukční provedení**



Obr.7.7 MT3 hlavice pro slepé otvory



Obr.7.8 MT3 hlavice pro průchozí otvory

Výměnná vystružovací hlavice MT3 obsahuje 3 řezné zuby a 2 vodítka. Optimální rozmístění zubů a vodítek po obvodu hlavice je provedeno na základě výsledků měření řezných sil s využitím počítačového modelování procesu vystružování. Výsledkem je klidný chod bez vibrací zajišťující vysokou přesnost vystruženého otvoru (kruhovitost, válcovitost a drsnost povrchu).

Hlavice je vyráběna ve dvou provedeních. S průchozím osovým otvorem pro přívod procesní kapaliny v aplikaci pro vystružování slepých otvorů. S přívodem procesní kapaliny tělesem nástroje přiváděné po celém obvodu hlavice k jednotlivým zubům i vodítkům pro aplikaci průchozích otvorů.

Držák MT3 hlavice je tepelně upnut do upínače HSK 63. Do tělesa upínače je následně upnuta vystružovací hlavice MT3. Způsob upnutí zajišťuje spolehlivé a přesné ustavení hlavice bez nutnosti zdlouhavého seřizování.

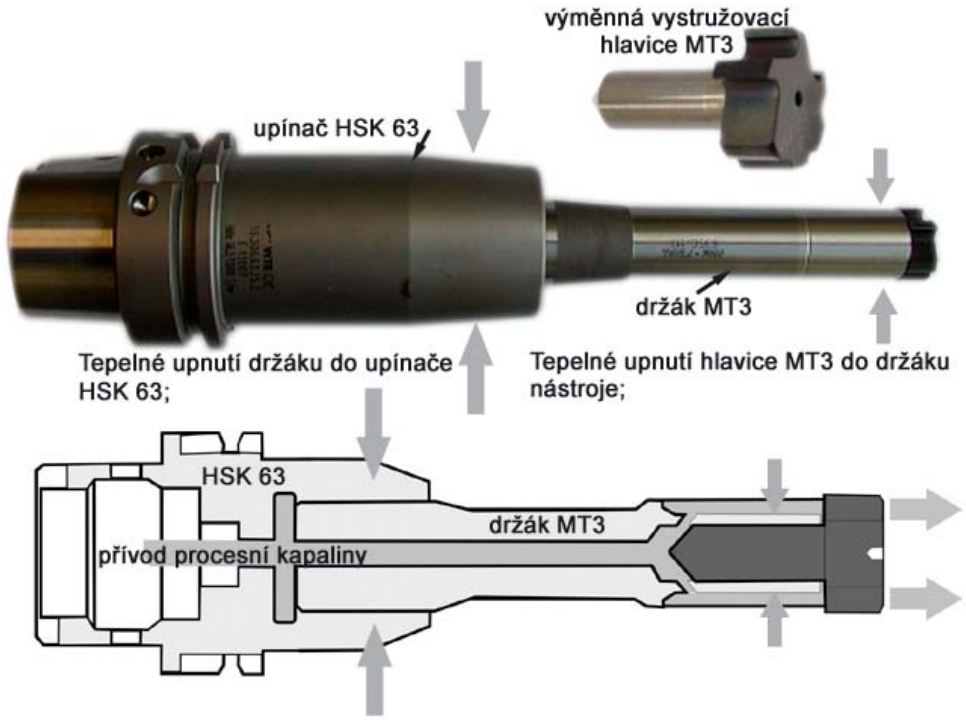
7.3.1 Jedinečnost vývoje

Výměnná vystružovací hlavice MT3 spojuje přednosti jednobřitých a vícebřitých vystružovacích nástrojů v podobě vysoké rozměrové a tvarové přesnosti (jednobřitý výstružník) a vysoké hodnoty produktivity (vícebřitý výstružník). Způsob jednoduché výměny hlavice v tělese nástroje je srovnatelný s VBD v tělese držáku. Využívá tak obdobné výhody jako VBD, především rychlost, snadnost a přesnost výměny řezné části nástroje. Menší průměry hlavice jsou vyráběny v monolitním provedení. Větší průměry s pájenými břity v tělese nástroje.

Způsob tepelného upnutí výměnné vystružovací hlavice v nástrojovém držáku vykazující vysokou přesnost upnutí odlišuje tento nástroj od běžně mechanicky upínaných výměnných vystružovacích nástrojů konkurenčních firem (Precismaster – SECO, Reamax – DIHART, apod.) viz. **PŘÍLOHA 5**.

K přednostem technického řešení vystružovací hlavice MT3 patří:

- dosahovaná přesnost vystruženého otvoru v toleranci **IT5-IT6**,
- dosahovaná drsnost obrobeného povrchu (standardně) **Ra = 0,4 µm**,
- monolitní, nebo pájené (větší rozměry) provedení bez nutnosti seřizování řezných segmentů (obdobné řešení jako u VBD),
- tepelné upnutí do tělesa nástroje zajišťující vysokou tuhost, přesnost (bez nutnosti seřízení házivosti),
- optimální odvod třísek a vyprazdňování vystruženého otvoru,
- vysoká provozní spolehlivost;[53]



Obr.7.9 Konstrukční provedení upnutí MT3 (konstrukce pro vystružování průchozích otvorů)

8 HODNOCENÍ EFEKTIVNOSTI INVESTICE DO VÝMĚNNÉ VYSTRUŽOVACÍ HLAVICE MT3

Výměnná vystružovací hlavice s břity z cermetu a PVD povlakem společnosti HAM - FINAL s.r.o. patří do skupiny vysoce výkonných vystružovacích nástrojů. Tyto nástroje vykazují největší efektu při obrábění velikých sérií výrobků a to zvláště tam, kde výstupní parametry otvorů jsou základem funkční úspěšnosti produktu. Investice do takovýchto nástrojů je s ohledem na běžně používané nástroje vyšší.

Cílem hodnocení efektivnosti investice, je na příkladě vystružování otvorů ve společnosti Sauer Danfoss prokázat, že i přes vyšší pořizovací cenu nástroje je návratnost takovéto investice v podobě úspory výrobních nákladů, při zachování požadované jakosti vystružovaných otvorů významně vysoká.

8.1 Popis situace v Sauer Danfoss

Dlouhodobé testy výměnné vystružovací hlavice MT3 probíhaly u předního výrobce hydraulických systémů a komponent firmy Sauer Danfoss v Považské Bystřici na Slovensku. Společnost Sauer Danfoss se svými dvaceti výrobními závody (po celém světě), ve kterých zaměstnává okolo 9 000 zaměstnanců, patří k celosvětové špičce v oblasti konstrukčních návrhů, výroby a prodeje integrovaných řešení výrobcům mobilních pracovních strojů.[77]

Výrobní závod v Považské Bystřici se zabývá výrobou převodovek, hydrostatických pohonů, zubových hydrogenerátorů, apod.[77] Ve většině případů se

jedná o obrábění dílů, kde právě přesné obrábění děr, patří mezi klíčové parametry ovlivňující funkci produktu. Vysoká přesnost ovlivňující výslednou funkci výrobku je také základním kritériem obrábění otvorů válce hydromotoru (viz. Obr.8.1), kde je nástroj MT3 společnosti HAM - FINAL testován. Do zavedení nástroje MT3 bylo vystružování realizováno vystružovacím nástrojem s jednou VBD (dva břity) německého výrobce Mapal (viz. Obr. 5.8 – Výstružník WP). Největší množství testů s hlavicí MT3 proběhlo při vystružování otvoru ø17,8 mm hloubky 65,48 mm v obráběném materiálu 42 CrMo4.

Obr. 8.1 Válec hydromotoru

Výkres součásti – válec hydromotoru – ***PŘÍLOHA 9***

Tab.8.1 Chemické složení materiálu 42 CrMo4[67]

C [%]	Si [%]	Mn [%]	P [%]	S [%]	Cr [%]	Mo [%]
0,36 – 0,47	max. 0,43	0,56 – 0,94	max. 0,040	max. 0,040	0,85 – 1,25	0,12 – 0,33

* Dle ČSN ocel: 15 142; Materiál zušlechtěn na pevnost 1000MPa;

Vystružování je realizováno na CNC obráběcím stroji GROB s upnutím obrobků po čtyřech kusech pomocí hydraulických přítlačných segmentů (2 palety na obráběcí stroj).

Obr.8.2 Obráběcí stroj CNC GROB, způsob upnutí obrobku na stroji

Na počátku řešení problému obrábění válce hydromotoru s nástroji MT3 byly stanoveny tyto požadavky:

- Zvýšení provozní spolehlivosti.
- Zvýšení životnosti nástroje (resp.trvanlivosti nástroje).

8.1.1 Provozní spolehlivost

Nástroj firmy Mapal s mechanicky upnutou 1 VBD bylo nutné seřizovat i během trvanlivosti. Po vložení nového, seřízeného nástroje do stroje docházelo v některých případech po několika kusech k výrobě otvoru mimo stanovenou toleranci. S ohledem na tuto skutečnost je nutné nástroj vyndat a znovu seřídit. Takovéto seřízení probíhá s přihlédnutím na kvalitu konkrétní dávky, stav nástroje a schopnost obsluhy cca dvakrát až pětkrát za životnost. Obsluha je tak kromě upínání obrobků po většinu doby plně vytížena upínáním a seřizováním nástroje. Tento fakt významně zhoršuje možnost zavedení vícestrojové obsluhy a tím možnou úsporu nákladů v podobě mzdových nákladů připadajících na jednoho pracovníka.

8.1.2 Dosahovaná životnost nástroje

Aplikovaný výstružník s jednou VBD (dvěmi břity) společnosti Mapal dosahuje průměrné životnosti 48 kusů válců hydromotoru, tzn. průměrné trvanlivosti 24 kusů na jeden břit VBD (14,14 m délky vystružené díry). Životnost držáku VBD se pohybuje s ohledem na postupné opotřebování na držáku umístěných vodítek a lůžka pro VBD průměrně 6 kusů za rok. Možná renovace držáku se s ohledem na navýšení ceny nevyplácí.

8.2 Technické zhodnocení aplikace MT3

Požadovaná rozměrová přesnost vystružovaných děr je stanovena s ohledem na zaručenou montáž v tolerančním stupni IT5. Stanovená drsnost povrchu po válečkování je Ra = 0,2 μm. Tomu dle zkušeností pracovníků firmy odpovídá mezní hodnota po vystružování Ra = 0,4 μm. Tolerance kruhovitosti je 0,01 mm, tolerance válcovitost 0,02 mm.

Tab.8.2 Rozměry vystružované díry[53]

Průměr + tolerance [mm] (dle výkresu)	**Požadované CPK [mm] (kontrola výroby)**	**Zvyklost ve výrobě [mm] (zaručená montáž)**
$17{,}8^{+0{,}031}_{+0{,}008}$	$17{,}8^{+0{,}029}_{+0{,}016}$	$17{,}8^{+0{,}027}_{+0{,}018}$
To odpovídá		
IT 8	**IT 7 – IT 6**	**IT 5**

*****dosažená přesnost v tolerančním stupni IT5 zaručuje 100 % smontovatelnost bez potřeby časově náročného členění dle výsledných úchylek rozměrů a následné vzájemné montáže;

■ **Stanovené omezující parametry**

Průměr [mm]	Drsnost – Ra [µm]	Kruhovitost [mm]	Válcovitost [mm]
17,818 – 17,827	0,4	0,01	0,02

■ **Pracovní podmínky testů v Sauer Danfoss**

Stroj	CNC GROB
Upnutí nástroje	6355 – 100 SK50 (tepelné prodloužení)
Chlazení	středem nástroje, tlak 50 barů
Typ nástroje	MT3, cermetová hlavice, - testované povlaky: **TINALOX SN, HYPERLOX**
Počet zubů	3 (+ dvě cermetová vodítka)
v_c [m·min^{-1}]	200 (n = 3577 min^{-1})
v_f [mm·min^{-1}]	1430 (f = 0,4 mm) – do řezu, 14 000 (f = 3,9 mm) – výjezd z řezu;
a_p [mm]	0,08
Hloubka obrábění [mm]	65,48
Obráběný mater	42 CrMo4

■ **Příprava otvoru**

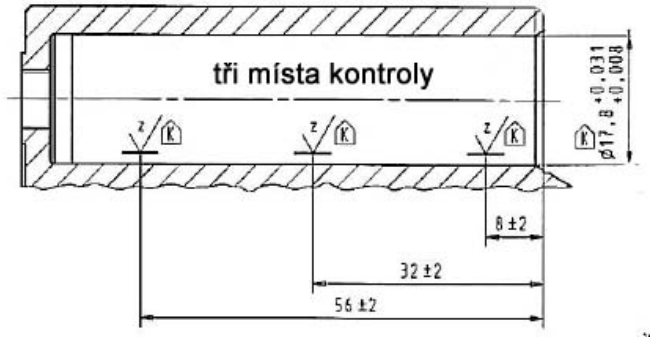
Otvor je předvrtán šroubovitým vrtákem Ø 17,5 mm s VBD firmy SANDVIK COROMANT (řezné podmínky: v_c = 155 m·min^{-1}, f = 0,11 mm).

Následně dochází k zpřesnění otvoru pomocí vyvrtávací tyče HAM-FINAL Ø 17,65 mm osazené VBD firmy SANDVIK COROMANT (v_c = 200 m·min^{-1}, f = 0,4 mm).

■ **Postup měření**

První měření otvoru provádí obsluha přímo u stroje dutinoměrem s číselníkovým úchylkoměrem. Měří se každý kus a to v pořadí 3, 6 a 9 díra.

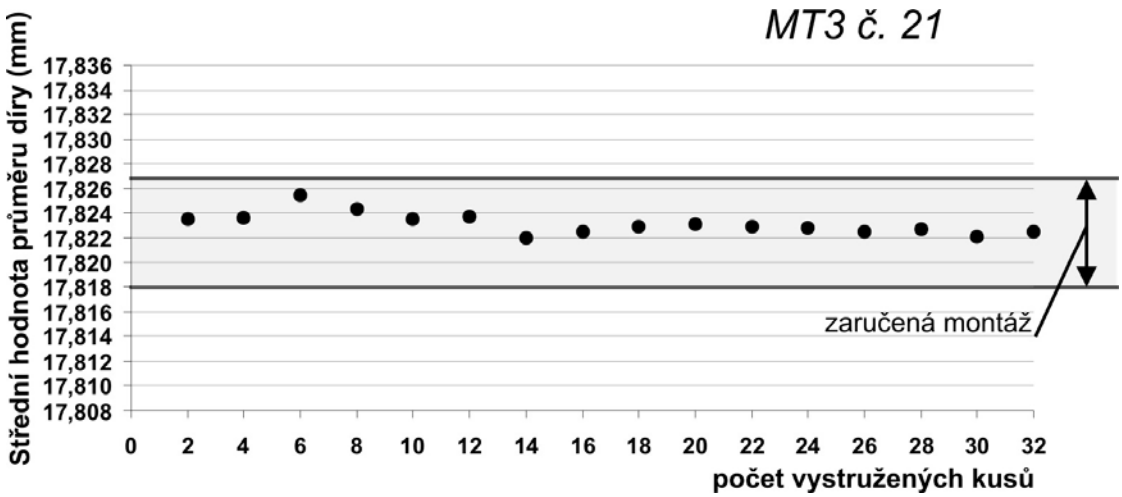
Na pracovišti kontroly je následně prováděna celková kontrola o četnosti každý druhý kus hotového válce hydromotoru na tří souřadnicovém měřícím stroji. Dále je na pracovišti kontroly měřena drsnost povrchu přístrojem: Perthometer S3P firmy Mahr. Kontrola drsnosti je prováděna u každého kusu a to ve 3, 6 a 9 díře. Jeden otvor je kontrolován ve třech místech viz. Obr. 8.3.



Obr. 8.3 Způsob kontroly rozměru ve třech místech od začátku otvoru

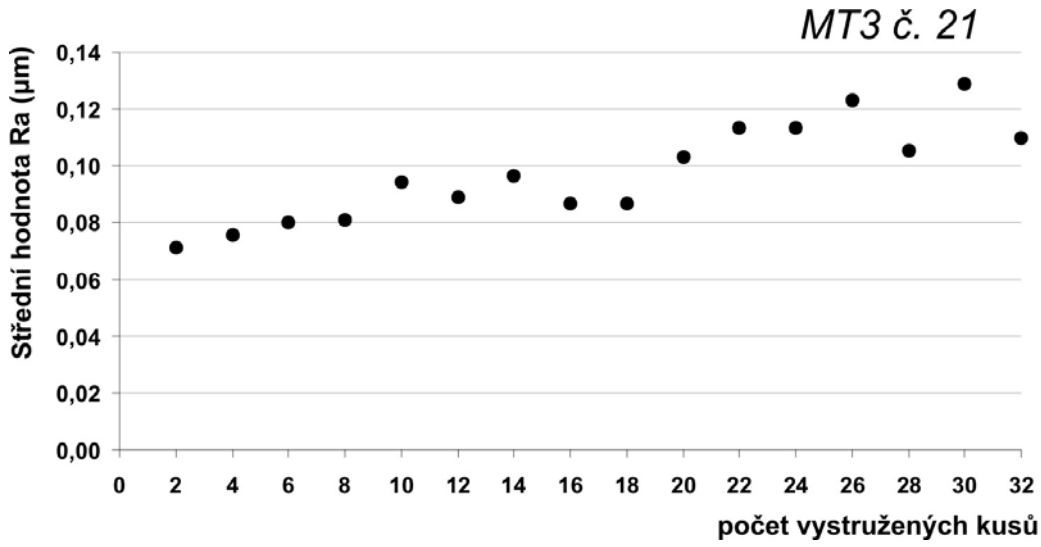
■ **Grafické zpracování dosažených výsledků**

Hodnoty rozměru a drsnosti povrchu dosahují mezních hodnot při počtu kusů odpovídajících trvanlivosti nástroje (viz.podkap. 8.2.1). Pro názornost uvedeny grafy dosahované střední hodnoty průměru otvoru a parametru Ra drsnosti povrchu dosažené výměnnou vystružovací hlavicí MT3 č. 21. (pozn.: rozsah na ose x nedopovídá počtu děr dosažených na konci trvanlivosti nástroje).



Obr. 8.4 Průměrná hodnota rozměru dosažená MT3 č. 21

■ **Grafické zpracování - průměrná hodnota Ra**



Obr. 8.5 Průměrná hodnota Ra dosažená MT3 č. 21

Příklad struktury povrchu Mapal versus MT3 – ***PŘÍLOHA 10***

8.2.1 Stanovení dosažené životnosti nástroje

Z důvodů zvyšování životnosti testovány dva druhy PVD povlaků firmy CemeCon (povlak **TINALOX SN** a **HYPERLOX**). S ohledem na průměrnou dosahovanou životnost původního vystružovacího nástroje firmy Mapal je stanoveno kritérium životnosti následovně viz. Tab.8.3.

Stanovení průměrné hodnoty životnosti (trvanlivosti) provedeno na základě náhodného výběru 27 dosažených životností (trvanlivostí) nástrojů s povlakem TINALOX a HYPERLOX. Získaný náhodný výběr je statisticky vyhodnocen s použitím statistického softwaru Minitab 15 (viz. **PŘÍLOHA 11**).

Tab.8.3 Životnost nástroje v kusech vyrobených válců hydromotoru

1 – 29 kusů	30 – 40 kusů	41 – 60 kusů
NEVYHOVUJE	VYHOVUJE	POŽADAVEK VÝVOJE

Tab. 8.4 Výsledky – TINALOX SN

Pořadové	MT3	Životnost	Vřeteno	
číslo	Hlava č.	(ks)	č.1	č.2
4	**299T**	**6**		x
3	**295T**	**6**	x	
14	**300T**	**6**	x	
22	**275T**	**8**		x
18	**277T**	**10**	x	
19	**297T**	**18**		x
7	**295T**	**20**	x	
8	**299T**	**22**		x
25	**281T**	**22**		x
35	**296T**	**24**		x
34	**291T**	**24**	x	
27	**293T**	**26**		x
32	**287T**	**26**	x	
26	**290T**	**26**	x	
33	**280T**	**26**		x
10	**287T**	**26**		x
31	**285T**	**28**		x
30	**286T**	**28**	x	
20	**301T**	**28**		x
9	**283T**	**30**	x	
16	**288T**	**38**		x
2	**294T**	**40**		x
1	**289T**	**40**	x	
28	**298T**	**40**	x	
29	**289T**	**44**		x
17	**282T**	**46**	x	
23	**302T**	**50**	x	

Tab. 8.5 Výsledky – HYPERLOX

Pořadové	MT3	Životnost	Vřeteno	
číslo	Hlava č.	(ks)	č.1	č.2
15	**266H**	**2**		x
51	**272H**	**12**	x	
52	**464H**	**20**		x
24	**261H**	**22**	x	
46	**252H**	**24**		x
21	**262H**	**36**		x
11	**261H**	**50**	x	
55	**260H**	**50**		x
62	**254H**	**50**	x	
42	**274H**	**50**		
13	**267H**	**50**	x	
43	**251H**	**50**		
54	**248H**	**50**		x
53	**265H**	**54**	x	
39	**253H**	**54**		
36	**247H**	**54**		
41	**278H**	**56**		x
50	**266H**	**56**		x
40	**277H**	**56**	x	
12	**262H**	**60**		x
45	**259H**	**60**	x	
44	**273H**	**60**		x
49	**249H**	**60**	x	
5	**270H**	**60**		x
6	**271H**	**60**	x	
48	**258H**	**66**	x	
47	**257H**	**66**		x

*Pozn.: Většina nástrojů vyřazena z důvodů vysoké hodnoty Ra.

■ **Statistické vyhodnocení – pro spolehlivost 95 %** (α = 0,05)

Na základě provedeného testu o odlehlých pozorováních je možné konstatovat, že dosažené životnosti nástroje – 2, 12, 20, 22, 24 s aplikovaným povlakem HYPERLOX jsou způsobeny „něčím jiným" něž náhodnými chybami (např.: poškozením vlivem odcházející třísky apod.) a lze je tedy se spolehlivostí 95 % vyřadit jako hrubé chyby.

Na základě provedených testů normality (Ryan-Joiner, Anderson-Darling, Kolmogorov-Smirnov[27]) lze se spolehlivostí 95 % konstatovat, že se v případě obou náhodných výběrů jedná o normální rozdělení.

Bodový odhad střední hodnoty a směrodatné odchylky náhodného výběru.[22]

$$\bar{x} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} x_i \qquad (8.1)$$

$$s = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} \sqrt{(x_i - \bar{x})^2} \qquad (8.2)$$

Tab. 8.6 Výsledné hodnoty bodového odhadu po dosazení do vzorců 8.1 a 8.2

	x_i [ks]	n [ks]	$\bar{x}$ [ks]	$t_{n-1}(1-\alpha/2)$	s
TINALOX SN	Dosahované životnosti jednotlivých MT3 – viz. Tab. 8.4 a 8.5;	**27**	**26**	**2,056**	**12,370**
HYPERLOX		**22** (po odstranění odlehlých hodnot)	**55**	**2,080**	**6,668**

Intervalový odhad střední hodnoty μ při neznámém rozptylu σ^2 na hladině významnosti 1 – α = 0,95 (spolehlivost 95 %)[27]

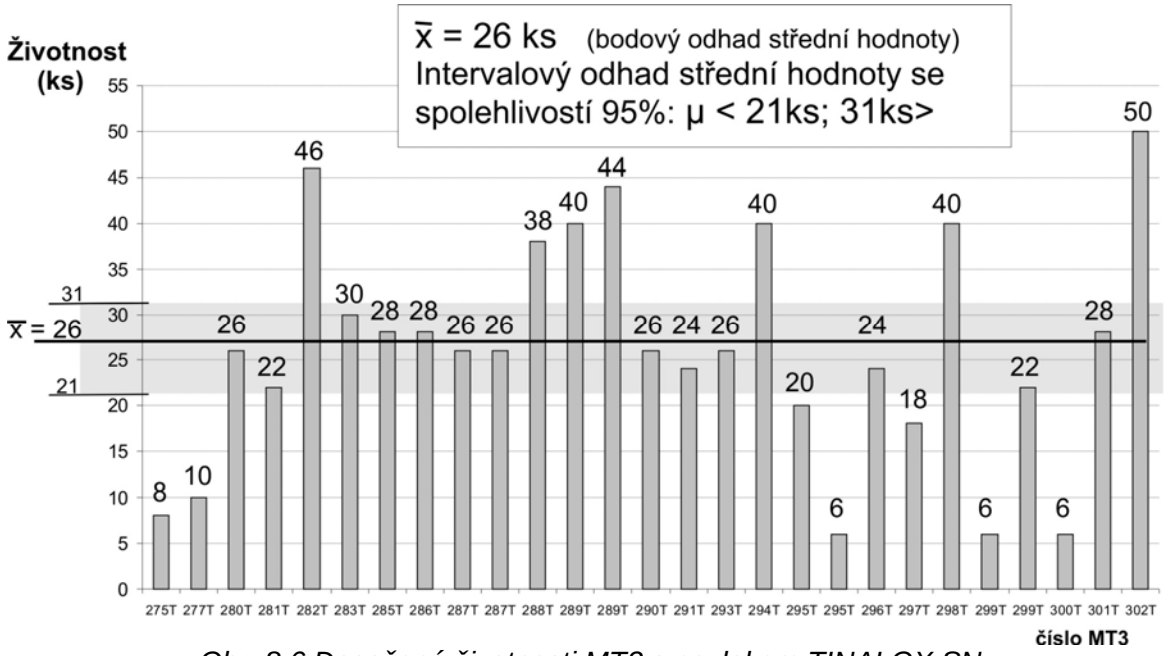
$$\mu \in \langle \bar{x} - \frac{s}{\sqrt{(n-1)}} \cdot t_{n-1}(1-\frac{\alpha}{2}); \bar{x} + \frac{s}{\sqrt{(n-1)}} \cdot t_{n-1}(1-\frac{\alpha}{2}) \rangle \qquad (8.3)$$

- kde $t_{n-1}(1-\alpha/2)$ je (1-α/2) kvantil studentova rozdělení s n-1 stupni volnosti;

Tab. 8.7 Intervalový odhad střední hodnoty se spolehlivostí 95% (8.3)

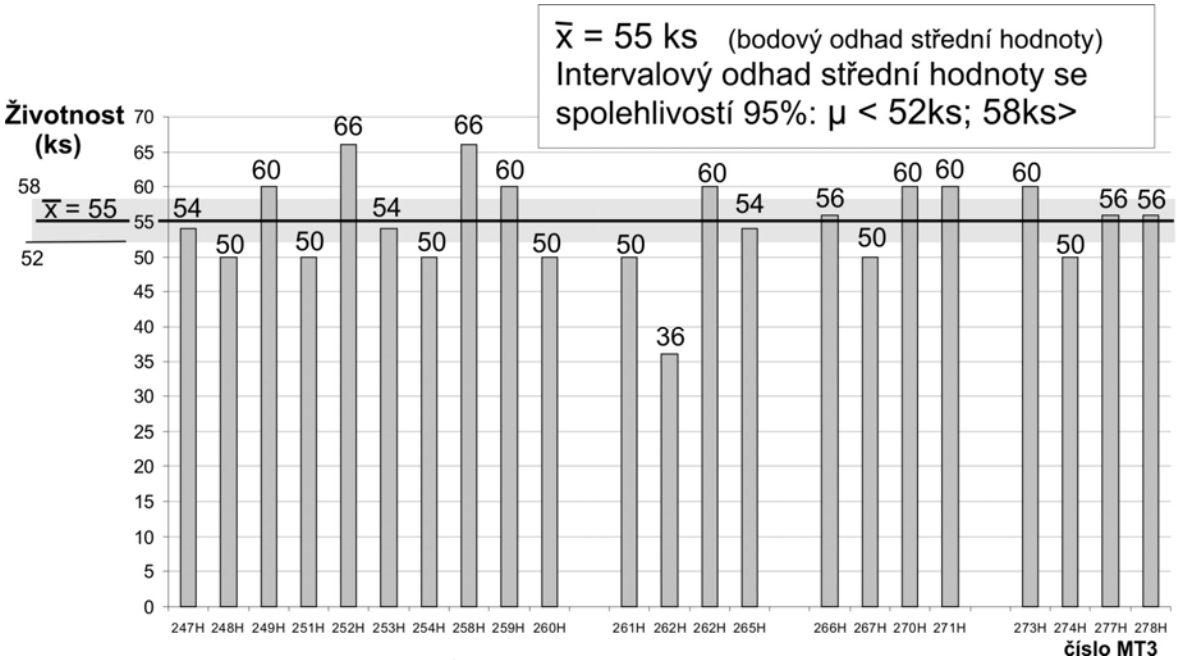
Povlak	**μ <>**
TINALOX SN	<21; 31>
HYPERLOX	**<52; 58>**

■ **Grafické zpracování dosažené životnosti s povlakem TINALOX SN**



Obr. 8.6 Dosažené životnosti MT3 s povlakem TINALOX SN

■ **Grafické zpracování dosažené životnosti s povlakem HYPERLOX**



Obr.8.7 Dosažené životnosti MT3 s povlakem HYPERLOX

■ **Porovnání dosažených hodnot životnosti**

Na základě testování statistických hypotéz proveden test významnosti rozdílu mezi středními hodnotami. Se spolehlivostí 95 % je možné konstatovat, že dosažená životnost MT3 s aplikovaným povlakem HYPERLOX je větší než u povlaku TINALOX SN.

Dále je možné na základě testů významnosti rozdílu mezi střední hodnotou životnosti dosaženou s povlakem HYPERLOX a požadovaným kritériem životnosti nástroje 41 ks konstatovat, že se spolehlivostí 95 % bude dosažená životnost MT3 s povlakem HYPERLOX vyšší.

Postup statistické analýzy hodnocení životnosti povlaků – ***PŘÍLOHA 11***

8.3 Ekonomické zhodnocení aplikace MT3

Firma Sauer Danfoss patří mezi výrobní provozy, kde náklady do řezných nástrojů v poměru k ceně produktu jsou značně veliké (standardně 3-6 %, zde až 24 %). Roční plán výroby válců hydromotorů je 140 000 ks.

Tab. 8.8 Základní fakta pro porovnání obou variant nástrojů

Aplikovaný řezný nástroj	**MT3 (povlak HYPERLOX)**	**Jednobřitý výstružník Mapal**
cena řezné části [Kč/ks]	**2 500 (hlavička)**	890 (VBD)
cena držáku nástroje [Kč/ks]	**8 000**	35 600
průměrná trvanlivost řezné části [ks]	**55**	24
průměrná životnost řezné části [ks]	**55**	48
počet držáků nástroje za rok [ks/rok]	**2**	6
zmetkovitost [%]	**0,8**	1,4
roční plán výroby hydromotorů [ks/rok]	**140 000**	140 000
roční plán výroby s ohledem na zmetkovitost [ks/rok]	**141 120**	141 960
cena strojní hodiny [Kč/hodinu]	**2 670**	2 670
cena strojní minuty [Kč/minutu]	**44,5**	44,5
čas upínání a seřizování vztažený na jednu trvanlivost řezné části nástroje [min]	**3**	20

■ Posouzení nástroje pouze na základě pořizovacích nákladů

Předběžné porovnání nástrojů „pouze" na základě vynaložených ročních pořizovacích nákladů na nástroje, s ohledem na známou hodnotu životnosti, bez zahrnutí časového hlediska a ceny práce je značně zavádějící (viz. Tab.8.9).

Tab.8.9 Porovnání nástrojů na základě ročních pořizovacích nákladů

Nástroj	MT3 (HYPERLOX)	Jednobřitý výstružník Mapal
Počet kusů za rok [ks/rok] (140 000 · zmetkovitost)	141 120	141 960
Počet řezných částí za rok [ks/rok] ((140 000 · zmetkovitost)/životnost)	2566	2 958
Náklady na řezné části nástroje za rok [Kč/rok] ((140 000 · zmetkovitost)/životnost)·cena	6 415 000	2 632 620
Náklady na držáky nástroje za rok [Kč/rok] (počet držáků za rok · cena držáku)	16 000	213 600
Celkové náklady na nástroj za rok [Kč/rok] (řezná část + držák)	**6 431 000**	2 846 220
Roční úspora pořizovacích nákladů [Kč/rok]		**3 584 780**

Na základě ročních pořizovacích nákladů je nákladově výhodnější výstružník s jednou vyměnitelnou břitovou destičkou firmy Mapal. Roční úspora pořizovacích nákladů by v takovémto případě činila 3 584 780 Kč.

S ohledem na objektivní posouzení je však žádoucí provést zhodnocení celkových nákladů na vystružení jednoho kusu válce hydromotoru. Konstrukční provedení výměnné vystružovací hlavice MT3 s přesným a časově méně náročným upnutím a seřízením nástroje umožňuje dosáhnout vyšší produktivity vystružování a tím úsporu nejen plánovaného času, ale také operačních nákladů (viz. Obr. 8.8).

Obr.8.8 Způsob kalkulace ceny vyráběného produktu

Aplikace MT3 vytváří potenciál pro možné zvýšení produktivity výroby pomocí:

Vyšší produktivita je dána	Aplikace MT3
- zvýšením řezné rychlosti	- stejná řezná rychlost (200 $m \cdot min^{-1}$)
- zvýšením posuvové rychlosti	**- větší posuvová rychlost při výjezdu z otvoru**
- zvýšením spolehlivosti nástroje	**- menší dosažená zmetkovitost**
- zvýšením trvanlivosti nástroje	**- větší dosažená trvanlivost MT3**
- snížením času výměny nástroje	**- menší čas vlivem tepelného upínání**
- snížením času seřízení nástroje	**- menší čas vlivem tepelného upínání**

8.3.1 Porovnání celkových operačních výrobních nákladů

Operační výrobní náklady na vystružení jednoho kusu (N_c) válce hydromotoru (vztažené k obráběcímu stroji a vystružovacímu nástroji) se vyjádří pomocí vztahu:[25]

$$N_C = N_s + N_v + N_n \text{ [Kč]} \qquad (8.4)$$

Náklady na strojní práci (N_s) souvisí s jednotkovým strojním časem, potřebným pro obrobení jednoho kusu obrobku:

$$N_s = t_{AS} \cdot N_{sm} \text{ [Kč]} \qquad (8.5)$$

kde: t_{AS} [min] – jednotkový strojní čas,

N_{sm} [Kč] – náklady na minutu strojní práce;[25]

Jednotkový strojní čas t_{AS} je čas automatického chodu obráběcího stroje:

$$t_{AS} = \frac{L}{v_f}[\min] \qquad (8.6)$$

kde: L [mm] – dráha nástroje ve směru posuvu,

v_f [m/min] – posuvová rychlost;[25]

Při stanovení dráhy nástroje ve směru posuvu se u vystružování slepých otvorů vychází ze vztahu:

$$L = l_a + l \qquad (8.7)$$

kde: l_a [mm] – délka náběhu,

l [mm] – délka vystružované plochy;[25]

Náklady na vedlejší práci (N_v) korespondují s upínáním a odepínáním obrobku, měřením součásti, apod. Vyjádří se vztahem:

$$N_v = t_{AV} \cdot N_{vm} \text{ [Kč]} \qquad (8.8)$$

kde: t_{AV} [min] – jednotkový vedlejší čas,

N_{vm} [Kč] – náklady na minutu vedlejší práce (obvykle: $N_{vm} = N_{sm}$);[25]

Náklady na nástroj a jeho výměnu (N_n) se vyjádří jako:

$$N_n = N_T \cdot Z_v \text{ [Kč]} \qquad (8.9)$$

kde: N_T [Kč/T] – náklady na nástroj a jeho výměnu vztažené na jednu trvanlivost,[24]

$$N_T = N_{T1} + N_{T2} + N_{T3} \text{ [Kč]} \qquad (8.10)$$

N_{T1} [Kč] – náklady na řeznou část vztažené na jednu trvanlivost,

N_{T2} [Kč] – náklady na držák nástroje vztažené na jednu trvanlivost,

N_{T3} [Kč] – náklady na upnutí a seřízení řezné části v držáku nástroje, vztažené na jednu trvanlivost;

$$Z_v = \frac{t_{AS1}}{T} \cdot \tau[-] \qquad (8.11)$$

Z_v - počet výměn nástroje vztažené na obrobení jednoho kusu;[25]

$$\tau = \frac{l}{L}[-] \qquad (8.12)$$

Stanovení úspory na základě porovnání celkových operačních výrobních nákladů (operace vystružování) viz. Tab.8.10.

* Pozn.: Do výpočtu nejsou zahrnuty časy, které jsou pro oba nástroje stejné např.: výměna obrobku, pohyb rychloposuvem apod. Relevantní výsledek bude demonstrován ve formě dosažené úspory, tzn. ne konkrétní nákladové položky.

Tab.8.10 Stanovení úspory operačních nákladů

Nástroj		**MT3**	Mapal
řezné podmínky	v_c [m·min^{-1}]	**200**	200
	n [min^{-1}]	**3577**	3577
	v_f [mm·min^{-1}] (pracovní)	**1431**	1431
	v_f [mm·min^{-1}] (f [mm]) (zpětná)	**14 000 (f=3,9)**	1431 (f =0,4)
l [mm]		**65,48**	65,48
l_a [mm]		**9**	9
L [mm]	(8.7)	**74,48**	74,48
t_{AS} [min/ks] (9 děr = 1 Ks)	t_{AS1} [min] (8.6) (v řezu -1 otvor)	**0,052**	0,052
	t_{AS2} [min] (8.6) (výjezd z řezu – 1 otvor)	**0,005**	0,052
	$(t_{AS1} + t_{AS2})\cdot 9$ [min]	**0,513**	0,936
N_{sm} [Kč/min]		**44,5**	44,5
N_s [Kč/Ks]	(8.5)	**22,83**	**41,65**
Úspora N_s [Kč/ks]	**- na jeden kus**	**18,82**	
N_v [Kč/Ks]	vztaženo k obrobku – u obou dvou variant stejné s ohledem na výsledné porovnání dosažené úspory není zahrnuto do výsledného výpočtu N_c (8.8)		
N_T [Kč/T]	N_{T1}	**2500**	445
	N_{T2}	**6,24**	36,11
	N_{T3}	**133,5**	890
	Σ (8.10)	**2 639,7**	1371,1
Z_v [-]	T [min]	**25,74**	11,23
	τ [-] (8.12)	**0,88**	0,88
	Z_v (8.11)	**0,016**	0,037
N_n [Kč/Ks]	**(8.9)**	**42,23**	**50,73**
Úspora N_n [Kč/Ks]	**- na jeden kus (8.9)**	**8,50**	
N_c [Kč/Ks]	**(8.4)**	**65,06**	**92,38**
Úspora N_c [Kč/Ks]	**- na jeden kus**	**27,32**	
Úspora [Kč/otvor]	**- na vystružený otvor**	**3,04**	
Roční úspora [mil.Kč/rok]	**(s ohledem na 140 000 dobrých kusů)**	**3,93**	

S výměnnou vystružovací hlavicí MT3 je možné i přes vyšší pořizovací náklady dosáhnout průměrné roční úspory operačních nákladů na vystružování ve výši 3 932 998 Kč.

8.3.2 Dosažená úspora času nástrojem MT3

Při použití nástroje MT3 dochází také k výrazné úspoře plánovaného času na výrobu požadovaného množství válců hydromotoru.

Tab.8.11 Faktory ovlivňující úsporu času při porovnání nástrojů

MT3 (povlak HYPERLOX)		**Jednobřitý výstružník Mapal**	
posuvová rychlost			
- rychlejší výjezd nástroje z řezu;		- stejná posuvová rychlost při výjezdu nástroje, jako při procesu vystružování;	
čas na upnutí a seřízení za životnost nástroje			
- rychlé a přesné tepelné upnutí na počátku životnosti nástroje,	**3 minuty**	- mechanické upnutí a seřízení na počátku životnosti nástroje,	10 minut
		- cca dvě seřízení v průběhu trvanlivosti,	10 minut
- bez potřebného seřizování v průběhu životnosti nástroje;	**0 minut**	- po skončení trvanlivosti otočení na nový břit VBD, mechanické upnutí a seřízení,	10 minut
		- cca dvě seřízení v průběhu trvanlivosti;	10 minut
- celkový čas	**3 minuty**	**- celkový čas**	**40 minut**

Tab.8.12 Dosažená časová úspora nástrojem MT3

Nástroj	**MT3**	**Mapal**
t_{AS} [min/ks]	**0,513**	0,936
čas výměny a seřízení nástroje [min/ks]	**0,055**	0,833
Σ [min/ks]	**0,568**	**1,769**
Úspora na jeden kus [min/ks]	**1,2**	
Úspora na plánované množství [min/rok]	**170 971**	

Při použití MT3 je možné dosáhnout průměrné časové úspory 170 971 minut (cca 2 850 hodin) při dodržení plánovaného množství dobrých 140 000 kusů výrobků.

8.3.3 Úspora mzdových nákladů

Použití výměnné vystružovací hlavice MT3 umožňuje operátorovi stroje případnou obsluhu dvou strojů zároveň. Možným zavedení dvoustrojové obsluhy tak vzniká úspora ve výši mzdových nákladů připadajících na jednoho pracovníka (čas potřebný na upnutí a seřízení v případě použití nástroje firmy Mapal toto nedovoloval).

Jako příklad je možné uvést úsporu v případě mzdových nákladů na pracovníka v podmínkách ČR - rok 2009 (s ohledem na průměrnou stanovenou hrubou mzdu 150 Kč/hod.):
- hrubá mzda: 150 Kč/hod., superhrubá mzda: 150 · 1,34 = 201 Kč/hod.
- roční časový fond při dvousměnné osmihodinové obsluze (bez dnů pracovního klidu):
  251 · 2 ·8 = 4016 hodin

Roční úspora mzdových nákladů na jedno pracovní místo operátora ve dvousměnné obsluze: 201 · 4016 = **807 216 Kč/rok.** *(*Pouze na „dokreslení problematiky" mzdových úspor);*

8.4 Zhodnocení dosažených výsledků nástrojem MT3

■ **Dosažená přesnost nástrojem MT3**

Nástroj MT3 dosahuje požadovaných kritérií přesnosti a drsnosti povrchu vystružovaných děr. I přesto, že je výsledná drsnost povrchu dosažená výměnnou vystružovací hlavicí MT3 horší, než původně dosažená hodnota konkurenčním výstružníkem společnosti Mapal, je s ohledem na maximální hodnotu Ra pod mezí 0,4μm a tribologicky výhodnou orientaci nerovností do materiálu (prohlubně) působící příznivě na provozní funkci hydromotoru nástroj hodnocen jako technicky vyhovující.

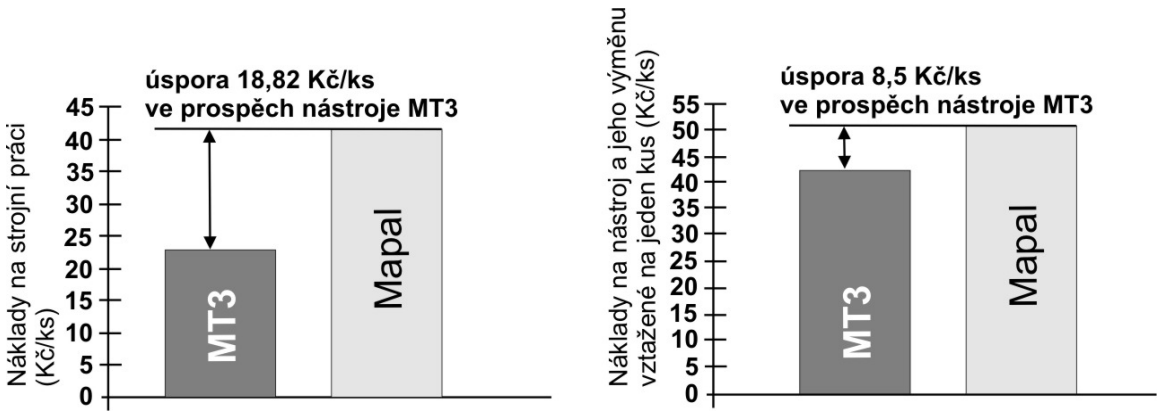
■ **Dosažená životnost nástrojem MT3**

Oproti původnímu vystružovacímu nástroji došlo aplikací nástroje MT3 s PVD povlakem HYPERLOX k významnému navýšení životnosti z původních průměrných 48 ks na 1 VBD (2 x trvanlivost) nástroje firmy Mapal, na 55 ks dosažených nástrojem MT3 (u MT3 platí: životnost = trvanlivost). Intervalový odhad střední hodnoty životnosti MT3 s povlakem HYPERLOX je se spolehlivostí 95 % v rozsahu 52 až 58 ks (**životnost MT3 = 55 ± 3 ks**).

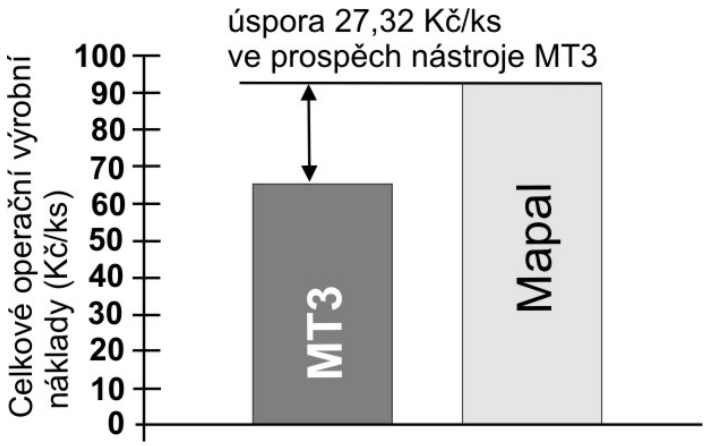
Výměnná vystružovací hlavice MT3 je schopna dosáhnout požadovaných parametrů kvality vystružovaných otvorů s významně vyšší průměrnou hodnotou životnosti nástroje.

■ **Ekonomické zhodnocení**

Výměnná vystružovací hlavice MT3 je i přes vyšší pořizovací cenu (v porovnání s cenou VBD) schopna dosáhnout úspory operačních nákladů 27,32 Kč na jeden kus válce hydromotoru. Při zohlednění celkového objemu výroby 140 000 ks dochází k roční úspoře 3 932 998 Kč. Zároveň je možné aplikací MT3 dosáhnout časové úspory 1,2 minuty na vystružení jednoho kusu. Tomu odpovídá roční úspora času vystružování 170 971 minut (cca 2 850 hodin). Další úspory je možné dosáhnout zavedením dvoustrojové obsluhy a to ve výši mzdových nákladů připadajících na jednoho strojního operátora.



Obr.8.9 Porovnání nákladů na strojní práci, nástroj a jeho výměnu vztažené k jednomu kusu



Obr. 8.10 Porovnání celkových operačních nákladů na vystružení 1 kusu

ZÁVĚR

Doba, kdy zakládající členové řady dnešních nadnárodních firem zabývajících se výrobou řezných nástrojů začínali s výrobou jednoduchých řezných nástrojů v přilehlých prostorách svých rodinných domů je již dávno pryč. Současně vyráběné „moderní" řezné nástroje tvoří jeden z mnoha důležitých prvků ovlivňujících plynulost a kvalitu výroby většiny strojírenských podniků. Takovýmto způsobem je žádoucí chápat také výkonné vystružovací nástroje s břity z cermetu. Tyto nástroje není vhodné považovat za „pouhý" prostředek pro splnění dané výrobní operace, ale jako prvek výrobního systému, který je schopen při vhodné provázanosti všech dílčích prvků výrobního systému přinést možné zlepšení výrobního procesu. Nelze dosáhnout požadovaného výsledku zakoupením progresivního řezného nástroje bez další návaznosti na strojní vybavení, použitá měřidla, kvalifikovanou obsluhu, apod. Navíc, co bezproblémově funguje v jedné strojírenské firmě, často nemusí fungovat v jiné. Většina renomovaných výrobců řezných nástrojů si tento fakt velice dobře uvědomuje a vytváří tak programy umožňující co nejlepší integraci vyráběného nástroje do procesu výrobního podniku.

Podobným způsobem byl prováděn také vývoj výměnné vystružovací hlavice s břity z cermetu a PVD povlakem společnosti HAM-FINAL. V průběhu tří let vývoje nástroje byla zohledněna jak výsledná kvalita dosahovaná použitím nástroje, tak další prvky v podobě způsobu upínaní, seřizování, spolehlivosti nástroje, apod. Díky optimálnímu sladění řezného materiálu, PVD povlaku, aplikované geometrii a konstrukčnímu provedení byl vytvořen nástroj, který nevyniká pořizovací cenou, ale při optimálním zapojením do výrobního procesu, bezproblémovou a nákladově méně náročnou výrobou.

Při komplexním posouzením na konkrétním příkladě výroby válce hydromotoru ve společnosti Sauer Danfoss, se podařilo aplikací MT3 oproti konkurenčnímu výstružníku firmy Mapal dosáhnout při dodržení požadované přesnosti otvoru:

- zvýšení dosahované trvanlivosti z 24 ks na 55±3 ks,
- snížení zmetkovitosti o 0,6 %,
- **úspory operačních nákladů na vystružení jednoho kusu válce hydromotoru ve výši 27,32 Kč/ks** (dosažená úspora s ohledem na plánovaný roční objem výroby je 3 932 998 Kč),
- úspory času na vystružení jednoho kusu válce hydromotoru ve výši 1,2 min/ks (dosažená úspora s ohledem na plánovaný roční objem výroby je 170 971 min).

Výměnná vystružovací hlavice MT3 společnosti HAM-FINAL je tak schopna dosáhnout při vyšší pořizovací ceně řezné části nástroje (oproti konkurenčnímu nástroji Mapal) za daného objemu výroby lepších ekonomických výsledků.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

[1] 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 Hand book. ISBN 91-97 22 99-4-6.

[2] AMBROŽ, P. Stopkové upínání nástrojů. *MM Průmyslové spektrum.* 2008, č.5, s.38. ISSN 1212-2572.

[3] ASPARIN, G.A.,GORODĚCKIJ, I.E. *Tolerance a technická měření.* Přeložil kolektiv družiny čs. válečných poškozenců. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1954. 564 s. obr.736. tab.61. XXII příloh. DT 531.7:621.753.1.

[4] BOROVAN, P. Budoucnost nástrojů. *Technický týdeník.* Únor 2009, ročník 57, s. 8. ISSN 0040-1064.

[5] *Beschichtungstechnologie – CemeCon.* Und Ihre Produkte Schneider gut ab.

[6] BRANDEJS, P., SVOBODA, P.,PROKEŠ, F. *Základy konstruování.* 2. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, říjen 2003. 200s. ISBN 80 – 7204 – 306 – 4.

[7] BUMBÁLEK, B. *Využití metody kvantitativního hodnocení drsnosti povrchu pro posouzení vlivu dokončovacích metod na jakost funkčních ploch.* Sborník: Metrologie drsnosti povrchu. 1988. Pobočka ČSVTS Útvary ředitelství k.p. Škoda ve spolupráci s KV Komitétu jakosti a spolehlivosti Západočeského kraje.

[8] ČENĚK, N. Vývoj strojírenské měřící techniky. *MM Průmyslové spektrum*, 2003, č.6, s. 20-21. ISSN 1212-2572.

[9] ČSN EN ISO 4287. *Geometrické požadavky na výrobu (GPS) – Struktura povrchu: Profilová metoda – Termíny, definice a parametry struktury povrchu.* Český normalizační institut. Praha. 1999.

[10] DVOŘÁK, L. Měření a seřizování výstružníků. *MM Průmyslové spektrum*, 2000, č.9, s.42. ISSN 1212-2572.

[11] DVOŘÁK, L. Měření a kontrola nástrojů*. MM Průmyslové spektrum,* 2002, č.6, s.17-18. ISSN 1212-2572.

[12] DVOŘÁK, L. Vystružování jakostních nerezových ocelí. *MM Průmyslové spektrum.* 2007, č.4, s.45. ISSN 1212-2572.

[13] DVOŘÁK, L. Nástroje pro vystružování otvorů. *MM Průmyslové spektrum.* 2008, č.6, s.55. ISSN 1212- 2572.

[14] DVOŘÁK, L. Nekonvenční technika vystružování. *MM Průmyslové spektrum*, 2009, č.5, s.38. ISSN 1212-2572.

[15] *Ekonomika strojírenské výroby a návratnost investice.* Odborná konference: Progresivní obrábění-SANDVIK COROMANT, 31.1.2008, VUT FSI Brno.

[16] *FACTS.* Zákaznický magazín o povlakovacích technologiích. CemeCon. Zvláštní vydání, září 2008.

[17] GOIŠ, P. Měření ve strojírenství. *MM Průmyslové spektrum*, 2003, č.6, s.24-25. ISSN 1212-2572.

[18] HOLUBÁŘ, P., ŠÍMA, M., ZINDULKA, O. Technologie úprav nástrojů před a po povlakování. *MM Průmyslové spektrum.* 2005, č.9, s.70-72. ISSN 1212-2572.

[19] HUMÁR, A. *Materiály pro řezné nástroje*. 1.vyd.Praha : MM publishing, s. r. o., 2008. 240 s. ISBN 978-80-254-2250-2.

[20] HUMÁR, A. PÍŠKA, M. Moderní řezné nástroje a nástrojové materiály. *MM Průmyslové spektrum – speciální vydání.* 2004, ISSN 1212-2572.

[21] *Inhalt Reiben.* katalog firmy Kennametal, 2007.

[22] KARPÍŠEK, *Z. Matematika IV, Statistika a pravděpodobnost*. 2.dopl.vyd. Brno : Akademické nakladatelství CERM, 2003. 169 s. ISBN 80 – 214 – 2522 – 9.

[23] *Katalog výrobků – výstružníky.* HAM-FINAL,s.r.o. Česká republika 2007.

[24] Katalog nástrojových upínačů. SCHUNK, str.72. 2006.

[25] KOCMAN, K., PROKOP, J. *Technologie obrábě*ní. 1.vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM,s.r.o., 2001. 270 s. ISBN 80-214-1996 -2.

[26] KOCMAN, K.,PROKOP, J. *Geometrie břitu nástrojů pro vystružování*. VUT FSI, Ústav strojírenské technologie.

[27] MAROŠ, B. *Statistické metody ve strojírenství*. Přednášky: Akademický rok 2007/2008. Brno: VUT-FSI, Ústav strojírenské technologie.

[28] *Mehr Bissfür Ihre Produktion.* Katalog nástrojů firmy Beck, 2007.

[29] *METALWORKING WORLD.* Časopis pro obchod a technologii od společnosti SANDVIK COROMANT. SPoon Publishing Stockholm, č.3. 2007. ISSN 1652-5825.

[30] Nástroje pro obrábění velmi přesných děr. *MM Průmyslové spektrum.* 2008, č.5, s.44-45. ISSN 1212-2572.

[31] Návodka pro mechanické obrábění – hlaveň 35 Whelen. Zbrojovka Brno.

[32] NOVÁK, Z., BOSMAN, O. Tool management – optimální využití mo derních řezných nástrojů*. MM Průmyslové spektrum*. 2002, č.7, s.54. ISSN 1212- 2572.

[33] NOVÁK, Z. Pokrok v měření a hodnocení struktury povrchu. *MM Průmyslové spektrum,* 2004, č.6, s.18-21. ISSN 1212-2572.

[34] NOVÁK, Z. Zvyšování kvality hodnocení struktury povrchu. *MM Průmyslové spektrum*, 2004, č.11, s.68-69. ISSN 1212-2572.

[35] NOVÁK, Z. Zvyšování kvality hodnocení struktury povrchu. *MM Průmyslové spektrum.* 2004, č.12, s.84-85. ISSN 1212-2572.

[36] NOVÁK, Z. Prostorové hodnocení struktury povrchu*. MM Průmyslové spektrum*, 2005, č.6, s.16-17. ISSN 1212-2572.

[37] NOVÁK, Z. Snížení času výměny nástroje. *MM Průmyslové spektrum.* 2005, č.4, s.24. ISSN 1212-2572.

[38] NOVÁK, Z. CoroPak Journalits – prezentace nástrojových novinek*. MM Průmyslové spektrum*. 2005, č.5, s.51. ISSN 1212-2572.

[39] NOVÁK, Z. Skládané nástroje. *MM Průmyslové spektrum*. 2005, č.12, s.55. ISSN 1212-2572.

[40] Nůž. Výrobní výkres číslo 5-249_0627/0. Zbrojovka Brno.

[41] OŠŤÁDAL, B. *Tvorba mikrogeometrie povrchu při obrábění*. Sborník: Metrologie drsnosti povrchu. 1988. Pobočka ČSVTS Útvary ředitelství k.p. Škoda ve spolupráci s KV Komitétu jakosti a spolehlivosti Západočeského kraje.

[42] Polykrystalický diamant obrábí litinu. *MM Průmyslové spektrum.* 2005, č.3, s.59. ISSN 1212-2572.

[43] POTÁCEL, V. *Technologické aspekty struktury povrchu při dokončovacím obrábění*. Brno, 2004, s.27. Edice PhD. Thesis, s. 252. Vědecké spisy vysokého učení technického v brně. ISSN 1213-4198.

[44] *Příručka obrábění.* Garant. vydání katalogu.34. Obj.č.:11 0950.

[45] *PVD povlaky* CemeCon. Česká republika, pro období 2008/2009.

[46] *Reamax^{TM} – nová dimense vysokovýkonného vystružování.* Katalog společnosti Dihart, 2006.

[47] SLABENEC, K. *Základy konstruování – geometrická přesnost*. 1.vyd. Praha: Vydavatelství ČVUT. únor 1997. 156 s. ISBN 80-01- 01494-0.

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

[49] SOVA, F. *Technologie obrábění a montáže.* 3.vyd. Západočeská univerzita Plzeň, 2001. 273 s. ISBN 80-7082-823-4.

[50] *TM automatická výdejna nástrojů.* Katalog firmy Gühring.

[51] *Technice handbuch.* Komet Precision Tools GmbH&Co.Kg 2007.

[52] *Výstružníky s velkou nerovnoměrností zubové rozteče.* Katalog vystružovacích nástrojů firmy CANAVA.

[53] *Vývoj a inovace nástrojů a technologií pro dokončování přesných děr.* Průběžná zpráva o realizaci projektu OE217. Ham-Final s.r.o., 2007. 29.s.

[54] *Vývoj a inovace nástrojů a technologií pro dokončování přesných děr.* Průběžná zpráva o realizaci projektu OE217. Ham-Final s.r.o., 2008. 31.s

[55] *August Beck Präzisionswerkzeuge*. [CD-ROM] Presentation Beck.

[56] *Beck Präzisionswerkzeuge*. [CD-ROM] Presentation Beck.

[57] *Company Mapal* [online]. [cit. 23.3.2009] Dostupné na World z: <http://www.mapal.com/englisch/unternehmen_stammwerk.php>.

[58] *Gühring TM Werkzeugausgabesystem ECO.* [online]. Gühring. [cit.5.4.2009] Dostupné z:<http://www.guehring.ch/images/TMECO.jpg.

[59] GRUBNER, J. *Dějiny strojírenství – vznik strojírenství* [HTML dokument]. [cit.26.2.2009] Dostupné z: <http://www.spstr.pilsedu .cz/osobnistranky/josef_gruber/dte/7-stroj.html>.

[60] HUMÁR, A. *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. 13.3.2009] Dostupné z: <http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/?page=opory.>.

[61] HUMÁR, A. *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. 2003, 138 s. [cit. 13.3.2009] Dostupné z: <http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/?page=opory.>.

[62] *Impuls 35* [online]. Information ideas internal news. 2007. [cit.15.3.2009] Dostupné z: <http://www.mapal.com/englisch/aktuelles _news.php# >.

[63] *Impuls 37* [online]. Information ideas internal news. 2008. [cit. 15.3.2009] Dostupné z: <http://www.mapal.com/englisch/aktuelles _news.php# >.

[64] *Konsignační sklad* [online]. Slovník pojmů. [cit.13.4.2009] Dostupné z: <http://business.center.cz/business/pojmy/pojem.aspx?PojemID=1077.

[65] KŘÍŽ, A. *Systém tenká vrstva – substrát v aplikaci na řezných nástro jích.* [online]. A-Team. [cit. 15.3.2007] Dostupné z: <http://www.ateam. czu.cz /Metal2005/Kriz.pdf. >

[66] *Mapal Neuheiten, News 2008* [online]. [cit.18.3.2009] Dostupné z <http://www.mapal.com/englisch/aktuelles_news.php# >.

[67] *Mezinárodní organizace pro normalizaci* [online]. Otevřená encyklo- pedie Wikipedie. [cit. 23.2.2009] Dostupné z:<http://cs.wikipedia.org /wiki/Mezin%C3%A1rodn%C3%AD_organizace_pro_normalizaci >

[68] *Motor* [online]. [cit.23.2.2009] Dostupné z:<http://pub.danrimal.net /puntoMk1/motor1.htm>

[69] *Obnovitelné energie* [online]. Enviromentální vzdělávání, výchova a osvěta, MŠMT. [cit. 23.2.2009] Dostupné z: <http://evvo.spaco.cz /pohled-ekologa/obnovitelne-zdroje-energie-str/>.

[70] *Organismus jako parní stroj* [online]. Obejctive Source E-Learning. [cit.23.2.2009] Dostupné z: <http://osel.cz/index .php?obsah=6&akce=showall&clanek=1083&id_c=7069>

[71] *Prezentace firmy Seco Tools CZ, s.r.o.* [online]. [cit.3.4.2009] Dostupné z: <http://legacy.secotools.com/template/start.asp?id=9392 >

[72] *Products Mapal* [online]. [cit. 24.3.2009] Dostupné z: <http:// www.mapal.com/englisch/produkte_anwendung.php?kat=reibenund feinbohren >.

[73] *Přehled vlastností ocelí 42CrMo4.* [online]. Bohdan Bolzano. Technická příručka [cit.6.5.2009] Dostupné z:<http://prirucka.bolzano .cz/cz/technicka-podpora/techprirl/tycovaocel/EN10083/Prehled_vlast_ 42Cr Mo4/>

[74] *RB03, RB08*. [CD-ROM] Presentation Beck.

[75] *Reaming with maximum accuracy* [online]. Gühring. [cit.5.4.2009] Dostupné z: <www.guehring.de/service/werbemittel/data/Highlights _02_2007_ en.pdf >.

[76] *Reaming solutions, Precimaster-Bifix* [online]. Seco Tools. [cit.3.4. 2009] Dostupné z: <http:// www.legacy.secotools.com/upload/ international/library/pdf/reaming/Reaming .pdf >.

[77] *Sauer Danfoss.* [online]. Slovenská republika [cit.5.5.2009]. Dostupné z:<http://www. sauer-danfoss.sk/1/ >.

[78] *Vyvrtávání.* [online] AB SANDVIK COROMANT – SANDVIK CZ s.r.o. Main catalogue 2009, [cit.5.5.2009]. Dostupné z: <http://www2. coromant.sandvik.com/coromant/downloads/catalogue/CZE/MC_2009 _Klick_ CZE_F.pdf>.

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

Zkratka	Jednotka	Popis
CNC		Computer Numerical kontrol (Číslicové řízení počítačem)
CVD		Chemical Vapour Deposition
HIP		Hot Isostatic Pressing (Izostatické lisování za tepla)
HSK		Upínač pro nástroje s dutou kuželovou stopkou
HSS		High Speed Steel (Rychlořezná ocel)
ISO		International Organization for Standardization (Mezinárodní organizace pro normalizaci)
MŠMT		Ministerstvo školství, mládeže a tělovýchovy
MVTU		Moskovskoje vysšeje techničeskoje učiliště (Moskevská vysoká škola technická)
PKD		Polykrystalický diamant
PKNB		Polykrystalický nitrid boru
PVD		Physical Vapour Deposition
SK		Slinutý karbid
S – N - O		Technologická soustava stroj, nástroj, obrobek
SSSR		Svaz sovětských socialistických republik
TM		Tool Management
VBD		Vyměnitelná břitová destička

Zkratka	Jednotka	Popis
Al_2O_3		Oxid hlinitý (keramika)
Ar		Argon
C		Uhlík
Co		Kobalt
Cr		Chrom
Cr_2O_3		Oxid chromitý
Mn		Mangan
Mo		Molybden
Mo_2C		Karbid molybdenu

Zkratka	Jednotka	Popis
N		Dusík
NbC		Karbid niobu
Ni		Nikl
P		Fosfor
S		Síra
Si		Křemík
TaC		Karbid tantalu
TiC		Karbid titanu
TiN		Nitrid titanu
TiCN		Karbonitrid titanu
VC		Karbid vanadu
W		Wolfram
WC		Karbid wolframu
ZrC		Karbid zirkonu

Symbol	Jednotka	Popis
A_D	[mm^2]	Jmenovitý průřez třísky
A_{Dc}	[mm^2]	Celkový průřez třísky
a	[mm]	Velikost vyosení vyvrtávací tyče
a_p	[mm]	Šířka záběru ostří
a_f	[mm]	Záběr ostří ve směru posuvu
b_a	[mm]	Šířka fazetky nástroje
b_D	[mm]	Jmenovitá šířka třísky
D	[mm]	Průměr otvoru
D_{max}	[mm]	Horní mezní rozměr díry (maximální rozměr díry)
D_{min}	[mm]	Dolní mezní rozměr díry (minimální rozměr díry)
EI	[mm]	Dolní úchylka díry
ES	[mm]	Horní úchylka díry
F	[-]	Porušená místa povrchu
f	[mm]	Posuv na otáčku

Symbol	Jednotka	Popis
f_z	[mm]	Posuv na zub
F_c	[N]	Řezná síla
$F_c^{'}$	[N]	Řezný odpor
F_f	[N]	Posuvová síla
F_p	[N]	Pasivní síla
$F_p^{'}$	[N]	Pasivní odpor
h_D	[mm]	Jmenovitá tloušťka třísky
h_{min}	[mm]	Minimální tloušťka třísky
IT	[-]	Toleranční stupeň
JR	[mm]	Jmenovitý rozměr (rozměr udaný na výkrese)
k_c	[MPa]	Měrná řezná síla
L	[mm]	Celková dráha nástroje
L	[-]	Textura povrchu (podkap. 2.3.1)
l	[mm]	Tloušťka obrobku
l_a	[mm]	Délka náběhu
l_n	[mm]	Vyhodnocovaná délka
l_r	[mm]	Základní délka
L_T	[m]	Délka vystružené díry
l_T	[m]	Dráha řezu nástroje
l_u	[mm]	Délka přeběhu
M_D	[Nm]	Kroutící moment
n	[-]	Počet měření (Kap. 8)
n	[min^{-1}]	Otáčky nástroje
N_c	[Kč]	Celkové operační výrobní náklady
N_n	[Kč]	Náklady na nástroj a jeho výměnu vztažené na jeden kus
N_s	[Kč]	Náklady na strojní práci
N_{sm}	[Kč]	Náklady na minutu strojní práce
N_T	[Kč]	Náklady na nástroj a jeho výměnu vztažené na jednu trvanlivost
N_{T1}	[Kč]	Náklady na řeznou část vztažené na jednu trvanlivost

Symbol	Jednotka	Popis
N_{T2}	[Kč]	Náklady na držák nástroje vztažené na jednu trvanlivost
N_{T3}	[Kč]	Náklady na upnutí a seřízení řezné části v držáku nástroje vztažené na jednu trvanlivost
N_v	[Kč]	Náklady na vedlejší práci
N_{vm}	[Kč]	Náklady na minutu vedlejší práce
P	[-]	Základní profil
p	[mm]	Přídavek na vystružování
P_c	[W]	Řezný výkon
P_f	[-]	Nástrojová boční rovina
P_o	[-]	Nástrojová ortogonální rovina
P_p	[-]	Nástrojová zadní rovina
P_r	[-]	Nástrojová základní rovina
P_s	[-]	Nástrojová rovina ostří
Q	[$cm^3 \cdot min^{-1}$]	Výkonnost obrábění
R	[-]	Profil drsnosti
Ra	[µm]	Průměrná aritmetická úchylka posuzovaného profilu
R_k	[µm]	Střední přímka – jádro profilu
R_{ku}	[-]	Špičatost posuzovaného profilu
R_m	[MPa]	Mez pevnosti materiálu
$Rmr_{(c)}$	[%]	Materiálový poměr profilu
r_n	[mm]	Zaoblení řezné hrany
Rp	[µm]	Výška největšího výstupku profilu
R_{pk}	[µm]	Horní přímka – výstupky profilu
R_{sk}	[-]	Šikmost posuzovaného profilu
Rt	[µm]	Celková výška profilu
Rv	[µm]	Největší hloubka prohlubně posuzovaného profilu
R_{vk}	[µm]	Spodní přímka – velikost a četnost prohlubní
Rz	[µm]	Největší výška profilu
r_ε	[mm]	Poloměr špičky nástroje

Symbol	Jednotka	Popis
s	[-]	Bodový odhad směrodatné odchylky
T	[mm]	Rozměrová tolerance (viz. Podkap. 2.1.1)
T	[min]	Trvanlivost nástroje
t	[-]	Kvantil studentova rozdělení
t_{AS}	[min]	Jednotkový strojní čas
t_{AS1}	[min]	Jednotkový strojní čas v řezu
t_{AS2}	[min]	Jednotkový strojní čas výjezdu z řezu
t_{AV}	[min]	Jednotkový vedlejší čas
$v_{1,2}$	[-]	1, 2 vodítko vystružovacího nástroje
v_c	[$m \cdot min^{-1}$]	Řezná rychlost
v_e	[$m \cdot min^{-1}$]	Rychlost řezného pohybu
v_f	[$mm \cdot min^{-1}$]	Posuvová rychlost
W		Profil vlnitosti
x_i	[min]	Dosažené životnosti jednotlivými nástroji
$\bar{x}$		Bodový odhad střední hodnoty
z	[-]	Počet zubů nástroje
$z_{1,2,3}$	[-]	1, 2, 3 zub vystružovacího nástroje
Z_{pi}	[μm]	Výška výstupků profilu
Z_{ti}	[μm]	Výška prvků profilu
Z_v	[-]	Počet výměn nástroje vztažené na obrobení jednoho kusu
Z_{vi}	[μm]	Výška prohlubně profilu
α	[-]	Pravděpodobnost s kterou může mít daný parametr hodnotu mimo interval
α_o	[°]	Nástrojový ortogonální úhel čela
α_p	[°]	Nástrojový zadní úhel hřbetu
γ_f	[°]	Nástrojový boční úhel čela
γ_o	[°]	Nástrojový ortogonální úhel čela
γ_p	[°]	Nástrojový zadní úhel čela
η	[°]	Úhel řezného pohybu
κ_r	[°]	Nástrojový úhel nastavení hlavního ostří

Symbol	Jednotka	Popis
$\kappa_r`$	[°]	Nástrojový úhel nastavení vedlejšího ostří
μ		Intervalový odhad střední hodnoty
σ^2		Intervalový odhad rozptylu
φ	[°]	Úhel posunového pohybu
ω	[°]	Úhel stoupání

SEZNAM PŘÍLOH

PŘÍLOHA 1 – Přehled měřících přístrojů na otvory firmy Mitutoyo
PŘÍLOHA 2 – Upínací systémy firmy SCHUNK
PŘÍLOHA 3 – Technologická charakteristika vystružování
PŘÍLOHA 4 – Měření a seřizování kuželovitosti výstružníků
PŘÍLOHA 5 – Přehled současných vystružovacích nástrojů z cermetu
PŘÍLOHA 6 – Pramet Prolog – náklady pod kontrolou
PŘÍLOHA 7 – PVD povlaky firmy CemeCon
PŘÍLOHA 8 – Aplikované povlaky firmy CemeCon
PŘÍLOHA 9 – Výkres součásti: Válec hydromotoru
PŘÍLOHA 10 – Příklad záznamu struktury povrchu: Mapal versus MT3
PŘÍLOHA 11 – Postup statistické analýzy hodnocení životnosti povlaků
PŘÍLOHA 12 – Nekonvenční technika vystružování

PŘÍLOHA 1

PŘEHLED MĚŘÍCÍCH PŘÍSTROJŮ PRO OTVORY

KOMPARAČNÍ MĚŘIDLA

Válečkové kalibry	**provedení:** oboustranné,	**rozsah:** (ø 1 až 30 mm)
Válečkové kalibry	**provedení:** oboustranné, jednostranné (dobrá strana), jednostranné (zmetková strana),	**rozsah:** (ø 30 až 100 mm)
Ploché kalibry	**provedení:** jednostranné,	**rozsah:** (ø 60 až 160 mm)
Odpichy s kulovými konci		

⊕ jednoduchá a snadná kontrola,
⊖ bez možnosti zpětnovazebních zásahů,
⊖ standardní kalibry vyráběny v soustavě jednotné díry H,
⊖ vliv lidského faktoru;

ABSOLUTNÍ MĚŘIDLA - ruční

POSUVNÉ MĚŘÍTKA

Posuvné měřítko se zaoblenými měřícími plochami

DI	**rozsah:** 0 - 1000 mm	**číslicový krok:** 0,01mm	DIG	**mezní chyba:** 0,03 - 0,07 mm (dle rozsahu)
AN	**rozsah:** 0 - 2000 mm,	**nonius:** 0,05 (0,02) mm		**mezní chyba:** 0,03 - 0,15 mm (dle rozsahu);

Hloubkoměry

DI	**rozsah:** 0 - 1000 mm	**číslicový krok:** 0,01mm	DIG	**mezní chyba:** 0,03 - 0,07 mm (dle rozsahu)
AN	**rozsah:** 0 - 1000 mm,	**nonius:** 0,05 (0,02) mm		**mezní chyba:** 0,03 - 0,15 mm (dle rozsahu);

MIKROMETRICKÁ MĚŘÍTKA

Vnitřní mikrometry

DI	**rozsah:** 5 - 50 mm	**číslicový krok:** 0,001mm	DIG	**mezní chyba:** 5 - 6 µm (dle rozsahu)
AN	**rozsah:** 5 - 150 mm,	**dělení stupnice:** 0,01 mm		**mezní chyba:** 5 - 9 µm (dle rozsahu);

Mikrometrické odpichy

DI	**rozsah:** 200 - 1500 mm	**číslicový krok:** 0,001mm	DIG	**mezní chyba:** x µm (růst s počtem prodloužení);
AN	**rozsah:** 25 - 300 mm (až 5000mm)	**dělení stupnice:** 0,01 mm		**mezní chyba:** x µm (růst s počtem prodloužení);

Přesné třídotekové dutinoměry

DI	**rozsah:** 6 - 3000 mm	**číslicový krok:** 0,001mm	DIG BOR	**mezní chyba:** 5 - 6 µm
AN	**rozsah:** 6 - 300 mm	**dělení stupnice:** 0,001 (0,005) mm		**mezní chyba:** x µm

Malé přesné dutinoměry

AN	**rozsah:** 2 - 6 mm	**dělení stupnice:** 0,001 mm		**mezní chyba:** 2 µm

Mikrometrické hloubkoměry

DI	**rozsah:** 0 - 300 mm	**číslicový krok:** 0,001mm	DIG	**mezní chyba:** 3 µm
AN	**rozsah:** 0 - 300 mm	**dělení stupnice:** 0,01mm		**mezní chyba:** 3 µm

APLIKACE S DIGITÁLNÍM, NEBO ČÍSELNÍKOVÝM ÚCHYLKOMĚREM

Dutinoměry - parametry s ohledem na použitý úchylkoměr

DI	**rozsah:** 40 - 160 mm	**číslicový krok:** 0,001mm	DIG	**mezní chyba:** 0,003 - 0,004mm;
AN	**rozsah:** 35 - 800 mm (malé otvory: 0,95 - 18mm	**dělení stupnice:** 0,01 (0,001) mm		**mezní chyba:** 0,005 - 0,01 mm;

PŘÍSTROJE NA MĚŘENÍ TVARU

RUČNÍ DRSNOMĚRY - jednoduché a rychlé určení základních parametrů drsnosti, normy drsnosti: DIN, ISO, ANSI, JIS; měřená délka: 0,08 - 8mm;možný tisk, statistické vyhodnocení, vyhodnocení tolerance;

PŘÍSTROJE NA MĚŘENÍ DRSNOSTI
PROFILOMĚRY
KRUHOMĚRY
CNC - DRSNOMĚRY, PROFILOMĚRY A MĚŘIČE VÁLCOVITOSTI A KRUHOVITOSTI
KOMBINOVANÉ PŘÍSTROJE NA MĚŘENÍ POVRCHU A PROFILOMĚR

PC (software) → vyhodnocení: parametry struktury povrchu, kruhovitost,válcovitost, soustřednost, sousosti, házení, kolmosti,..., průměr, odchylka radiusu, kuželovitost, harmonická analýza apod.

SOUŘADNICOVÉ MĚŘÍCÍ PŘÍSTROJE (SMS) (STANDARDNÍ, CNC)

PŘESNOST je prioritně dána zvolenou snímací a dotekovou sondou (počtem snímaných bodů a kvalitě zaměřovaného povrchu);

snímací doteková sonda → SMS

různé typy konstrukce

V případě, že není možné součást zkontrolovat dotekem - použití: OPTOELEKTRICKÝCH MĚŘÍCÍCH PŘÍSTROJŮ (rychlejší, menší přesnost);

PC (software) → grafické znázornění tvaru (s příslušnými mírami), vystvoření protokolu měření s výsledky zvolených rozměrů, úchylek tvaru, polohy ...;

DI - digitální, AN - analogové (výchylkové), - možná aplikace na vystružované otvory, DIG BOR - možnost statistického zpracování výsledků,

Přehled vychází z přehledu produktů společnosti MITUTOYO (katalog 2005/2006). Kalibry viz. *Technická měření* PERNÍKÁŘ,J.

PŘÍLOHA 2 *– Upínací systémy firmy SCHUNK*

Upínač nástrojů zajišťuje přenos mechanické energie z vřetena stroje na nástroj, který reprodukuje svůj tvar do materiálu obrobku. Výběr správného upínače výrazně ovlivní budoucí výsledky celého obráběcího procesu.

■ **Nejdůležitější požadavky na upínač:**

- optimální upínací síla i při vysokých otáčkách,
- vysoká přesnost upnutí nástroje (obvodové házení),
- rychlá a snadná výměna nástroje,
- přívod procesní kapaliny přímo do místa řezu (intenzivní odvod třísek),
- vysoké životnosti při nízkých provozních nákladech,
- dobrá hodnota vyvážení upínače (především u HSC obrábění);[24]

Upínače mohou navíc plnit ochrannou funkci tím, že často dokáží tlumit vznikající vibrace, chránit vřeteno stroje, zabraňují vzniku mikrovýronků na břitu nástroje, mohou zlepšit jakost obrobené plochy a tedy v konečném důsledku snížit náklady na výrobní proces.[2]

Na trhu je tak v současné době řada upínačů rotačních nástrojů dle konkrétních požadavků zákazníků. Pro každou aplikaci je možné vybrat optimální upínací systém, neboť každý typ se vyskytuje s odlišnými vlastnostmi a výhodami.[2]

Firma Schunk, která má vedoucí postavení na trhu v prodeji přesné upínací techniky nabízí v rámci programu Total tooling následující upínací systémy stopkových nástrojů.

Hydraulické upínače TENDO[2]

Otáčením upínacího šroubu se vytváří rovnoměrný tlak hydraulického média uvnitř upínače. Tlak působí na upínací pouzdro, které nástroj pevně a přesně upne.

Přínos: přesné upnutí s opakovatelností ≤ 0,003 mm, jednoduché ovládání, tlumení vibrací,flexibilní rozsah díky redukčním pouzdrům, rychlá výměna bez periferních zařízení;

Polygonální upínače TRIBOS R, S[2]

Vlastní deformace upínače se děje pouze v oblasti pružné deformace – postup je tak možné opakovat bez omezení počtu cyklů. Provedení TRIBOS S – štíhlá verze s min. upínacím průměrem 0,3mm, TRIBOS R – robustní verze vykazující větší radiální tuhost a tlumení vibrací. Varianty mohou být libovolně kombinovány s prodloužením nástrojů.

Přínos: přesné upnutí s opakovatelností ≤ 0,003 mm, rychlá a jednoduchá výměna nástroje *(cca. 20 sec.)*, možnost upnutí všech stopek nástrojů v toleranci h6, nízké pořizovací náklady, standardně vyvážený;

Univerzální upínač SINO[2]

Princip podobný jako u hydraulického upínače – kapalné medium je však nahrazeno pevnými deformačními segmenty.

Přínos: jednoduchá obsluha, dobrá přesnost upnutí, tlumení vibrací, výhodný poměr cena/výkon, flexibilní upínací rozsah díky redukčním pouzdrům, standardně vyvážený;

Přesné mechanické upínače BIG[2]

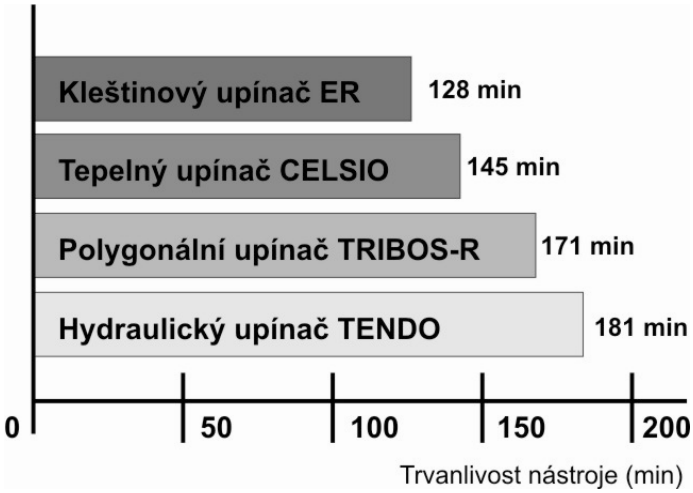
Oblast kleštinových upínačů s velikým rozsahem aplikace.

Přínos: vysoká přesnost upnutí (až 0,003 mm) při vyložení 4xD, vysoké upínací síly (*kroutící moment až 3000 Nm)*, dlouhá životnost, veliký rozsah upínacích průměrů, jemně vyvážený;

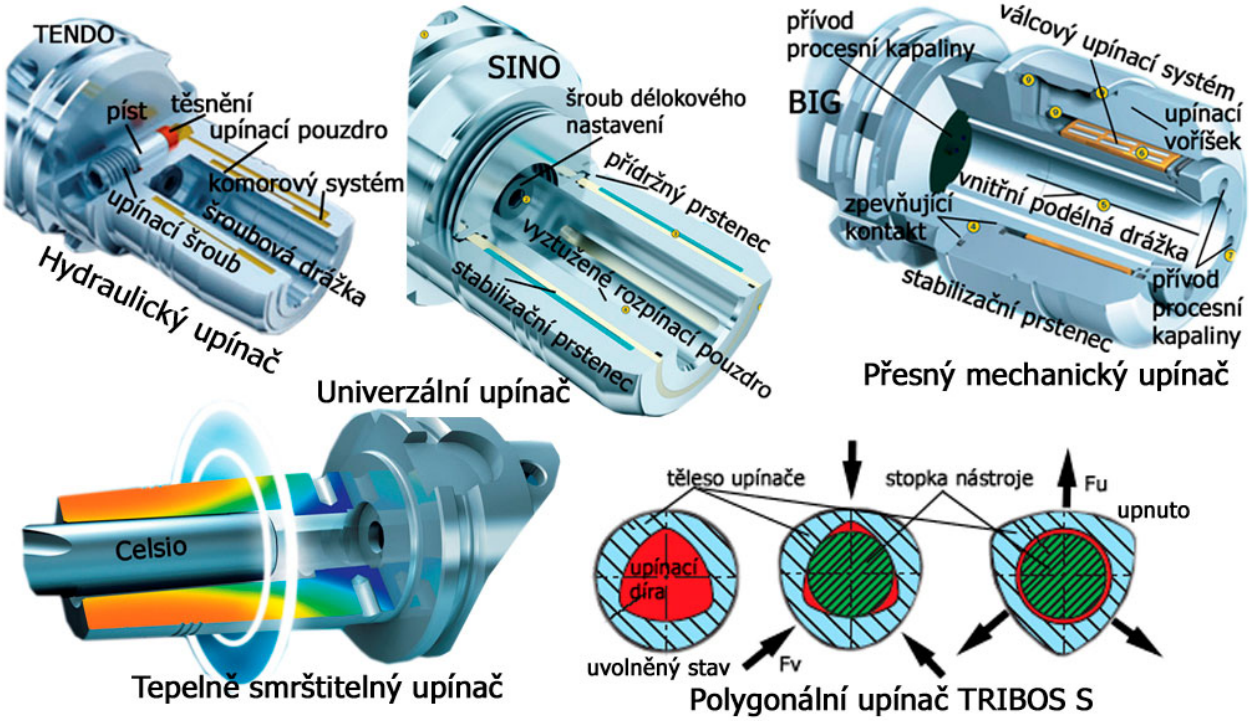
Tepelně smrštitelné upínače CELSIO[2]

Využívají tepelné roztažnosti kovů za vysokých teplot. Ohřev je prováděn pomocí vysokofrekvenční indukční cívky – upínač se velmi rychle ohřeje (přesně na daném místě), po vsunutí nástroje se nechá zchladit (přirozenou cestou, nebo nuceně chladícím systémem). Výsledkem procesu smrštění je téměř homogenní nástroj.

Přínos: vysoká přesnost upnutí *(házivost max. 0,003mm)*, krátký čas výměny nástroje *(rychlý ohřev a ochlazení)*, velké přenášené kroutící momenty a velmi dobrý poměr mezi tuhostí a vnějším tvarem upínače.



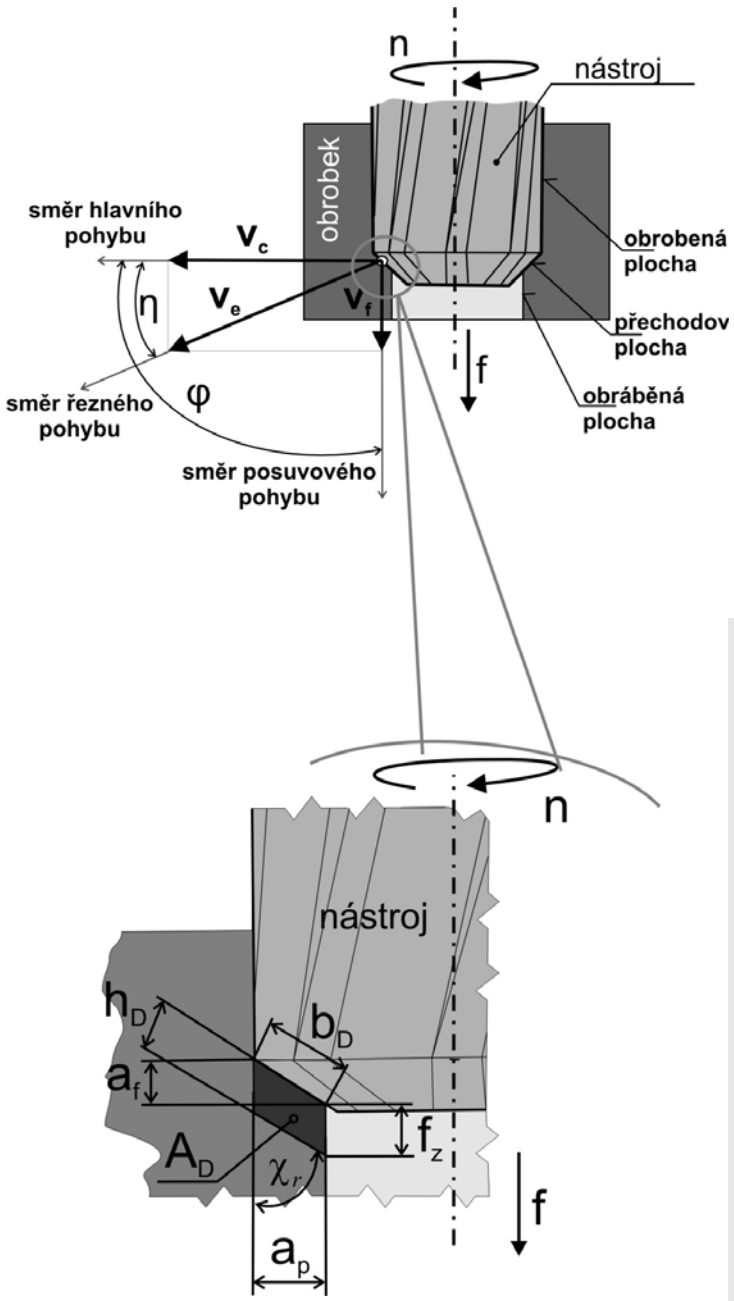
Obr.P2.1 Graf trvanlivosti nástroje v závislosti na použitém upínači[2]



Obr.P2.2 Přesné upínače fa Schunk[24]

PŘÍLOHA 3 *– Technologická charakteristika vystružování*

KINEMATICKÉ SOUVISLOSTI[26,44]



v_c – ŘEZNÁ RYCHLOST

$$v_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{10^3}\left[m \cdot \min^{-1}\right]$$

D *– průměr vystružované díry [mm],*
n *– otáčky nástroje [min^{-1}]*

v_f – RYCHLOST POSUVU

$$v_f = 10^{-3} \cdot f \cdot n, \left[m \cdot \min^{-1}\right]$$

f – POSUV NA OTÁČKU NÁSTROJE

$$f = f_z \cdot z, [mm]$$

f_z *- posuv na zub [mm]*
z *– počet zubů nástroje [-]*

v_e – RYCHLOST ŘEZNÉHO POHYBU

$$v_e = \sqrt{v_c^2 + v_f^2}, \left[m \cdot \min^{-1}\right]$$

φ – ÚHEL POSUNOVÉHO POHYBU

η – ÚHEL ŘEZNÉHO POHYBU

$$tg\,\eta = \frac{v_f}{v_c} = \frac{f}{\pi \cdot D}, [-]$$

JMENOVITÝ PRŮŘEZ TŘÍSKY[26,44]

A_D - JMENOVITÝ PRŮŘEZ TŘÍSKY

$$A_D = a_p \cdot f_z, \left[mm^2\right]$$

a_p – šířka záběru ostří [mm]
a_f – záběr ostří ve směru posuvu [mm]

A_{DC} – CELKOVÝ PRŮŘEZ TŘÍSKY

$$A_{DC} = \sum_i A_{Di}, \left[mm^2\right]$$

i <1,n_z>, kde n_z je počet břitů výstružníku;

b_D – JMENOVITÁ ŠÍŘKA TŘÍSKY

$$b_D = \frac{a_p}{\sin \chi_r}, [mm]$$

χ_r - úhel nastavení hlavního ostří [°]

h_D – JMENOVITÁ TLOUŠŤKA TŘÍSKY

$$h_D = \frac{A_D}{b_D} = f_z \cdot \sin \chi_r, [mm]$$

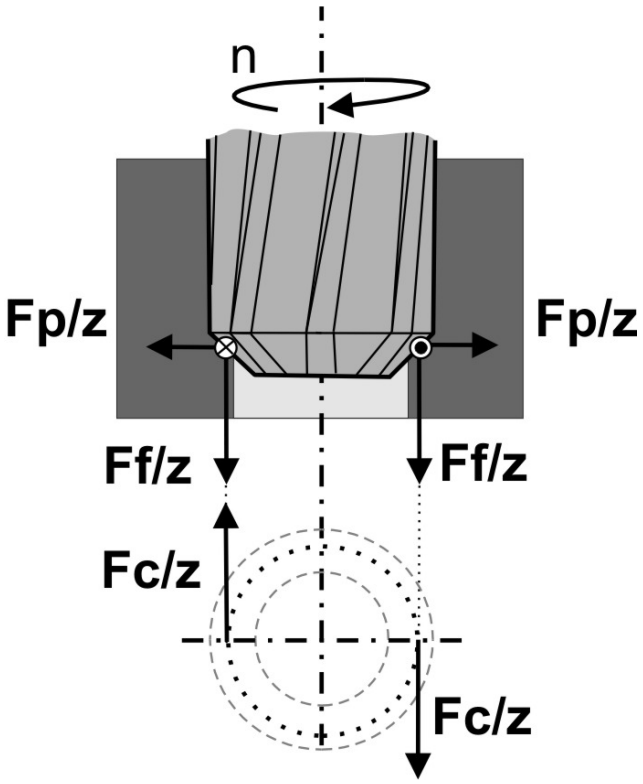
platí také:

$$A_D = b_D \cdot h_D, \left[mm^2\right]$$

Q – VÝKONNOST OBRÁBĚNÍ

$$Q = A_D \cdot v_c, \left[cm^3 \cdot \min^{-1}\right]$$

ŘEZNÁ SÍLA, VÝKON A KROUTÍCÍ MOMENT [26,44]



P_c – ŘEZNÝ VÝKON

$$P_c = \frac{M_d \cdot n}{9554}, [kW]$$

M_d – kroutící moment [Nm]
(určen experimentálně - dynamometr)

F_p – PASIVNÍ SÍLA [N]

F_f – POSUVOVÁ SÍLA [N]

F_c – ŘEZNÁ SÍLA [N]

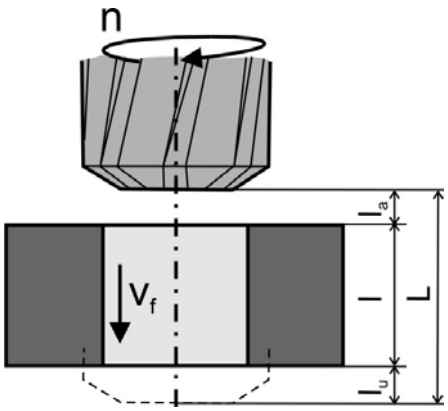
Při vystružování se vznikající síly dají jen velmi nejistě určit výpočtem pomocí měrné řezné síly **k_c.** Síly pro odvádění třísek jsou několikanásobně nižší než třecí síly (síly vznikající v otvoru).

k_c – MĚRNÁ ŘEZNÁ SÍLA

$$k_c = \frac{P_c}{Q} = \frac{F_c \cdot v_c}{A_D \cdot v_c}, [MPa]$$

$$F_c = k_c \cdot A_D = k_c \cdot h_D \cdot b_d, [N]$$

VÝPOČET ČASU [26]



t_{AS} – JEDNOTKOVÝ STROJNÍ ČAS

$$t_{AS} = \frac{L}{f \cdot n} [\min]$$

L – celková dráha pro průchozí díry

$$L = l + l_a + l_u \cong l + D, [mm]$$

L – celková dráha pro slepé díry

$$L = l + l_a, [mm]$$

l – tloušťka obrobku [mm],
l_a – dráha náběhu [mm],
l_u – dráha přeběhu [mm];

TRVANLIVOST [26,44]

Trvanlivost je určena intervalem mezi nasazením do řezného procesu a vznikem poruchy (postupná – např. opotřebení, náhlá – např. vylomení břitu), kterou končí provozuschopný stav výstružníku. Jako kritérium vzniku poruchy se může diagnostikovat: *opotřebení břitu, drsnost povrchu vystružené díry, úchylka průměru vystružené díry, změna velikosti řezné síly apod.*

Při vystružování se trvanlivost vyjadřuje jako **čas řezného procesu T** [min], **dráha řezu l_T** [m], nebo jako **délka vystružené díry L_T**. V hromadné automatizované výrobě se s výhodou uvádí v **počtu kusů** vystružených součástí určitého typu **n_T**.

Pro známou hodnotu **T** [min] vyšetřenou pro podmínky řezného procesu **n** [min^{-1}], **D** [mm] a
f [mm] je možné vyjádřit **l_T** a **L_T** následovně:

$$l_T = \pi \cdot D \cdot n \cdot 10^{-3} \cdot T, [m]$$

$$L_T = n \cdot f \cdot 10^{-3} \cdot T, [m]$$

PŘÍLOHA 4 *– Měření a kontrola vystružovacích nástrojů*

Hlavní úlohou přístrojů pro měření a kontrolu nástrojů je kontrola skutečných rozměrů nástroje při výrobě, před jeho použitím, případně přímá identifikace stavu břitu nástroje přímo na CNC stroji.[17]

Seřízení nástroje před vlastním procesem obrábění, vyžadují z hlediska osových nástrojů především **jednobřité vystružovací nástroje**. Jednobřitý vystružovací nástroj je schopný dosáhnout vyšší rozměrové a tvarové přesnosti než nástroj vícebřitý, naproti tomu však dosahuje nižší produktivity. Konstrukční provedení jednobřitého vystružovacího nástroje vyžaduje vysokou přesnost nastavení jeho činné části. Přesně a správně nastavený výstružník vyniká vysokou hospodárností, zvýšenou trvanlivostí, a vysokou jakostí vystruženého otvoru.

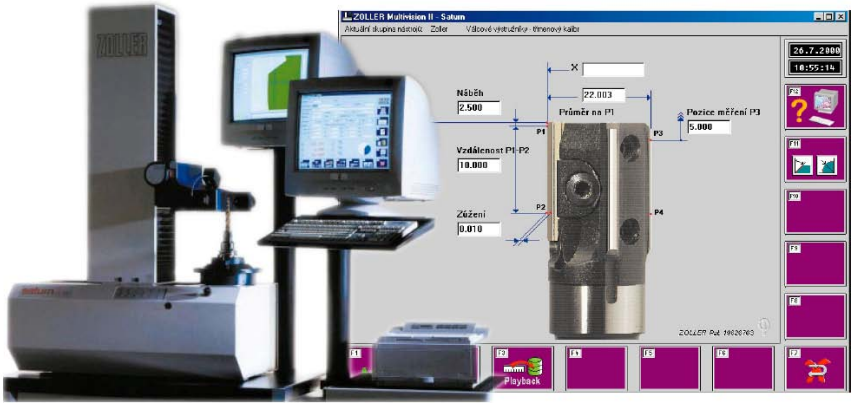
Při nastavování výstružníků je zvláště důležitým kritériem jeho **kuželovitost.** Špatně nastavená kuželovitost vystružovacího nástroje snižuje jeho trvanlivost a zhoršuje výstupní parametry otvoru.[10,11]

Příliš malá kuželovitost	Výstružník materiál „škrábe" tzn. zhoršená přesnost a struktura povrchu; v mezních případech hrozí i zlomení výstružníku;
Příliš velká kuželovitost	Nehrozí zalomení výstružníku, ale dosažená přesnost a struktura obrobeného povrchu je nedostatečná;

■ *Seřizovací a měřící přístroj Zoller – Saturn 2*

Seřizovací přístroj firmy Zoller zajišťuje jednoduché a rychlé měření a seřizování nejen vystružovacích nástrojů s plně automatickým optickým systémem měření (CCD kamera) a garantovanou přesností ±2μm. Vliv obsluhy na výsledek měření je minimální. Obsluha provádí pouze upnutí vystružovacího nástroje do upínače a zapnutí automatického systému měření. Obsluhu navíc usnadňuje i fotoreálný výstupní dialog. Ve své podstatě se jedná o výkres s mírami, které definují např. délku a průměr nástroje, vzdálenost mezi měřícími body, požadovanou kuželovitost apod.[10]

Součástí systému je software usnadňující postup měření. Kromě přehledného uživatelského rozhraní při hodnocení výsledku měření je jednou z funkcí tohoto programu vytváření dokumentace nástroje. Výsledky měření jsou zobrazeny vždy v podobě grafu, nebo tabulky a uživatel má možnost tyto hodnoty uspořádat, libovolně označit, změnit, uložit a vytisknout ve formě vlastního protokolu. Software umožňuje také přenést změřené údaje a další získané parametry nástroje přes počítačovou síť přímo na brousící stroj, což je možné s výhodou použít při výrobě samotného nástroje.[10]



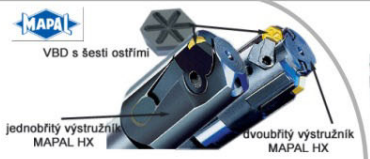
Obr.P4.1 Měřící zařízení a fotoreálný výstupní dialog[10]

PŘÍLOHA 5

SOUČASNÉ VYSTRUŽOVACÍ NÁSTROJE

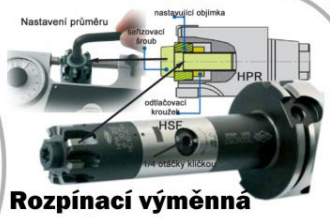
SEŘIDITELNÝ

MODULÁRNÍ (SESTAVITELNÝ)

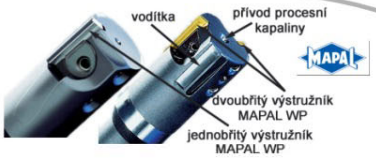


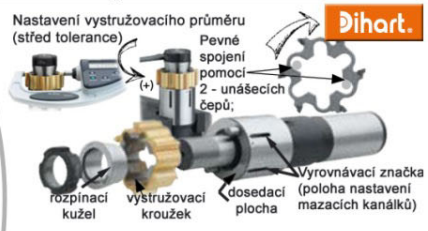
Výstružník s vyměnitelnou břitovou destičkou

- ⊕ přesnost IT5 až IT8,
- ⊕ snadná výměna VBD,
- ⊕ různé řezné materiály,
- ⊖ nutnost seřízení,
- ⊖ nebezpečí změny nastavení,
- ⊖ vliv lidského faktoru;



Rozpínací výměnná vystružovací hlavice ⊕a⊖ viz. kombinace rozpínacího výstružníku s vyměnitelnou řeznou částí;





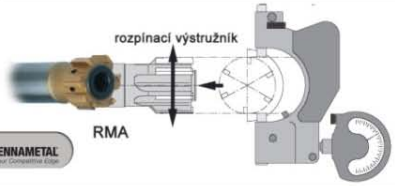
Rozpínací vystružovací korunky

- ⊕ přesnost IT6 - IT7, výměnná řezná část,
- ⊕ aplikace různých řezných materiálů,
- ⊖ náročná výroba,
- ⊖ vysoká cena,
- ⊖ technická zručnost obsluhy,
- ⊖ vliv lidského faktoru;

MONOLITNÍ (CELISTVÝ)

Rozpínací vystružníky

- ⊕ přesnost IT6 - IT8,
- ⊕ prodloužení trvanlivosti rozepnutím nástroje,
- ⊖ vysoká náročnost výroby,
- ⊖ vysoká cena,
- ⊖ technická zručnost obsluhy,
- ⊖ lidský faktor;



PEVNÝ

MODULÁRNÍ (SESTAVITELNÝ)

Výstružníky s výměnnou řeznou hlavicí mechanicky upínané

- ⊕ přesnost IT5 - IT8,
- ⊕ výměna řezné části bez seřizování,
- ⊕ aplikace různých druhů řezných materiálů
- ⊕ možná výměna přímo na stroji,
- ⊖ méně přesný mechanický způsob upnutí:

Výstružníky s výměnnou řeznou hlavicí - tepelně upínané

- ⊕ přesnost IT5 - IT8,
- ⊕ výměnná řezná část bez seřizování,
- ⊕ vysoká tuhost tepelného upnutí,
- ⊖ nutnost zařízení pro tepelné upínání nástrojů;

VYRÁBÍ POUZE HAM-FINAL

MONOLITNÍ (CELISTVÝ)

Standardní výstružníky

- ⊕ přesnost IT7 - IT8,
- ⊕ nízká cena,
- ⊕ krátké dodací lhůty (skladové zásoby),
- ⊖ nízké pracovní podmínky,
- ⊖ malá produktivita;

Součást výrobního programu všech výstružníkami se zabývajících výrobců.

Výkonné monolitní výstružníky - vystružovací nástroje s aplikovanými výkonnými řeznými materiály (SK, cermet, PKNB, PKD) dosahující vysokých řezných parametrů a vysoké jakosti otvoru. Aplikace vysoce přesného upnutí (tepelné, hydraulické aj.).

např.: Výstružníky s tepelně upínanou řeznou hlavicí

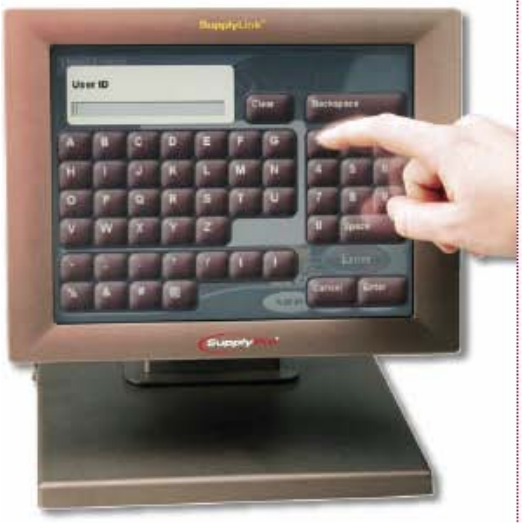
- ⊕ přesnost IT6 - IT7,
- ⊕ výměnná řezná část,
- ⊕ tuhé tepelné upnutí,
- ⊖ výměna řezné části možná pouze u výrobce;

Pozn.: Nejedná se o reprezentativní vzorek výrobců, ale pouze o segmentaci současných druhů výstružníků;

PŘÍLOHA 6

PRAMET ProLog® - NÁKLADY POD KONTROLOU

Kontrolní seznam pro správu nástrojů vám okamžitě ukáže úspory nákladů a mnohé další výhody, které systém PRAMET ProLog® nabízí.



	Ano	Ne
Je vždy zajištěna dostupnost vašich nástrojů?	☐	☐
Jsou vaše zásoby redukovány na minimum?	☐	☐
Jsou následné objednávky generovány automaticky a včas?	☐	☐
Je uživatel naváděn snadno a bezproblémově na skladová místa nástrojů?	☐	☐
Můžete nastavit přístup k zásobám pro lidi v jakoukoliv dobu?	☐	☐
Jsou informace a statistické údaje o skladových zásobách dávány k dispozici rychle a transparentním způsobem?	☐	☐
Může být inventura skladu provedena kdykoliv pouhým stisknutím tlačítka?	☐	☐
Reguluje váš systém přístup k novým a repasovaným nástrojům?	☐	☐
Zajišťuje váš systém automatické řízení zásobovacího řetězce a skladového hospodářství?	☐	☐
Je spotřeba a skladování nástrojů přesně a bezpečně sladěno?	☐	☐
Je váš systém pružný při velké nebo malé různosti produktů, velkém nebo malém obratu skladu, u malých nebo velkých nástrojů?	☐	☐
Pokud již máte skladovací skříň:		
Může vydávat jednotlivě nebo v jednotkovém balení?!	☐	☐
Může být vaše současné řešení snadno napojeno na podnikový software?	☐	☐
Provádí systém synchronizaci transakcí s nástroji automaticky pomocí vlastního softwaru pro řízení skladu?	☐	☐
Máte on-line přehled o všech skladech a zásobách pouhým stisknutím tlačítka?	☐	☐
Můžete integrovat různé dodavatele nástrojů?	☐	☐
Je vydávání a vracení nástrojů uživatelsky příjemné a bezproblémové?	☐	☐

Takže?

Kolik potenciálních výhod jste identifikovali?

Uvítali bychom příležitost implementovat u vás náš systém a začít s úsporami nákladů!

***PŘÍLOHA 7* - PVD povlaky firmy CemeCon**

Firma CemeCon je jednou z vedoucích firem v oboru fyzikálního povlakování a vedoucí firma v sektoru diamantových povlaků pro obráběcí nástroje. Společnost má zastoupení po celém světě. Má své filiálky v USA, Skandinávii, Číně, od roku 2007 také jeden závod v České republice (Ivančice). Firma zajišťuje jak povlakování v jednotlivých pobočkách společnosti tak výrobu povlakovacích linek pro své zákazníky realizující povlakování vlastními silami.[16]

Firma jako jedna z mála na světě aplikuje povlakovací princip „sputtern" (sputerování = katodové rozprašování) zaručující nejvyšší kvalitu a flexibilitu produkovaných povlaků (extrémně hladký povrch, vysoká tvrdost i za vysokých teplot, vysoká adheze, odolnost vůči oxidaci, nízké tření, minimální zaoblování řezných hran, apod.).[16]

V České republice firma spolupracuje například s výrobcem a renovátorem nástrojů firmou Rotana a.s., aplikací povlaku na bázi supernitridů (HYPERLOX) zajistila 15 % nárůst výkonu ve společnosti Škoda Auto a.s., v neposlední řadě se podílela na vývoji vystružovací hlavice MT3 společnosti Ham-Final s.r.o.[16]

Společnost HAM-FINAL s.r.o. spolupracuje s firmou CemeCon s.r.o. (Ivančice) na vývoji výměnných vystružovacích hlavic MT3 od roku 2006. V průběhu projektu byly vyzkoušeny následující PVD povlaky: **HSN^2, TINALOX SN a HYPERLOX**. Nejvyšší dosahovaná životnost nástroje v průběhu dlouhodobých testů byla dosahována s aplikací povlaku HYPERLOX.[16]

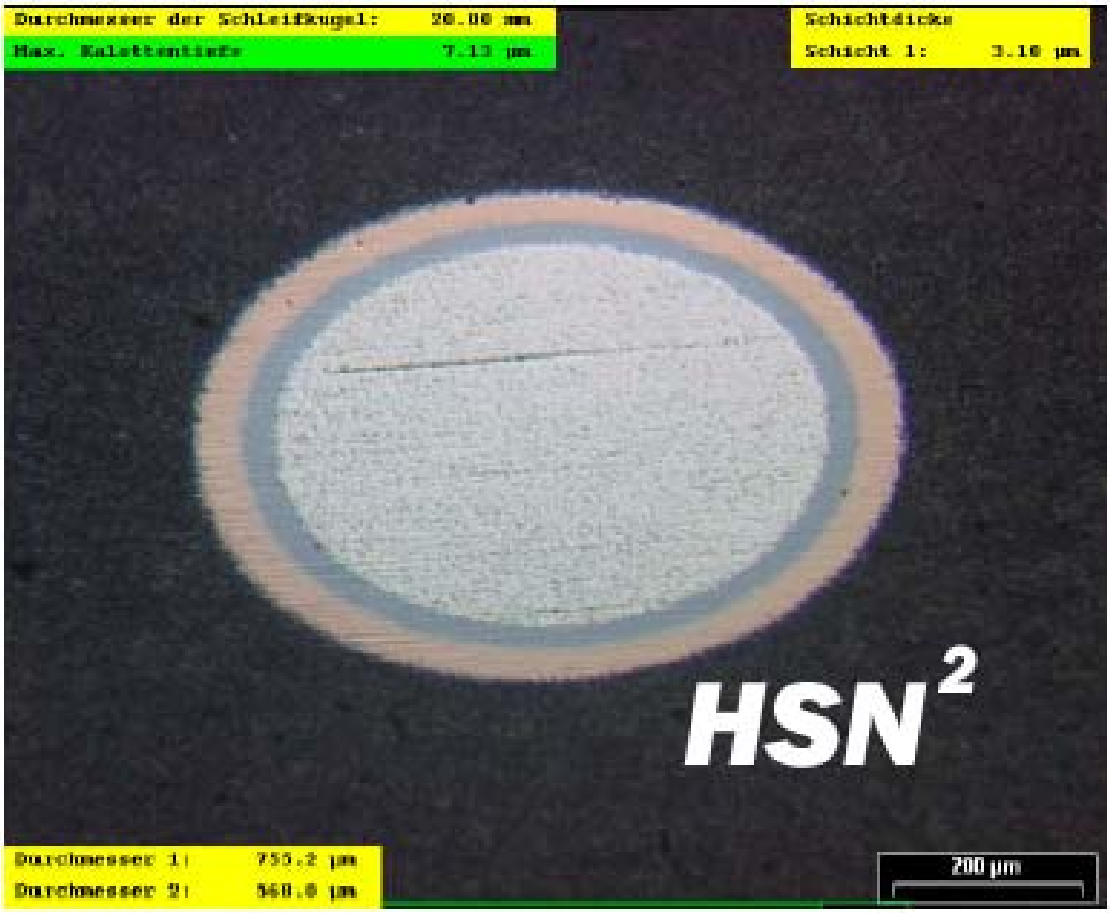
Tab. P7.1 PVD povlaky firmy CemeCon[45]

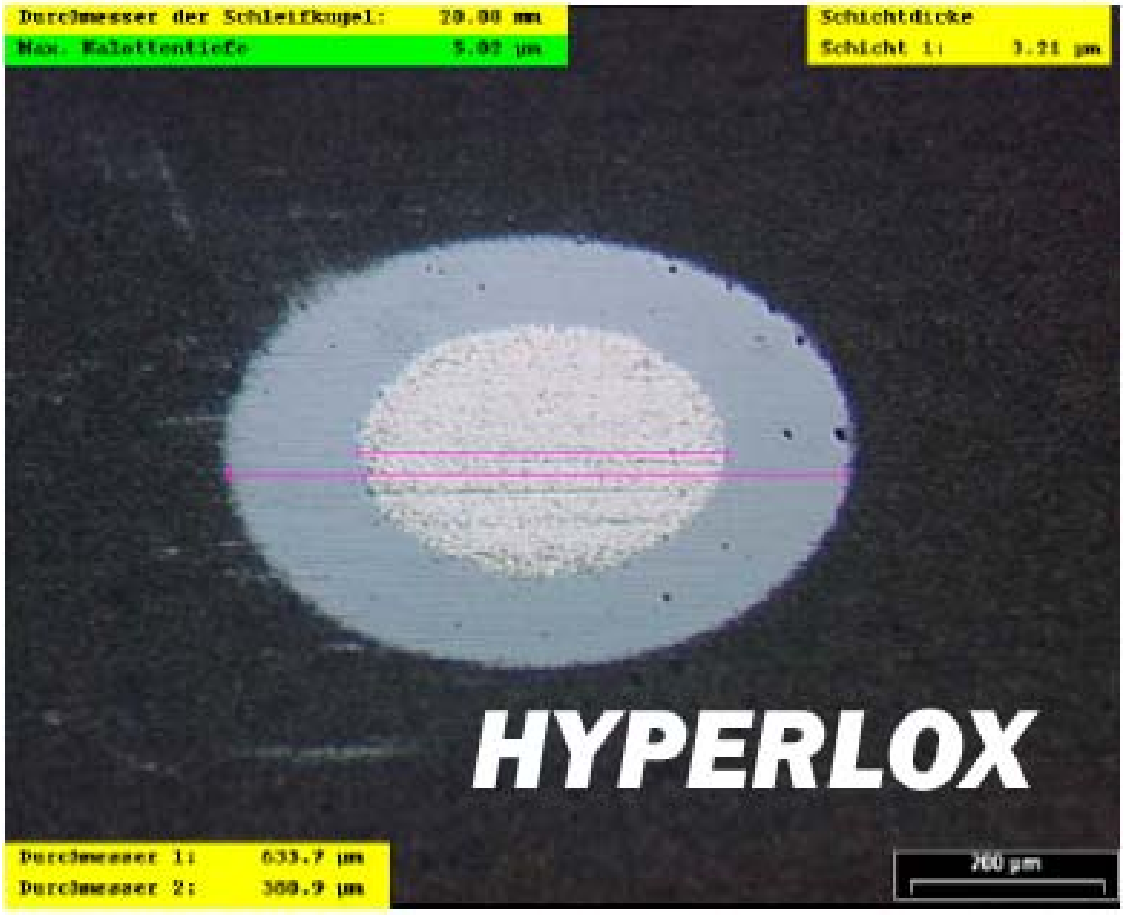
Povlak	Materiál	Struktura	Tvrdost [$HV_{0,05}$]	Max. prac. teplota [°C]	Tloušťka [µm]		Koeficient tření
					1)	2)	
ALOX SN^2	**TiAlN**	**nanokompozit**	3 500	1 000	6±2	4±1,3	0,3
TINALOX SN					3±1	3±1[4)]	
HSN^2			3 800	1 100		4±1,3	
HYPERLOX			3 700		3±1	3±1[2,4)]/4,5±1,5[3)]	
CC AluSpeed	TiB_2	monovrstva	4 000	900		4,5±1,5[3)]	
SUPERTIN	TiN		2 300	600	3±1	3±1[4)]	0,4
CCplusC	TiN+C	multivrstva	3 300	900		3±1	0,2
CcplusD	CrCN+DLC	gradientní multivrstva	2 800	500			0,1
CCDia 08	Diamant (C)	sp3	10 000	700	*Pozn.: 1) VBD, 2) stopkové nástroje, 3) odvalovací frézy, 4) standardní tloušťka (jiné hodnoty na požádání);* *U diamantových povlaků je tloušťka závislá na nástroji;*		
CCDia HiCo							
CCDia FiberSpeed							
CCDia MultiSpeed							

■ – hlavní využití
□ – vedlejší využití

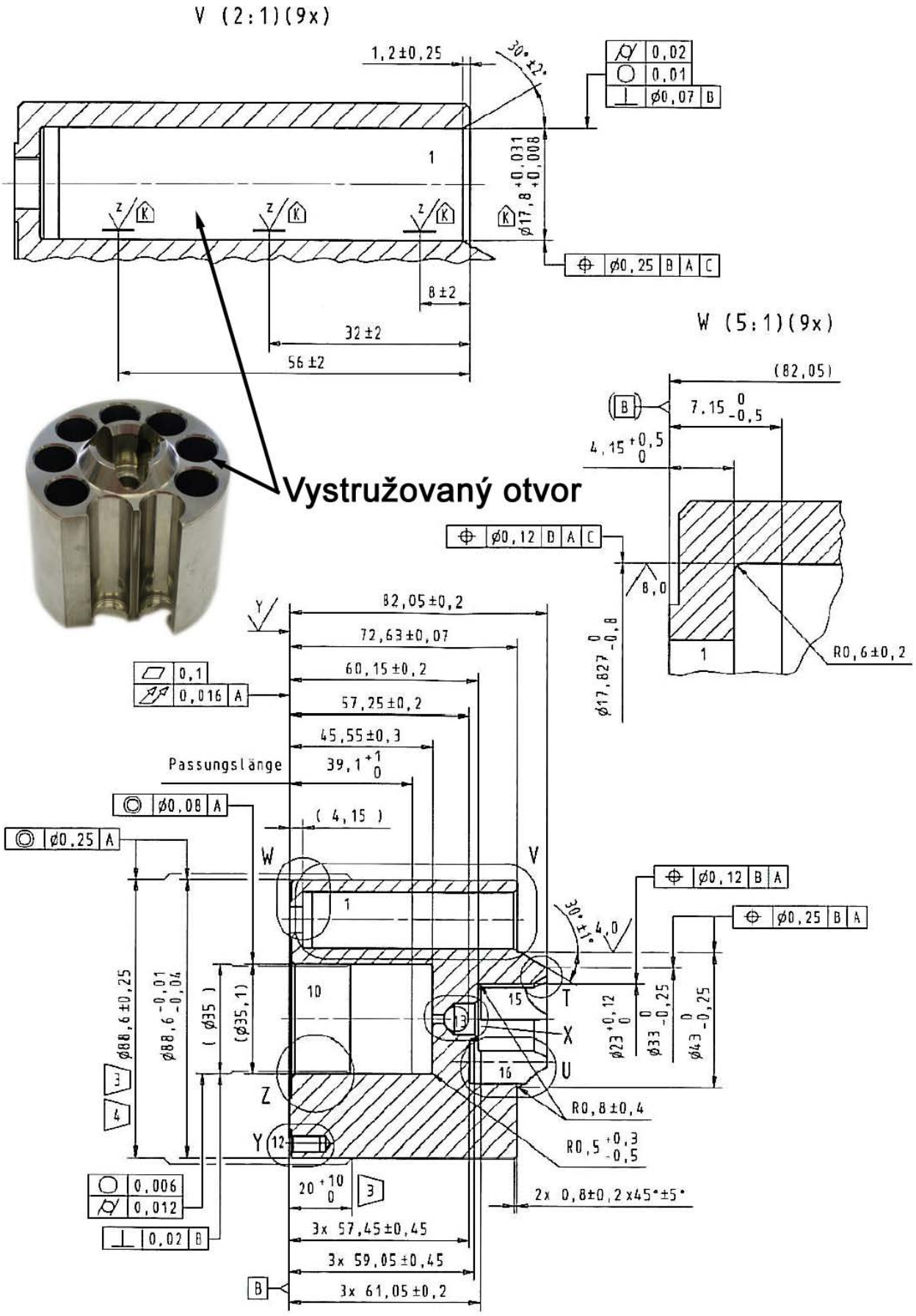
Aplikace na materiály						
název povlaku	**P**	**M**	**K**	**N**	**S**	**H**
TINALOX SN	■	■	■		■	
HSN^2					■	■
HYPERLOX	□	■	□		■	■

PŘÍLOHA 8 *– Aplikované povlaky firmy CemeCon*

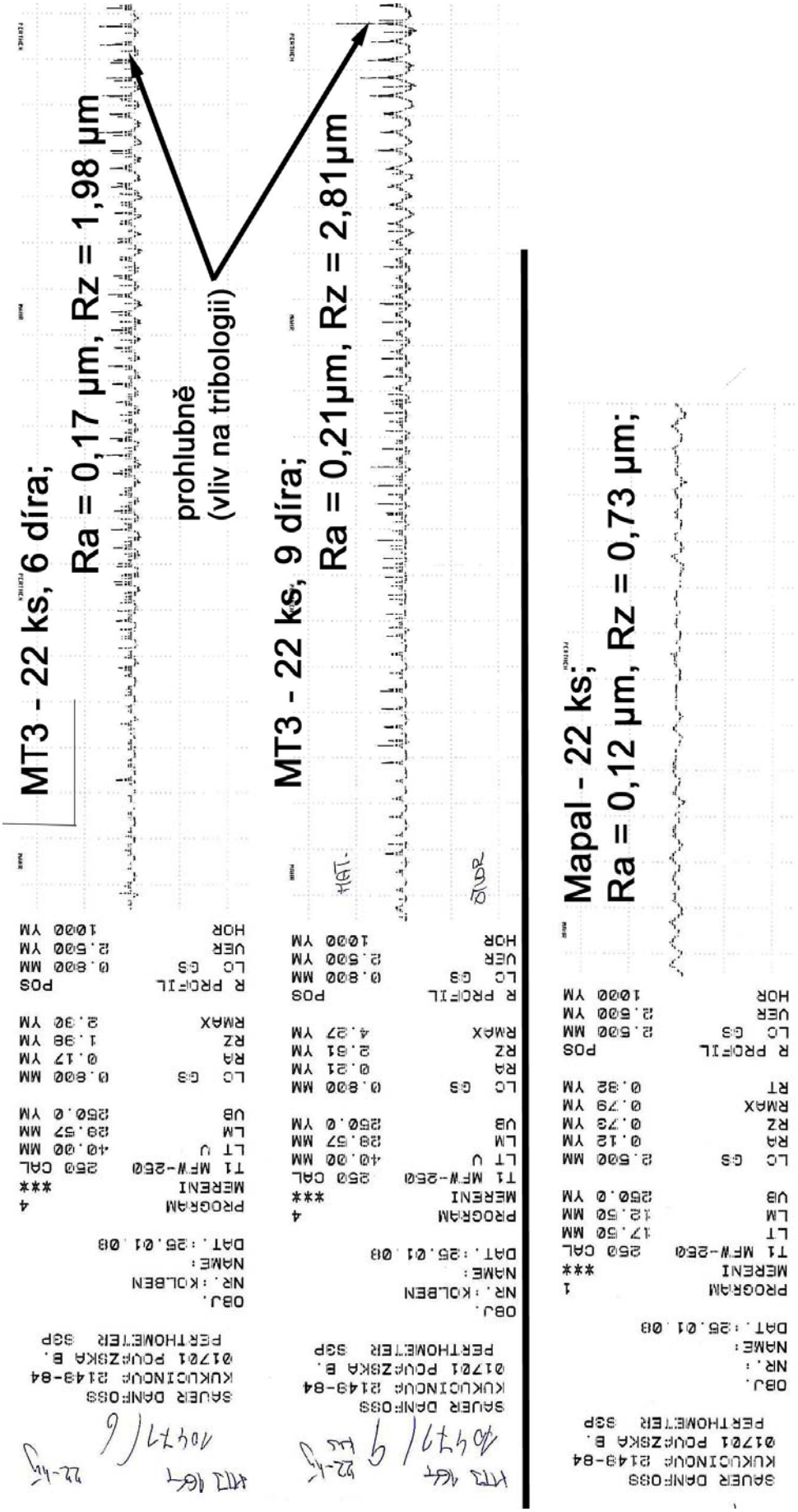




PŘÍLOHA 9 – *Výkres válce hydromotoru*

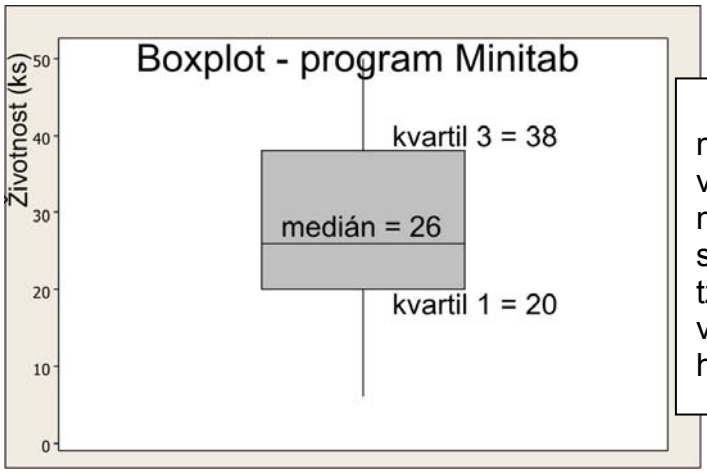


PŘÍLOHA 10 *– Příklad struktury povrchu – Mapal versus MT3*



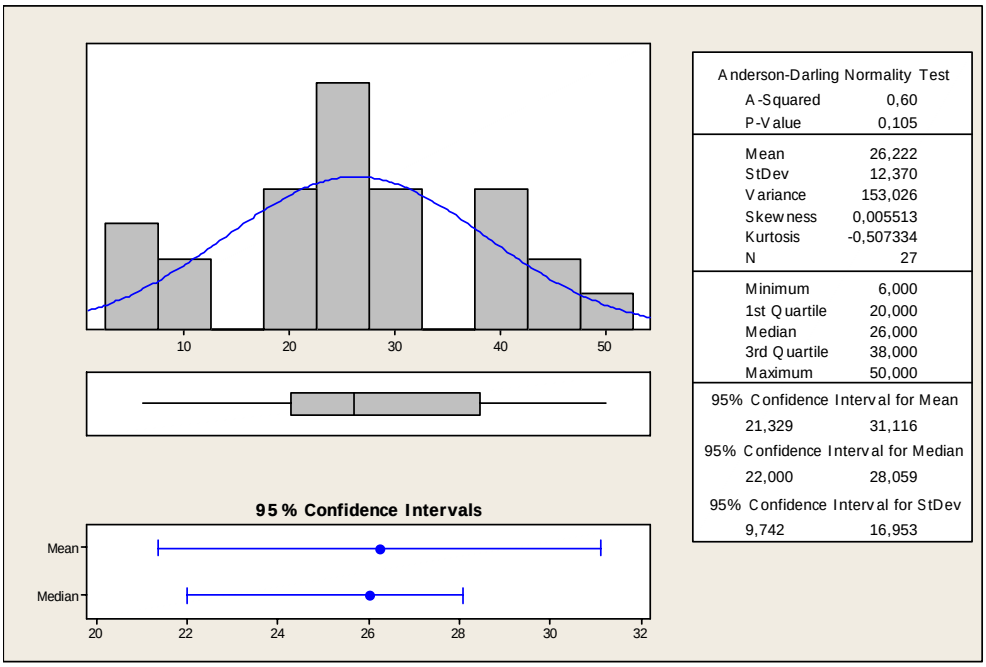
PŘÍLOHA 11 *– Statistické vyhodnocení životnosti s aplikováním PVD povlaků TINALOX SN a HYPERLOX – výstup z programu Minitab*

Povlak TINALOX SN



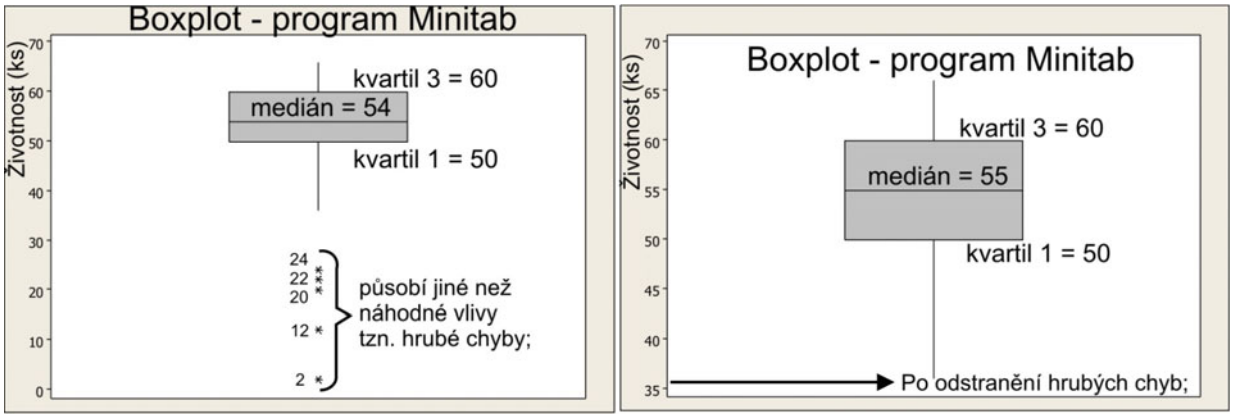
Na základě grafu – Boxplot je možné konstatovat, že v náhodném výběru dosažených životností nástrojem s povlakem TINALOX SN se nevyskytují významné odchylky tzn. nevyřazujeme s náhodného výběru žádnou hodnotu v důsledku hrubé chyby.

Obr. P11.1 Metoda testování odlehlých pozorování – graf Boxplot

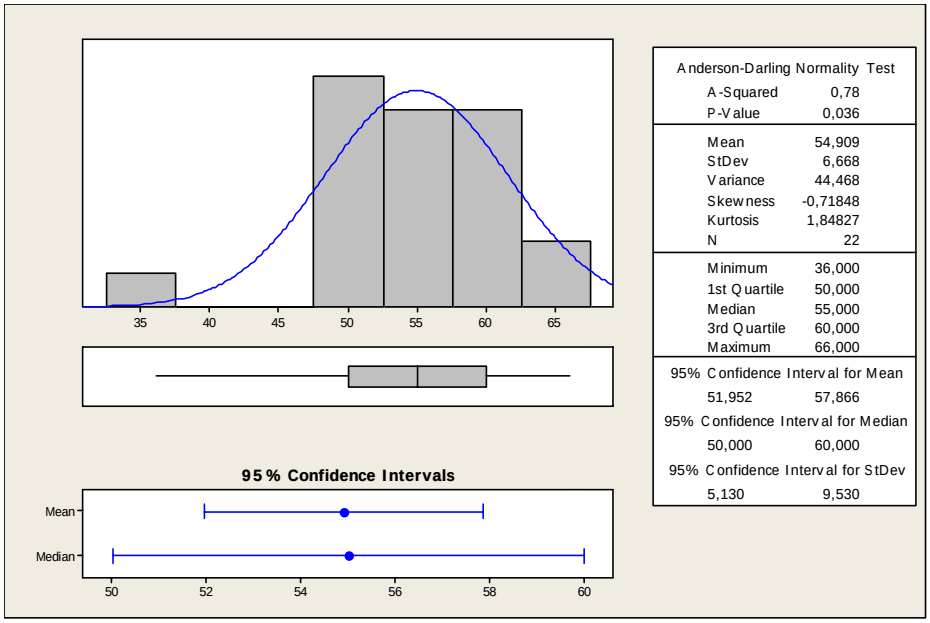


Obr. P11.2 Grafická sumarizace dosažených výsledků

Povlak HYPERLOX



Obr. P11.3 Odstranění odlehlých pozorování na základě grafu Boxplot



Obr. P11.4 Grafická sumarizace dosažených výsledků

TEST VÝZNAMNOSTI ROZDÍLU MEZI DVĚMA ROZPTYLY[27]

1. Volba hladiny významnosti α = 0,05
2. Formulace nulové a alternativní hypotézy
   - nulová hypotéza $H_o: \sigma_T^2 = \sigma_H^2$ (rozptyly jsou stejné)
   - alternativní hypotéza $H_A: \sigma_T^2 \neq \sigma_H^2$ (rozptyly jsou různé)
3. Volba testovacího kritéria

Výsledek testu – program Minitab

```
95% Bonferroni confidence intervals for standard deviations

           N    Lower    StDev    Upper
TINALOX   (C1)   27  9,42793  12,3704  17,7934
HYPERLOX  (C7)   22  4,94986   6,6684  10,0716


F-Test (Normal Distribution)
Test statistic = 3,44; p-value = 0,005


Levene's Test (Any Continuous Distribution)
Test statistic = 4,38; p-value = 0,042
```

4. Interpretace výsledků: P-hodnota je menší jak 0,05 tzn. s minimální spolehlivostí 95% zamítán H_o a přijímám H_A – rozptyly nejsou stejné. Tento výsledek bude dále využit při následujícím testu významnosti rozdílu mezi středními hodnotami.

TEST VÝZNAMNOSTI ROZDÍLU MEZI DVĚMA STŘEDNÍMI HODNOTAMI[27]

1. Volba hladiny významnosti α = 0,05
2. Formulace nulové a alternativní hypotézy
   - nulová hypotéza $H_o: \mu_T^2 = \mu_H^2$ (střední hodnoty jsou stejné)
   - alternativní hypotéza $H_A: \mu_T^2 \neq \mu_H^2$ (střední hodnoty jsou různé)
3. Volba testovacího kritéria

Výsledek testu – program Minitab

Two-Sample T-Test and CI: C1; C7

```
Two-sample T for C1 vs C7
```

```
                 N   Mean  StDev  SE Mean
TINALOX   (C1)  27   26,2   12,4      2,4
HYPERLOX  (C7)  22  54,91   6,67      1,4


Difference = mu (C1) - mu (C7)
Estimate for difference:  -28,69
95% CI for difference:  (-34,29; -23,09)
T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value = -10,35  P-Value = 0,000  DF = 41
```

4. Interpretace výsledků: P-hodnota je menší jak 0,05 tzn. s minimální spolehlivostí 95% zamítán H_o a přijímám H_A – střední hodnoty jsou různé. Stanovení nové alternativní hypotézy: $H_A : \mu_T^2 < \mu_H^2$ (je střední hodnota u HYPERLOXU větší).

Výsledek testu – program Minitab: Two-Sample T-Test and CI: C1; C7

```
Two-sample T for C1 vs C7

                 N   Mean  StDev  SE Mean
TINALOX   (C1)  27   26,2   12,4      2,4
HYPERLOX  (C7)  22  54,91   6,67      1,4


Difference = mu (C1) - mu (C7)
Estimate for difference:  -28,69
95% upper bound for difference:  -24,02
T-Test of difference = 0 (vs <): T-Value = -10,35  P-Value = 0,000  DF = 41
```

Interpretace výsledků: P-hodnota je menší jak 0,05 tzn. s minimální spolehlivostí 95% zamítán H_o a přijímám H_A – střední hodnota s povlakem HYPERLOX je větší.

■ TEST VÝZNAMNOSTI ROZDÍLU MEZI STŘEDNÍ HODNOTOU A ZNÁMOU HODNOTOU a *(41 ks)* [27]

V našem případě mezi střední hodnotou dosažené životnosti s povlakem HYPERLOX a žádoucí hodnotou životnosti 41 ks.

1. Volba hladiny významnosti α = 0,05
2. Formulace nulové a alternativní hypotézy
   - nulová hypotéza $H_o : \mu_H = 41$
   - alternativní hypotéza $H_A : \mu_H \neq 41$
3. Volba testovacího kritéria

Výsledek testu – program Minitab: One-Sample T: C7

```
Test of mu = 41 vs not = 41
          Variable   N   Mean  StDev  SE Mean      95% CI         T      P
HYPERLOX  (C7)       22  54,91   6,67     1,42  (51,95; 57,87)  9,78  0,000
```

4. Interpretace výsledků: P-hodnota je menší jak 0,05 tzn. s minimální spolehlivostí 95 % zamítán H_o a přijímám H_A . Stanovení nové alternativní hypotézy: $H_A : \mu_H > 41$ (je střední hodnota u HYPERLOXU větší).

Výsledek testu – program Minitab: One-Sample T: C7

```
Test of mu = 41 vs > 41
                                  95% Lower
          Variable   N   Mean  StDev  SE Mean      Bound     T      P
HYPERLOX  (C7)       22  54,91   6,67     1,42      52,46  9,78  0,000
```

Interpretace výsledků: P-hodnota je menší jak 0,05 tzn. s minimální spolehlivostí 95% zamítán H_o a přijímám H_A – střední hodnota s povlakem HYPERLOX je větší jak požadovaná životnost 41 ks.

PŘÍLOHA 12 *– Nekonvenční technika vystružování*

Nové vystružovací nástroje firmy Beck představují aplikaci **většího počtu vlepených břitových destiček** na tělese nástroje. Jedná se o koncepci výstružníků zaměřenou na vystružování výhradně průchozích otvorů. Nástroje nemají vytvořený prostor pro zpětný odvod třísek, což umožňuje použití většího počtu břitů než u standardně vyráběných nástrojů.[14]

Přednosti vyplívající z konstrukce nástroje:

- vysoké hodnoty posuvů dané vysokým počtem břitů,
- možnost osazení břity z různorodých řezných materiálů bez výměny těla nástroje (neomezená možnost výměny),
- rychlá a méně nákladná výměna břitů **speciálními postupy lepení** (náhrada za časově a finančně nákladnější pájení),
- dosažení delší životnosti nástroje při vyšších rychlostech obrábění než v případě standardních výstružníků;[14]

Obr. P12.1 Nové vystružovací nástroje firmy Beck[14]

Příklad aplikace – vystružování otvoru brzdového sedla:

Nástroj: Stupňovitý výstružník s nalepenými břity z SK,
průměr: Ø39 a 40 mm;

Obráběný materiál: GGG 40-60 (tvárná litina);

Řezné podmínky:
v_c = 70 m·min^{-1}, **f = 3,4 mm**;

Požadavek:
- dosažení delší životnosti nástroje při vyšších řezných parametrech (dodržení výrobního taktu);

Výsledek:
- s jedním nástrojem obrobeno 10 000 otvorů hloubky 131 mm (tzn. 1,3 km vystružené dráhy);