

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

NÁVRH SOUSTRUŽNICKÉHO NOŽE S VNITŘNÍM CHLAZENÍM

CONSTRUCTION OF TURNING TOOL WITH INTERNAL COOLING

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

JAN MATOUŠEK

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. OSKAR ZEMČÍK, Ph.D

BRNO 2011

Zadání

Licenční smlouva

ABSTRAKT

Jan MATOUŠEK: Návrh soustružnického nože s vnitřním chlazením

Bakalářská práce zaměřena na všeobecný přehled soustružení, dále na řezné nástroje s vnitřním chlazením. Popisuje výhody a nejnovější poznatky v oblasti řezných nástrojů s vnitřním chlazením u světových výrobců. V druhé části závěrečné práce je řešen návrh soustružnického nástroje s vnitřním chlazením a uvedeno jeho technologické a ekonomické zhodnocení.

Klíčová slova: Obrábění, řezný nástroj, vnitřní chlazení, tlakové chlazení, chlazení.

ABSTRACT

Jan MATOUŠEK: Construction of turning tool with internal cooling

The bachelor's thesis is partly focused on a general overview of turning and the turning tools with internal cooling. It describes the benefits and latest developments of this section at worldwide producers. There are a solution of a proposal of turning tools with internal cooling and its technological and economic evaluation in the second part of the thesis.

Key words: Machining, turning tool, internal cooling, pressure cooling, cooling.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

MATOUŠEK, Jan. *Název: Návrh soustružnického nože s vnitřním chlazením*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2011. s45, příloh 1. Ing. Oskar Zemčík, Ph. D.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma *Návrh soustružnického nože s vnitřním chlazením* vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

Datum

.....
Jméno a příjmení bakaláře

Poděkování

Děkuji tímto ing.Oskarů Zemčikovi, Ph.D a ing.Vladimíru Maixnerovi z firmy Pramet Tools, s.r.o. za cenné připomínky a rady při vypracování bakalářské práce.

OBSAH

Abstrakt.....	4
Prohlášení.....	6
Poděkování.....	7
Obsah	8
Úvod	9
1 Soustružení.....	10
1.1 Obecná charakteristika procesu soustružení.....	10
1.1.1 Nástroj.....	10
1.1.2 Pohyb nástroje a obrobku [1].....	12
1.1.3 Tvorba třísky.....	13
2 Teplo a teplota řezání [3] [6]	14
2.1 Tepelná charakteristika řezného procesu	14
3 Chlazení a mazání při řezném procesu [3]	15
3.1 Funkce řezných medií	15
3.2 Řezná media musí v provozních podmínkách plnit různé funkce–např: ..	15
3.3 Druhy řezných kapalin	15
3.3.1 Přívod řezné kapaliny do zóny řezání [3]	16
4 Opotřebení břitu nástroje [6]	17
4.1 Podstata opotřebení	17
4.2 Druhy opotřebení řezných nástrojů.....	19
5 Trvanlivost a životnost nástroje [3].....	20
6 Nástrojové materiály [3] [5]	21
6.1 Oceli	22
6.2 Slinuté karbidy.....	22
6.3 Cermety	23
6.4 Řezná keramika.....	23
6.5 Supertvrdé řezné materiály.....	23
7 Sortiment významných výrobců řezných nástrojů	24
7.1 Seco Tools AB [9].....	24
7.2 Iscar [8].....	26
7.3 Sandvik Coromant [10]	29
7.4 Pramet Tools [11]	32
8 Návrh soustružnického nože s vnitřním chlazením	33
8.1 Volba	33
8.2 Důvod výběru	33
8.3 Cíl návrhu	34
8.4 Návrh nože	34
9 Technicko - ekonomické zhodnocení.....	37
Závěr.....	42
Seznam použitých zdrojů	43
Seznam použitých zkratk a symbolů	44
Seznam příloh	45

ÚVOD

Soustružení je třískové obrábění rotačních ploch, vnitřních nebo vnějších. Probíhá pomocí jednobřitého nástroje, kdy hlavní pohyb (rotaci) vykonává obrobek a další posuvový pohyb (přímočarý), provádí nástroj. Při soustružení je břit řezného nástroje namáhán řeznými silami a teplem. Velikost řezných sil je podmíněna odporem materiálu proti jeho porušení. Větší část energie potřebná na proces řezání se přemění na teplo, které výrazně ovlivňuje životnost nástroje. Proto je potřeba co nejefektivněji toto teplo z místa řezu odvést. Zbývající část energie 5 – 15 % se přemění na rozvoj pružných deformací a jiné práce. Z tohoto hlediska je chlazení řezných nástrojů neustále vyvíjeno a zdokonalováno, aby bylo dosaženo co nejlepšího využití řezného nástroje. Proto je jedním z hlavních faktorů, jakým způsobem přivedeme řeznou kapalinu do místa řezu.

Velký důraz je dále kladen na materiál nástroje. V dnešní době jsou nejvíce používány vyměnitelné břitové destičky ze slinutých karbidů. Dále jsou využívány řezné keramiky, cermety, polykrystalický kubický nitrid bóru a polykrystalický diamantu. Snahou všech výrobců je své řezné nástroje nadále zdokonalovat.

1 SOUSTRUŽENÍ

Obrábění je fyzikálně-mechanický proces, kterému se říká řezání. Je to proces, při kterém dochází k odebírání částic materiálu ve tvaru třísky břitem nástroje. V dnešní době je snaha tuto technologii co nejvíce zdokonalovat.

O soustružení lze obecně říci, že vytváří válcové tvary pomocí jediného bodu záběru nástroje do obrobku (obr. 1.1[8]), přičemž využívá kombinaci dvou pohybů - tj. rotace obrobku a posuv nástroje; někdy však může obrobek stát a pohyb koná pouze nástroj. Nástroj koná posuv buď ve směru osy obrobku a přitom mění průměr obrobku, nebo může směřovat do osy obrobku na konci, což znamená osoustružení a zkrácení. Posuv může být také kombinovaný – tímto způsobem lze dosáhnout kuželového nebo zakřiveného povrchu obrobku. Při technologickém procesu obrábění je vytvářen povrch obrobku z hlediska rozměru, tvaru i jeho jakosti.

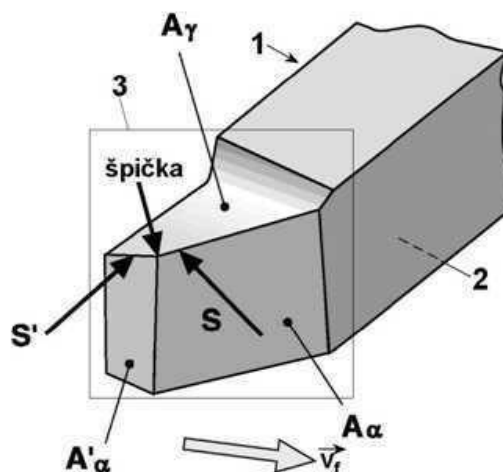


Obr. 1.1 Soustružnický nůž při úběru třísky⁸

1.1 Obecná charakteristika procesu soustružení

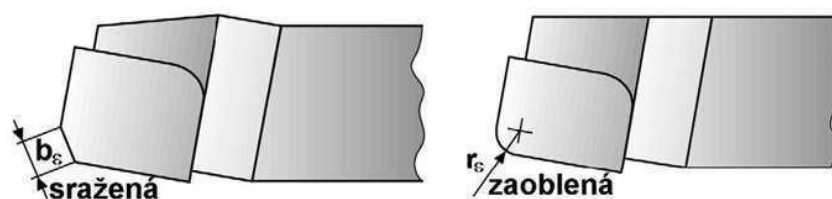
1.1.1 Nástroj

Nástroj je část výrobního systému, který umožňuje realizaci řezného procesu. Podle použití rozeznáváme nástroje komutativní, které jsou vyráběny dle ČSN, ISO, DIN apod., a speciální, které jsou vyráběny speciálně pro konkrétní danou operaci ve vlastní konstrukci náradí. Na obr. 1.2 [6] je znázorněna část soustružnického nože s jeho hlavními částmi:

Obr. 1.2 Části soustružnického nože⁶

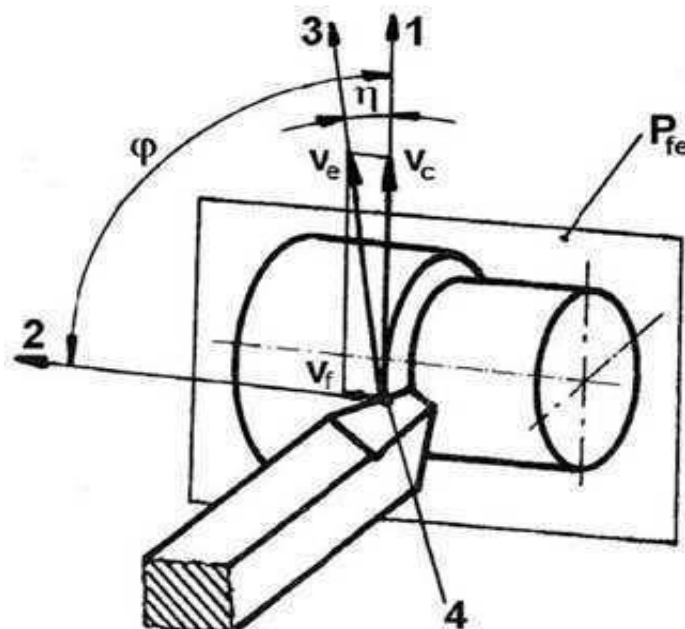
1 – upínací část (stopka), 2 – základna, 3 – řezná část

- Stopka je část nástroje, která slouží k upnutí,
- Základna je plochý prvek nástroje, který slouží k orientaci nástroje při jeho výrobě, ostření a kontrole,
- Břit je prvek řezné části nástroje ohraničený čelem a hřbetem,
- Čelo A_γ je plocha nebo souhrn ploch, po kterých odchází tříška,
- Hřbet A_α je plocha nebo souhrn ploch, které při řezném procesu směřují k přechodové ploše obrobku,
- Ostří je část nástroje, která vykonává řezání,
- Hlavní ostří S je část ostří, které začíná v bodě, kde nástrojový úhel nastavení hlavního ostří K_r je roven nule a která má sloužit k vytvoření přechodové plochy na obrobku,
- Vedlejší ostří S' je část ostří vykonávající dokončovací práci na obrobené ploše a nevytvářející přechodovou plochu,
- Uvažovaný bod ostří je bod nacházející se na libovolném místě hlavního nebo vedlejšího ostří. V tomto bodě se nachází začátek souřadného systému,
- Špička je relativně malá část řezné hrany, spojnice hlavního a vedlejšího ostří, která může mít tvar zaoblený nebo sražený. obr. 1.3 [6].

Obr. 1.3 Špička nástroje⁶

1.1.2 Pohyb nástroje a obrobku [1]

Na obr. 1.4 [6] je znázorněn pohyb obroku vzhledem k nástroji.



Obr. 1.4 Pohyb nástroje a obrobku při soustružení⁶

1 – směr hlavního pohybu, 2 – směr posuvového pohybu, 3 – výsledný směr řezání, 4 – předpokládaný bod ostří

- Hlavní pohyb - pohyb konaný strojem nebo ručně, zabezpečuje vzájemný pohyb mezi nástrojem a obrobkem. Při soustružení je to otáčivý pohyb obrobku.
- Směr hlavního pohybu - směr okamžitého hlavního pohybu předpokládaného bodu na ostří vzhledem k obrobku obr. 1.4.
- Řezná rychlost v_c - okamžitá rychlost hlavního pohybu předpokládaného bodu na ostří vzhledem k obrobku obr. 1.4.
- Posuvový pohyb – pohyb vykonává stroj, který zabezpečuje pohyb mezi nástrojem a obrobkem. Společně s hlavním pohybem umožňuje odebrání třísky z obráběného povrchu.
- Směr posuvového pohybu – směr posuvového pohybu předpokládaného bodu na ostří k obrobku.
- Rychlost posuvu v_f – okamžitá rychlost posuvového pohybu v předpokládaném bodě na ostří k obrobku.
- Výslednice řezného pohybu - součet hlavního a posuvového pohybu

- Výslednice směru řezání – směr okamžité výslednice řezného pohybu předpokládaného bodu ostří k obrobku obr. 1.4.
- Výslednice řezné rychlosti v_e – okamžitá rychlost výslednice řezného pohybu předpokládaného bodu ostří k obrobku obr. 1.4.
- Úhel posuvového pohybu φ – úhel mezi směry posuvového a hlavního pohybu měřený v pracovní rovině P_{fe} .
- Úhel výslednice řezné rychlosti η – úhel mezi směrem hlavního pohybu a výslednou řeznou rychlostí měřený v pracovní rovině P_{fe} .

Definiční vztahy:

řezná rychlost [3]

$$v_c = \pi \cdot D \cdot n \cdot 10^{-3} \quad [\text{m} \cdot \text{min}^{-1}] \quad (1.1)$$

posuvová rychlost [3]

$$v_f = f \cdot n \cdot 10^{-3} \quad [\text{m} \cdot \text{min}^{-1}] \quad (1.2)$$

rychlost řezného pohybu [3]

$$v_e = \sqrt{v_c^2 + v_f^2} = 10^{-3} \cdot n \cdot \sqrt{(\pi \cdot D)^2 + f^2} \quad [\text{m} \cdot \text{min}^{-1}] \quad (1.3)$$

kde

v_cřezná rychlost	$[\text{m} \cdot \text{min}^{-1}]$
v_fposuvová rychlost	$[\text{m} \cdot \text{min}^{-1}]$
v_erychlost řezného pohybu	$[\text{m} \cdot \text{min}^{-1}]$
notáčky obrobku	$[\text{min}^{-1}]$
Dprůměr obráběné plochy	$[\text{mm}]$
fposuv na otáčku	$[\text{mm}]$

1.1.3 Tvorba třísky

Proces řezání je především procesem intenzivní plastické deformace podél roviny maximálních smykových napětí – smykové roviny. Obráběný materiál při tvorbě třísky prochází velmi rychle mezním stavem:

- pružné napjatosti
- plastické deformace
- oddělení částic materiálu formou lomového porušení

Tyto tři dílčí fyzikální mechanismy probíhají velmi rychle a ke vzniku a oddělení elementu třísky dochází téměř v jediném časovém rozhraní.

2 TEPLO A TEPLOTA ŘEZÁNÍ [3] [6]

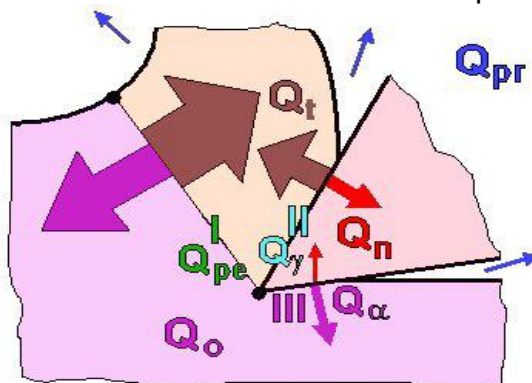
2.1 Tepelná charakteristika řezného procesu

Při obrábění se celková mechanická energie E_e potřebná na tvorbu třísky transformuje na tepelnou energii. Zbývající malá část 5 až 10 % se přemění na rozvoj pružných deformací a jiné práce.

Teplo řezného procesu Q_e , které výrazně ovlivňuje řezný proces, neboť:

- negativně působí na řezné vlastnosti nástroje,
- ovlivňuje mechanické vlastnosti obráběného materiálu,
- ovlivňuje petchování a zpevňování obráběného materiálu,
- ovlivňuje podmínky tření na čele a hřbetě nástroje.

Na obr. 2.1 [6] je znázorněna situace vzniku a odvodu tepla z místa řezu:



Obr. Vznik a odvod tepla z místa řezu⁶

I primární oblast plastických deformací

II sekundární oblast plastických deformací

III terciální oblast plastických deformací

Q_{pe} teplo vzniklé z plastických a elastických deformací

Q_α teplo vzniklé třením mezi čelem nástroje a třískou

Q_γ teplo vzniklé třením hlavního hřbetu nástroje o přechodovou plochu na obrobku

Q_t teplo odváděné třískou

Q_n teplo odváděné obrobkem

Q_{pr} teplo odváděné řezným prostředím

Rovnice tepelné bilance [6]

$$Q_{pe} + Q_\gamma + Q_\alpha = Q_t + Q_n + Q_\alpha + Q_{pr} \quad [J] \quad (2.1)$$

Největší teplo vzniká v oblasti I a následuje oblast II.

3 CHLAZENÍ A MAZÁNÍ PŘI ŘEZNÉM PROCESU [3]

Správným řezným prostředím můžeme dosáhnout zvýšení hospodárnosti úběru o 50 až 200 % v porovnání s prací za sucha, prodloužit trvanlivost a životnost řezných nástrojů a zvýšit kvalitu obrobené plochy. Řezné prostředí je tvořeno řeznými médii – řeznými pastami, kapalinami, plyny a mlhami. Jsou navrženy tak, aby měly chladicí, mazací a čistící účinek.

Řezné prostředí musí dále splňovat specifické požadavky, jako je provozní stálost, ochranný účinek proti korozi, zdravotní nezávadnost a adekvátní provozní náklady. V praxi existuje řada operací, které se provádí za sucha, bez přívodu řezného media

3.1 Funkce řezných medií

3.2 Řezná media musí v provozních podmínkách plnit různé funkce – např:

- Chladicí-hlavním úkolem je odvod tepla z místa řezu,
- Mazací-vytváří na povrchu obrobku a nástroje vrstvu, která snižuje tření na rozhraní nástroj-obrobený materiál-tříska,
- Čistící-zejména v odstraňování třísek z místa řezu,
- Ochranný účinek-ochrana obrobku proti korozi,
- Zdravotní-obsluha zařízení přichází do kontaktu s řeznou kapalinou a jejími výpary
- Provozní náklady-spotřeba řezného media, ekonomické náklady.

3.3 Druhy řezných kapalin

Vodní roztoky

jsou nejjednodušší, a tím i nejlevnější řezné kapaliny, neposkytují však žádné další výhody. Mají velmi dobrý chladicí účinek, ale téměř žádný mazací či ochranný účinek.

Emulzní kapaliny

tvoří disperzní soustavu dvou vzájemně nerozpustných kapalin, z nichž jedna tvoří mikroskopické kapky, rozptýlené v druhé kapalině (olej ve vodě). Do této soustavy je třeba přidat ještě třetí složku - emulgátor, který zmenšuje mezipovrchové napětí emulgovaných kapalin, stabilizuje emulzi a zabraňuje koagulaci jemně rozptýlených částic oleje ve vodě.

Zušlechtěné řezné oleje jsou kapaliny na bázi minerálních olejů. Přísady, které se používají (mastné látky, organické sloučeniny a pevná maziva), zvyšují jejich tlakovou únosnost a mazací vlastnosti.

Syntetické a polosyntetické kapaliny

se vyznačují velkou provozní stálostí. Většinou jsou rozpustné ve vodě a mají dobré chladicí, mazací a ochranné účinky. Neobsahují minerální oleje, ale jsou složeny z rozpouštědel -glykolů.

3.3.1 Přívod řezné kapaliny do zóny řezání [3]

Přívod řezné kapaliny do zóny řezání významně ovlivňuje parametry řezného procesu, zejména trvanlivost bříty nástroje a jakost obrobené plochy.

Standardní chlazení

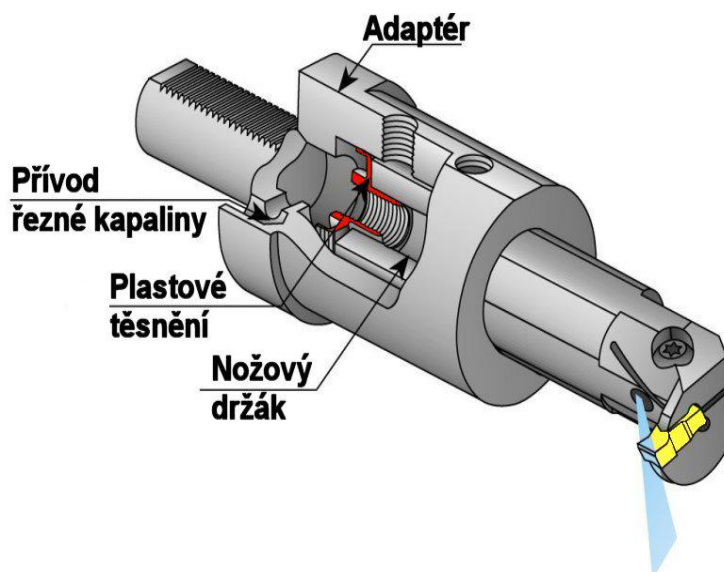
tento druh přívodu řezné kapaliny nevyžaduje žádnou úpravu přívodního potrubí a vystačí se standardním zařízením, dodávaným výrobcem obráběcího stroje. Toto zařízení na standardní chlazení je tvořeno nádrží na řeznou kapalinu, čerpadlem a rozvodovým potrubím. Množství transportované řezné kapaliny je dáno typem čerpadla a škrcením průtoku výstupním kohoutem.

Tlakové chlazení

kapalina je přiváděna do místa řezu pod vysokým tlakem. Průměr výstupní trysky bývá $0,3 \div 1,0$ mm, tlak $3 \div 20$ MPa. Řezná kapalina je přiváděna zespodu, přímo do místa řezu. Tento způsob chlazení je vhodný tam, kde vzniklé teplo má prokazatelný nepříznivý vliv na trvanlivost nástroje. Množství kapaliny se pohybuje v rozmezí $0,5 \div 2,0$ litru za minutu.

Vnitřní chlazení

kapalina je přiváděna tělesem nástroje obr. 3.1 [6] do místa řezu. Tento způsob přináší výrazné zvýšení výkonu obrábění, umožňuje zvýšení řezné rychlosti o 5 až 25 %. Při soustružení je tato metoda vhodná pro nástroje s vyměnitelnými břitovými destičkami ze slinutých karbidů. Tohoto chlazení se též využívá při vrtání hlubokých děr a těžkoobrobitelných materiálů. Zvýšení tlaku řezné kapaliny na $6 \div 8$ MPa, přiváděné do místa řezu, vede ke zvýšení výkonu obrábění a případně k lepšímu odvodu třísek.



Obr. 3.1 Vnitřní nůž firmy Iscar s vnitřním chlazením⁶

4 OPOTŘEBENÍ BŘITU NÁSTROJE [6]

4.1 Podstata opotřebení

Proces opotřebení nástroje je velmi komplikovaný děj, na kterém se podílí mnoho faktorů (fyzikální a mechanické vlastnosti obráběného materiálu a nástrojového materiálu, druh obráběcí operace, geometrie nástroje, řezné prostředí aj.) a v jehož cyklu působí několik odlišných fyzikálně-chemických jevů. Základními druhy opotřebení jsou:

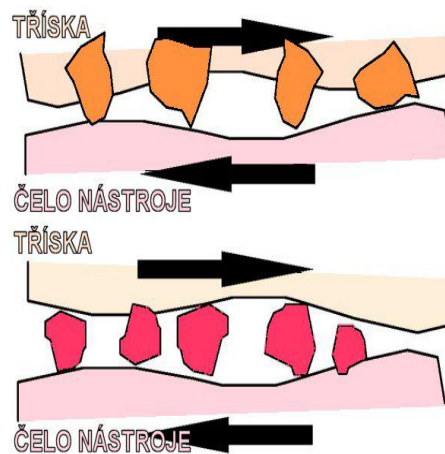
- | | |
|----------------|---|
| abraze | brusný otěr vlivem tvrdých mikročástic obráběného materiálu i mikročástic uvolněných z nástroje - obr. 4.1 [6]. |
| adheze | vznik a okamžité následné porušování mikrosvarových spojů na stýkajících se vrcholcích nerovností čela a třísky, vznikají v důsledku vysokých teplot a tlaků, chemické příbuznosti materiálu a kovově čistých styčných povrchů - obr. 4.2 [6] |
| difuze | migrace atomů z obráběného do nástrojového materiálu a naopak, a z ní vyplývající nežádoucí vytváření chemických sloučenin ve struktuře nástroje. |
| oxidace | vznik chemický sloučenin na povrchu nástroje vlivem kyslíku v okolním prostředí. |

plastická deformace

důsledek vysokého tepelného a hlavně mechanického zatížení
nastrádaného v čase - obr. 4.3 [6]

křehký lom

vzniká v důsledku vysokého mechanického zatížení
koncentrovaného např. na vměstcích v obráběném materiálu -
obr. 4.4 [6]

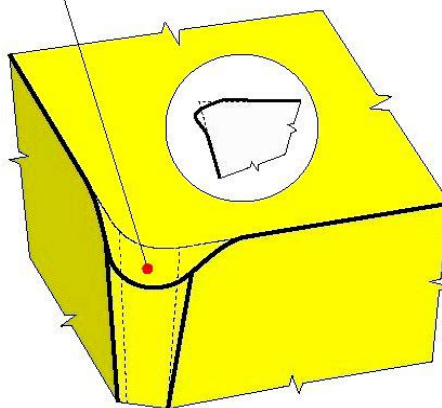


Obr. 4.1 Abrazíe⁶

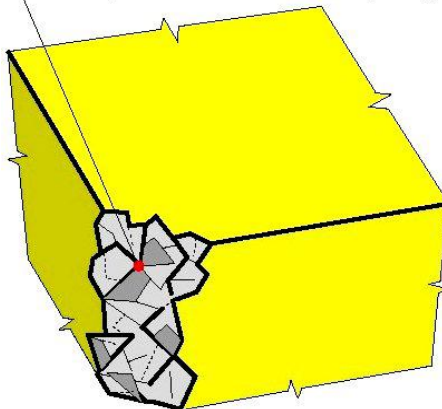


Obr. 4.2 Adheze⁶

Plastická deformace špičky

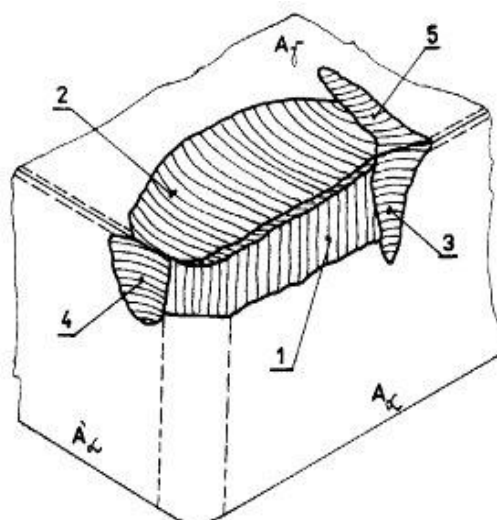
Obr. 4.3 Plastické porušení⁶

Křehké porušení v oblasti špičky

Obr. 4.4 Křehký lom⁶

4.2 Druhy opotřebení řezných nástrojů

Opotřebení řezných nástrojů se projevuje úbytkem materiálu nástroje na hřbetě nebo na čele. Klasická forma opotřebení bříty ze slinutého karbidu je uvedena na obr. 4.5 [6]. Jelikož je nástroj opotřebováván, mění se jeho geometrie a i jeho řezné schopnosti a obrobek nemá tu jakost, jakou bychom požadovali.

Obr. 4.5 Opotřebení bříty SK⁶

- 1 fasetka opotřebení na hřbetě
- 2 výmol na čele
- 3 primární hřbetní rýha
- 4 sekundární (oxidační) hřbetní rýha
- 5 rýha na čele

5 TRVANLIVOST A ŽIVOTNOST NÁSTROJE [3]

Trvanlivost lze charakterizovat jako součet všech časů řezání, od výchozího obrábění, až po opotřebení bříty nástroje na konkrétní stanovenou hodnotu. Hodnota opotřebení je stanovena tak, aby vyráběný obrobek splňoval dané kriteria - tvar, rozměr a kvalitu povrchu, a to po celý časový úsek trvanlivosti nástroje.

Životnost nástroje je součet všech jeho trvanlivostí až do jeho vyřazení z výrobního procesu.

V roce 1905 zjistil pan **F. W. Taylor**, že z řezných podmínek má na trvanlivost nástroje největší vliv řezná rychlost, a odvodil základní vztah pro vzájemnou závislost těchto dvou veličin, na němž jsou založeny dnešní normy ČSN ISO 3685, ČSN ISO 8688-1 a ČSN ISO 8688-2.

Taylorův vztah: [6]

$$T = \frac{C_T}{v_c^m} \quad [\text{min}] \quad (5.1)$$

kde

C_t konstanta [-]
 v_c řezná rychlost [m.min⁻¹]
 m exponent [-]
 T trvanlivost [min]

Vzhledem k velmi vysoké hodnotě konstanty C_T (řádově $10^9 \div 10^{13}$) se častěji píše ve tvaru [6]

$$v_c = \frac{C_v}{T^{1/m}} \quad [\text{m.min}^{-1}] \quad (5.2)$$

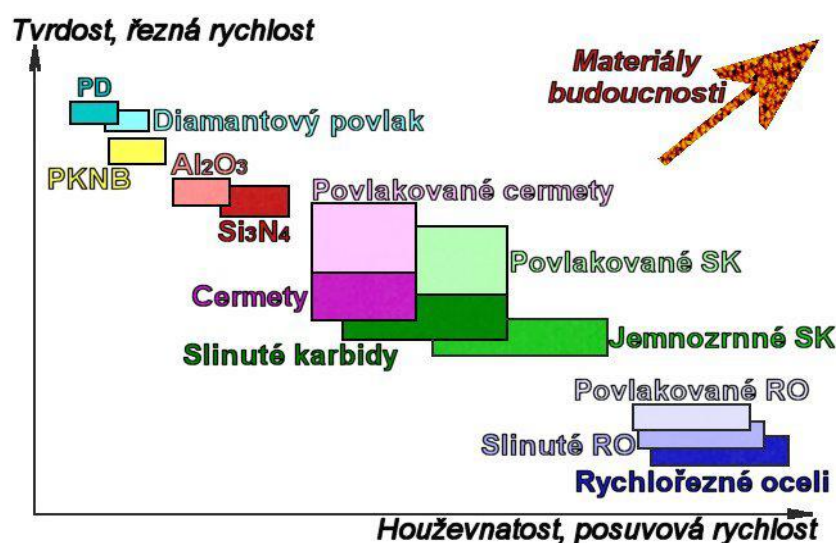
kde

C_v konstanta [-]
 v_c řezná rychlost [m.min⁻¹]

Protože $C_v = C_t^{1/m}$ je velikost konstanty C_v pouze $10^2 \div 10^3$

6 NÁSTROJOVÉ MATERIÁLY [3] [5]

Výsledek obrábění je přímo úměrný vybranému druhu řezného materiálu. V dnešní době je díky neustálému vývoji k dispozici široký sortiment materiálů pro řezné nástroje - od nástrojových ocelí až po syntetický diamant. Na obr. 6.1 [5] je znázorněn přehled vývoje nástrojových materiálů.



Obr. 6.1 Přehled nástrojových materiálů a směr dalšího vývoje⁵

Volba řezného nástroje nebo materiálu, z něhož je řezný nástroj vyroben zaleží zejména na:

- rozměrech obrobku, druhu obráběného materiálu, sériovosti výroby,
- tvaru a druhu řezu (plynulý nebo přerušovaný),
- způsobu chlazení a mazání,
- požadavcích na spolehlivost a bezpečnost obráběcího provozu,
- požadavcích na kvalitu obrobeného povrchu,
- finanční náročnosti řezného materiálu,
- odolnosti proti opotřebení - fyzikálnímu i chemickému (zatížení za tepla),
- druhu obráběcího stroje, jeho provozní náročnosti

6.1 Oceli

Nástrojové oceli se rozdělují podle způsobu použití, výroby, chemického složení atd. Jsou na ně kladeny často protichůdné požadavky, musí mít vysokou tvrdost a pevnost, a naopak jiné zase vysokou houževnatost. U všech nástrojů je požadována vysoká odolnost proti abrazivnímu a adhezivnímu opotřebení. Nástrojové oceli patří do třídy 19. Jejich hlavní využití je při výrobě složitě tvarových nástrojů (např. tvarové nože, tvářecí nástroje, atd.).

Dělení podle chemického složení:

- nelegované (uhlíkové) oceli,
- legované oceli (nizkolegované, středně legované),
- vysokolegované (rychlořezné) oceli.

Nástrojové oceli musí mít také vysokou čistotu, to charakterizuje menší obsah vměstků a rovnoměrně rozložené karbidických zrn v matici, aby se snížilo praskání nástrojů při kalení.

6.2 Slinuté karbidy

Slinuté karbidy jsou materiály s vysokým obsahem karbidických částic (90% i více), úspěšně začaly být vyráběny až po zvládnutí technologie výroby metodou práškové metalurgie.

Průmyslovou výrobu slinutého karbidu typu WC-Co (pod názvem **WIDIA-Wle DI-Amant** = jako diamant) zavedla a rozvinula německá firma Krupp v roce 1926. Základní surovinou slinutých karbidů jsou karbidy (karbid titanu, karbid wolframu) a pojivo, nejčastěji kobalt. Dalším vývojem slinutých karbidů došlo k odstranění nejméně tvrdé fáze (tzn. pojivo) ze substrátu, zejména v povrchové vrstvě. Slinuté karbidy se začaly povlakovat tvrdými vrstvami pomocí metod CVD (Chemical Vapour Deposition), později PVD (Physical Vapour Deposition a dnes MTCVD (Middle Temperature CVD). Povlaky byly obvykle na bázi titanu nebo na bázi oxidu hliníku. V tab. 6.2 [6] jsou znázorněny nejvíce používané povlaky pro slinuté karbidy.

	Chemická stabilita	Odolnost proti oxidaci	Tvrdost	Tvrdost za tepla
 Nejlepší Špatná	Al_2O_3	Al_2O_3	TiC	Al_2O_3
	TiAlN	TiAlN	TiCN	TiAlN
	TiN	TiN	Al_2O_3	TiN
	TiCN	TiCN	TiAlN	TiCN
	TiC	TiC	TiN	TiC

Tab. 6.2 Základní vlastnosti vybraných povlaků⁶

Označení slinutých karbidů:

HW nepovlakované slinuté karbidy s obsahem primárního WC

HT nepovlakované slinuté karbidy s obsahem TiC nebo TiN nebo obou

HC povlakované slinuté karbidy

6.3 Cermety

Charakteristickou vlastností cermetů je nízká měrná hmotnost, která se pohybuje v rozmezí $5,6 \div 7,4 \text{ g cm}^{-3}$. Jsou to řezné materiály, u kterých je WC nahrazen TiC, TiN nebo Ti(C,N) s niklovým nebo Ni/Co pojivem. Vynikají vysokou odolností proti difuznímu oxidačnímu opotřebení, vysokou chemickou stabilitou, tvrdostí za tepla a odolností proti vytváření nárůstků. Jsou vhodnými materiály pro dokončovací obrábění vysokými řeznými rychlostmi a nízkými průřezy třísky.

6.4 Řezná keramika

Řezná keramika je převážně krystalický materiál, jehož hlavní složkou jsou anorganické sloučeniny nekovového charakteru. Keramické látky jsou vázány meziatomovými vazbami iontovými nebo kovalentními, jejich vazba není ale čistá, obvykle se vyskytují oba typy současně.

Dělení řezné keramiky:

-oxidická

- čistá keramika (Al_2O_3),
- polosměsná ($\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{ZrO}_2$, $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{ZrO}_2 + \text{CoO}$),
- směsná ($\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiC}$, $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{ZrO}_2 + \text{TiC}$, $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiC} + \text{TiN}$),

-neoxidická

- nitridová (Si_3N_4 , $\text{Si}_3\text{N}_4 + \text{Y}_2\text{O}_3$, $\text{Si}_3\text{N}_4 + \text{TiN}$, sialony),

6.5 Supertvrde řezné materiály

Lze do nich zahrnout dva synteticky vyrobené materiály, a to polykrystalický kubický nitrid boru (zkratka PKNB) a polykrystalický diamant (zkratka PKD).

Polokrystalický kubický nitrid boru je podobný diamantu, má velmi tvrdou strukturu. Tvrdost se pohybuje mezi 4000 až 5000 HV, což je mnohem více

než má kterýkoliv karbid kovu. Používá se ve dvou formách - jako tenká vrstva o tloušťce menší než 5 μm na destičkách slinutých karbidů, nebo tvoří špičku břitové destičky. Velkou výhodou oproti diamantu je jeho větší stabilita při vysoké teplotě ve styku s železem nebo jinými kovy.

Polokrystalický diamant je nejtvrděší ze všech materiálů, který se vyrábí synteticky (zahříváním uhlíku při teplotě nad 1500 °C a při vysokém tlaku - asi 5÷8 GPa). Je doporučován pro obrábění slitin hliníku při rychlostech 500m.min⁻¹.

Diamant má poměrně nízkou teplotní stálost (při dosažení teplot nad 800 °C se mění na grafit), a proto se nesmí používat pro obrábění materiálů na bázi železa, kde by docházelo k nadměrnému ohřevu a k silné difuzi mezi nástrojem a obráběným materiálem, a tím k velmi rychlému opotřebení nástroje.

7 SORTIMENT VÝZNAMNÝCH VÝROBCŮ ŘEZNÝCH NÁSTROJŮ

7.1 Seco Tools AB [9]

Švédská společnost Seco Tools AB je předním výrobcem v oblasti vývoje a výroby rezných nástrojů pro obrábění kovů. Poskytuje kompletní sortiment pro soustružení, frézování a vrtání. Nabídka dále obsahuje i standardní a modulární upínací systémy pro rotační a stacionární aplikace.

Společnosti Seco Tools AB je představila systému vnitřního tlakového chlazení **Jetstream Tooling**, kdy rezná kapalina proudí pod vysokým tlakem tělesem nástroje a proud řezné kapaliny je tak přiváděn tryskami co nejbližší k břitu nástroje obr. 7.1 [9].



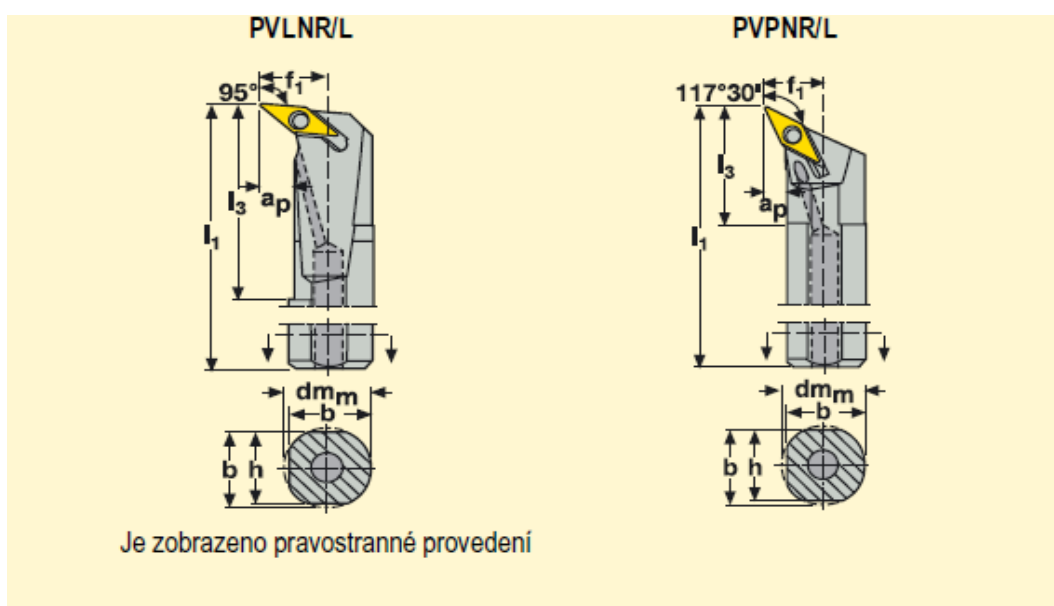
Obr. 7.1 Soustružnický nůž s vnitřním tlakovým chlazením Seco Jetstream Tooling⁹

Tímto se vytváří optimální podmínky pro odvod třísek z místa řezu, dochází ke zlepšení utváření a dělení třísky a zvýšení trvanlivosti nástroje. Díky příznivému působení těchto vlivů je umožněno využít intenzivnější řezné podmínky.

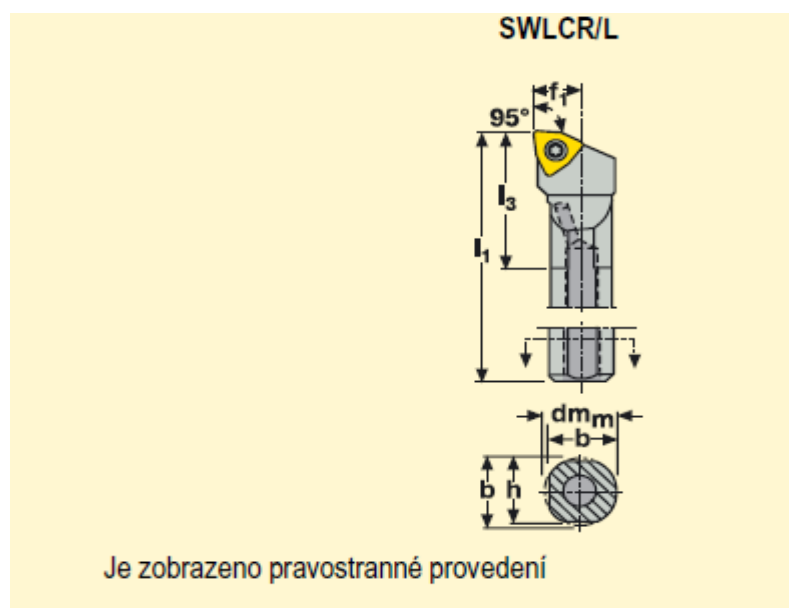
Chlazení JT (Jetstream Tooling) vytváří na čele nástroje hydraulický klín, který přispívá nejen k utváření, deformaci a dělení třísek na malé segmenty, ale současně chladí celou oblast řezání. Předností uvedeného systému je, že na rozdíl od konvenčního chlazení zajistí vznik stejnosměrných trhlin v celé tloušťce třísek. Trhliny potom usnadní dělení třísek na menší části.

Přednosti systému JT se uplatní především při obrábění vysoce legovaných slitin. Výrobce JT též ověřil praktickou využitelnost systému při obrábění všech typů materiálů i v širokém rozsahu tlaků řezné kapaliny. Nejvíce nástrojů s vnitřním chlazením je zastoupeno v oblasti vnitřního soustružení, kde musí být do místa řezu zajištěn dostatečný přísun řezné kapaliny.

Ukázky části sortimentu nástrojů pro vnitřní soustružení s vnitřním chlazením je znázorněno na obr. 7.2 až 7.3 [9].



Obr. 7.2 Vnitřní soustružnický nůž s vnitřním chlazením PVLNR a PVPNR pro břitové destičky VNMG⁹



Obr. 7.3 Vnitřní soustružnický nůž s vnitřním chlazením SWLCR pro břitovou destičku WCMT⁹

V sortimentu Seco Tools AB je mnoho nástrojů s vnitřním chlazením. Liší se podle druhu břitové destičky, jejího upnutí v držáku nástroje a i podle toho, jaká operace bude při obrábění prováděna.

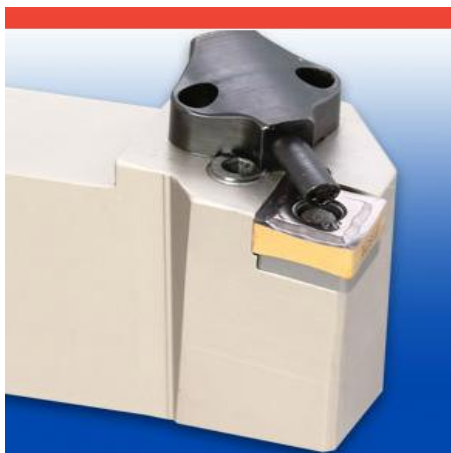
7.2 Iscar [8]

Jedná se o dalšího světového výrobce rezných nástrojů pro obrábění kovů, který též poskytuje kompletní sortiment pro soustružení, frézování a vrtání. S vývojem nových moderních zařízení, která umožňují volitelné tlaky vnitřního chlazení až do 70 barů, je technologie High Pressure Coolant HPC – mnohem dostupnější a její využívání na vzestupné tendenci.

Metoda HPC je nejefektivněji využívána při obrábění problematických materiálů, jako jsou titan a inocé. Touto metodou můžeme několikanásobně zvýšit parametry obrábění ve srovnání s klasickou metodou chlazení.

Kapalina je do místa řezu přiváděna pod vysokým tlakem a tím se dostane přímo do kritické rezné zóny. Tvořící se tříska je vysokým tlakem rezné kapaliny doslova odtlačována od břitu a zároveň prudce zchlazována, vlivem zkřehnutí se lépe láme a je následně odplavována. Významně se tím prodlužuje životnost nástroje.

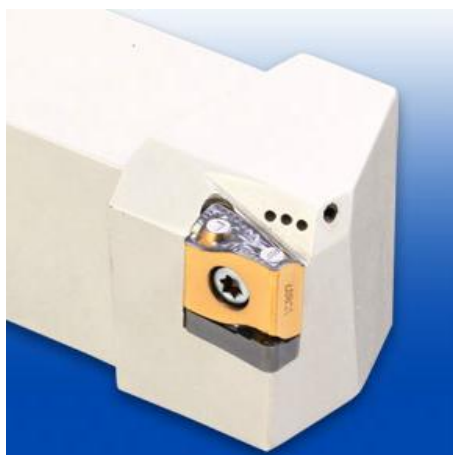
Nejnovější trendy ve vývoji soustružnických nástrojů pro HPC firmy ISCAR jsou uvedeny na obr. 7.4 až obr. 7.9 [8].



Obr. 7.4 Soustružnický nůž řady HELITRUN⁸

typ soustružnického nože z obr. 7.4[8] umožňuje použít technologii HPC, která přináší mnoho výhod:

- malá vzdálenost trysky od místa řezu a bříty nástroje
- volitelné tvary trysky
- trysku lze upravovat podle hloubky záběru
- jeden typ přívodu chlazení pro různé tvary destiček



Obr. 7.5 Soustružnický nůž řady HELITRUN⁸

Tangenciálně upnuté destičky z obr. 7.5 [8] krátká vzdálenost trysky chlazení od bříty umožňuje její maximální účinnost.



Obr. 7.6 Soustružnický nůž řady SWISSTURN⁸

Systém chlazení s pohyblivou přívodní tryskou z obr. 7.6[8] má následující výhody:

- při výměně destičky se chladicí tryska nedemontuje, pouze se zatlačí do držáku nástroje
- minimální vzdálenost trysky od břitu nástroje
- maximální chladicí účinnost
- trysku lze upravovat dle hloubky záběru

Dalším novým trendem vývoje nástrojů v oblasti HPC firmy ISCAR jsou nástroje pro zapichování a upichování jsou uvedeny na obr. 7.7 až 7.9 [8].



Obr. 7.7 Zapichovací a upichovací nůž řady CUT-GRIP⁸

Na obr. 7.7 [8] je řezná kapalina dvěma otvory v držáku zapichovacího nože přiváděna pod vysokým tlakem na břit nástroje a lze tak využít maximálních výhod vysokotlakého chlazení.



Obr. 7.8 Zapichovací a upichovací nůž řady TANG-GRIP⁸

Tangenciálně upnuté upichovací a zapichovací destičky TANG-GRIP obr. 7.8 [8], kde tlak řezné kapaliny je směřován jedním otvorem přímo na břit.



Obr. 7.9 Zapichovací a upichovací nůž řady DO-GRIP⁸

Oboustranná upichovací a zapichovací destička na obr. 7.9 [8] má přívod řezné kapaliny středem destičky až k řezné hraně. Při tomto způsobu je dokonale eliminována tvorba nárůstků.

Vhodné k obrábění nerez ocelí a vysokoteplotních slitin.

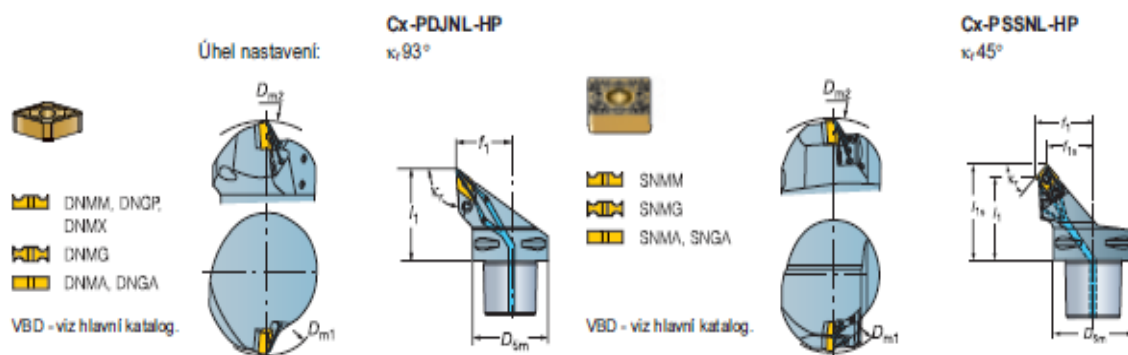
7.3 Sandvik Coromant [10]

Společnost **Sandvik Coromant** je jedním z dalších světových výrobců, který se zabývá vývojem a výrobou řezných nástrojů pro obrábění. Jeho sortiment je velice obsáhlý - jsou zde nástroje pro soustružení, frézování, vrtání a nástroje dle přání zákazníka, vyrobené na zakázku. Jeho sortiment obsahuje jak klasické, tak i modulární systémy upínání nástrojů. Nejnovější poznatky a vývoj firmy **Sandvik Coromant** v oblasti technologie High Pressure Coolt- HPC-vysokotlaké chlazení. A nadále ještě zkouší v oblasti pro těžce obrobitelné materiály typ chlazení Ultra High Pressure Coolt-UHPC.

Modulární systém nástroje Coromant Capto s vysokotlakým rozvedem řezné kapaliny je znázorněn na obr. 7.10 [10]

Řezné jednotky CoroTurn® HP

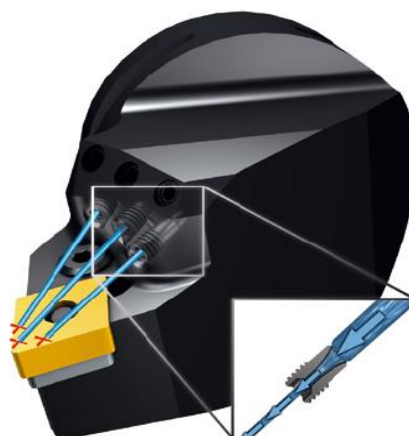
Provedení s upínací pákou



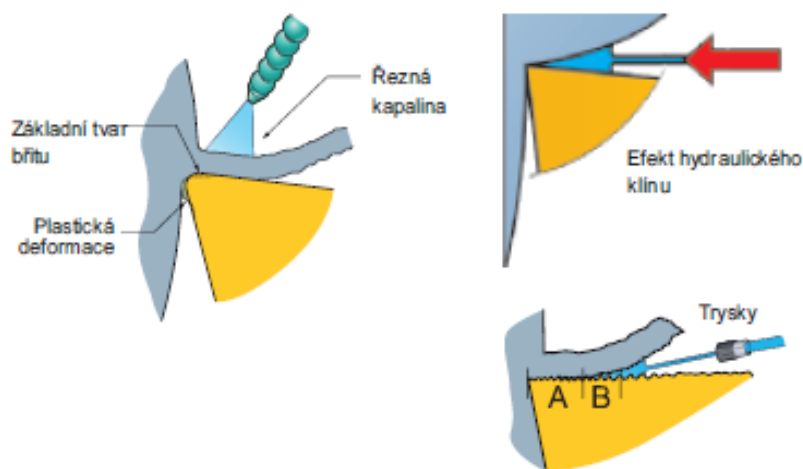
Zobrazeno je pravostranné provedení

Obr. 7.10 Řezná jednotka Coro Turn HP¹⁰

Na obr. 7.11 [10] jsou znázorněny detaily chladících směrových trysek. Trysky jsou navrženy tak, aby rychlost paprsků řezné kapaliny byla dosažena i při nižších tlacích



Obr. 7.11 Řezná jednotka Coro Turn HP¹⁰



Obr. 7.12 Ukázka výhod řezné kapaliny HP¹⁰

Směrové trysky pro maximální účinnost jsou uvedeny na obr. 7.12 [10].

Soustružení s vysokotlakým přívodem řezné kapaliny spočívá v přesném nasměrování proudu řezné kapaliny pomocí směrových trysek (o průměru 1mm) s cílem získat dokonale laminární proudění řezné kapaliny. Díky vysoké rychlosti proudu vytváří řezná kapalina na povrchu výměnné břitové destičky (VBD) a na spodní straně třísky, která odchází z obrobku, hydraulický klín.

Hlavní účinky:

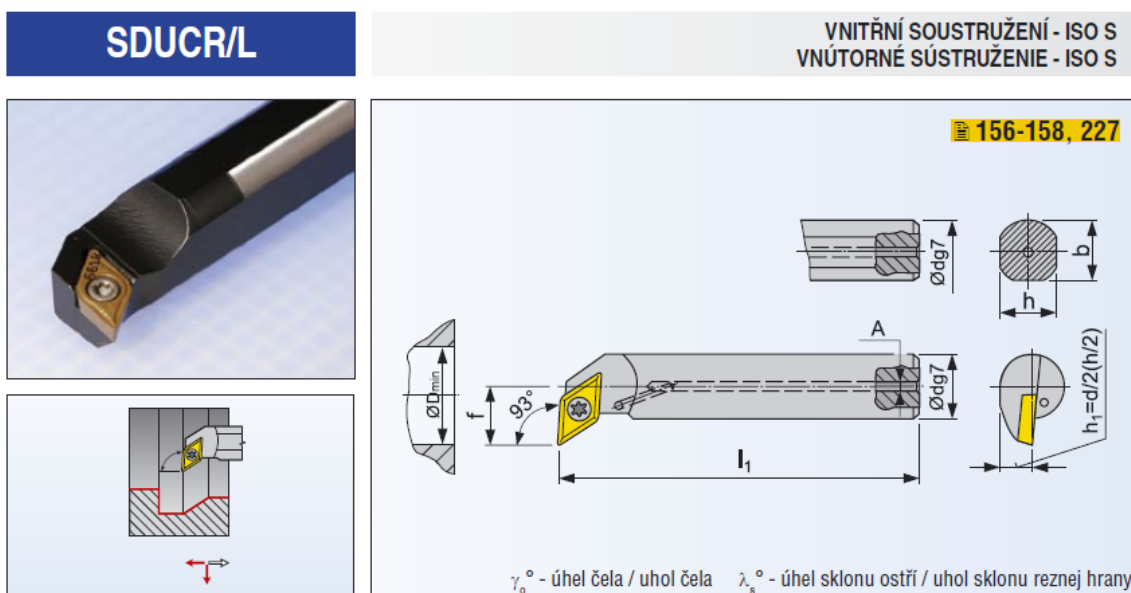
- místní chlazení VBD v oblasti kontaktu s obráběným materiálem,
- rychlé vytlačení třísky z místa řezu, tím dochází ke snížení opotřebení VBD,
- s chlazení a usnadnění rozlomení třísky na menší a jejich odplavení z místa řezu.

Společnost Sandvik Coromant nabízí široký výběr řezných nástrojů HPC, jak pro vnější soustružení, tak pro vnitřní. Záleží na zákazníkovi, jaké řešení bude pro jeho danou obráběcí operaci nejvíce vyhovující.

7.4 Pramet Tools [11]

Firma **Pramet Tools** je náš největší domácí výrobce řezných nástrojů. Zabývá se vývojem a výrobou řezných nástrojů pro obrábění-(soustružení, frézování a vrtání). Avšak nemá tak obsáhlou nabídku nástrojů s vnitřním chlazením, ale zbývající sortiment, který obsahuje VBD, frézy a nástroje pro vrtání, je srovnatelný se světovými výrobci. Jeho kvalita je na světové úrovni. Nástroje s vnitřním chlazením jsou v sortimentu firmy zejména zastoupeny v oblasti vnitřního soustružení a vrtání. Jelikož při vnitřním obrábění může být kritickým faktorem odvod třísek z místa řezu, zejména při soustružení nebo vrtání hlubokých děr, doporučuje se užití nástrojů s vnitřním chlazením, které nám zajistí dokonalý odvod třísek z místa řezu a chlazení nástroje.

Část sortimentu nástrojů s vnitřním chlazením je uvedena obr. 7.13 [11]. Přívod řezné kapaliny je veden středem nástroje.

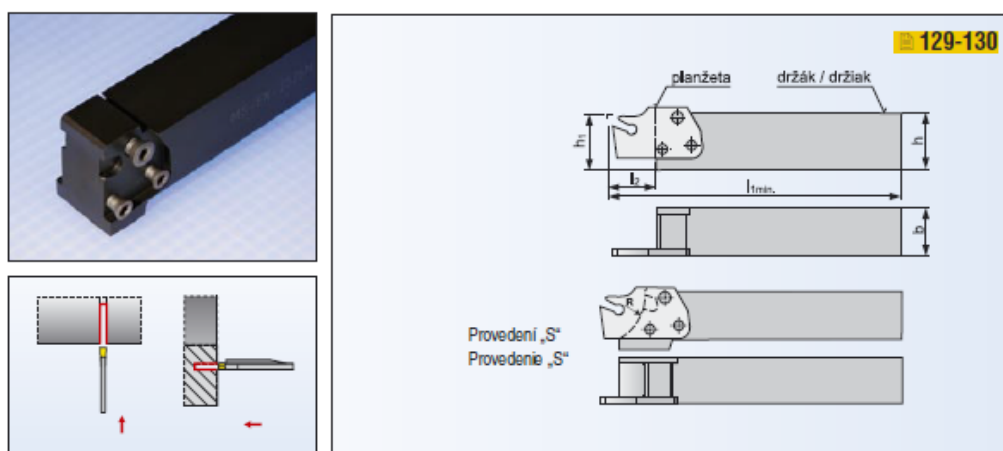


Obr. 7.13 Vnitřní nůž SDUC/L¹¹

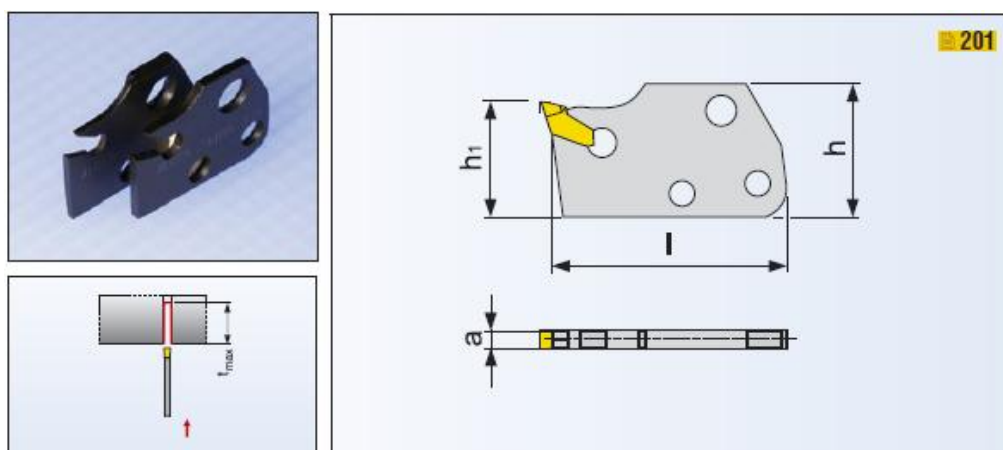
8 NÁVRH SOUSTRUŽNICKÉHO NOŽE S VNITŘNÍM CHLAZENÍM

8.1 Volba

Jelikož si trh, resp. zákazníci žádají upichovací a zapichovací nože s vnitřním chlazením pro svoje řezné operace, byl po konzultaci s firmou Pramet Tools, která tento sortiment v nabídce nenabízí, vybrán modulární systém pro upichování a zapichování, zobrazeny na obr. 8.1 až 8.2 [11], značen v katalogu firmy **MS-EN**, a planžeta **XLCFN**. Na který by se realizovalo vnitřní chlazení, čímž by se rozšířil sortiment firmy.



Obr. 8.1¹¹ Modulární systém pro upichování a zapichování MS-EN



Obr. 8.2¹¹ Planžeta XLCFN

8.2 Důvod výběru

Jedná se o upichovací a zapichovací nůž, který pracuje v úzkých a hlubokých drážkách. Hrozí zde několik rizik- tvořící se tříska při řezné procesy by se mohla v úzké drážce zablokovat, a tím by mohlo dojít k poškození nástroje nebo obrobku. Je tedy třeba, aby se neutvářela plynulá tříska, ale tříska krátká a lámavá, která by byla rychle vyplavována z místa řezu. Konstrukcí chlazení je zajištěn lepší odvod tepla z místa řezu, kde je VBD

ohřívána v úzké drážce z několika stran, což vede ke zvýšení životnosti nástroje, zlepšení jakosti obráběné plochy a možnosti zvýšení řezné rychlosti.

8.3 Cíl návrhu

Úkolem bylo navrhnout takové řešení, které by neovlivnilo stávající funkci řezného nástroje, ale naopak by rozšířilo jeho výhody a sortiment nabízený firmou v katalogu. Zásadním úkolem bylo přivést řeznou kapalinu do místa řezu pod určitým směrem a tlakem. Modulární systém pro upichování a zapichování se skládá ze tří hlavních částí - základní těleso, planžeta a výměnná břitová destička. Planžeta je pomocí tří upínacích šroubů upnuta k základnímu tělesu. VBD je nasunuta v planžetě.

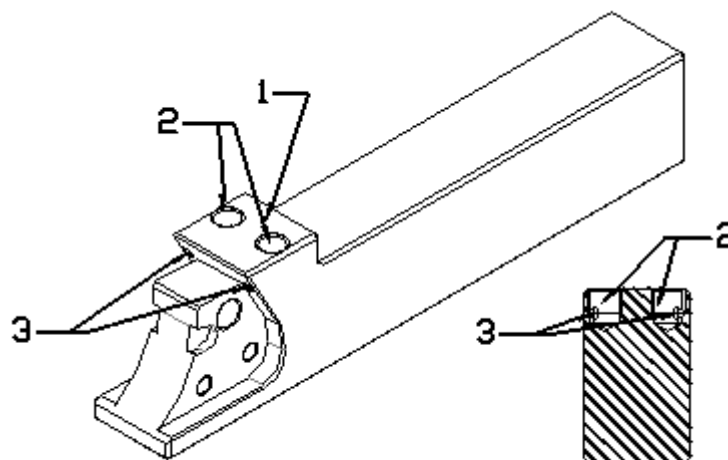
8.4 Návrh nože

Byly navrženy dvě varianty řešení:

Varianta 1

Je navržena tak, aby byla co nejméně náročná na obráběcí operace, ale plnila požadovanou funkci.

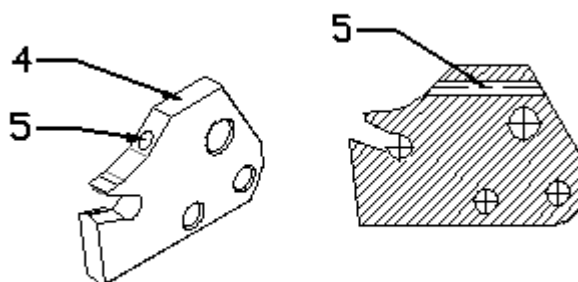
- 1 Původní těleso bylo modifikováno, ale jeho základní rozměry zůstaly stejné. Přední část držáku byla modifikována oproti původnímu o materiál v horní části tělesa obr. 8.3.
- 2 Na horní části základního tělesa jsou vyvrtány dva neprůchozí otvory, kde jsou zhotoveny vnitřní závity pro našroubování tlakových hadic pro přívod řezné kapaliny obr. 8.3.
- 3 Na tyto dva otvory (viz 2) jsou vyvrtány kolmo z přední části držáku další otvory pro přívod řezné kapaliny směrem k planžetě obr. 8.3.



Obr. 8.3 Varianta 1 modulárního systému

4 Dalším dílem modulárního systému je planžeta, která byla také modifikována na horní části oproti původní planžetě obr. 8.4.

5 Na horní části planžety je vyvrtán otvor, který navazuje na otvor na základním tělese. Otvor v planžetě je zhotoven pro přívod řezné kapaliny na VBD obr. 8.4.



Obr. 8.4 Modifikovaná planžeta

Varianta 2

Je navržena pro maximální využití řezného nástroje. U této varianty bylo nutné vyrobít další součásti potřebné k tomu, aby celý systém plnil požadovanou funkci.

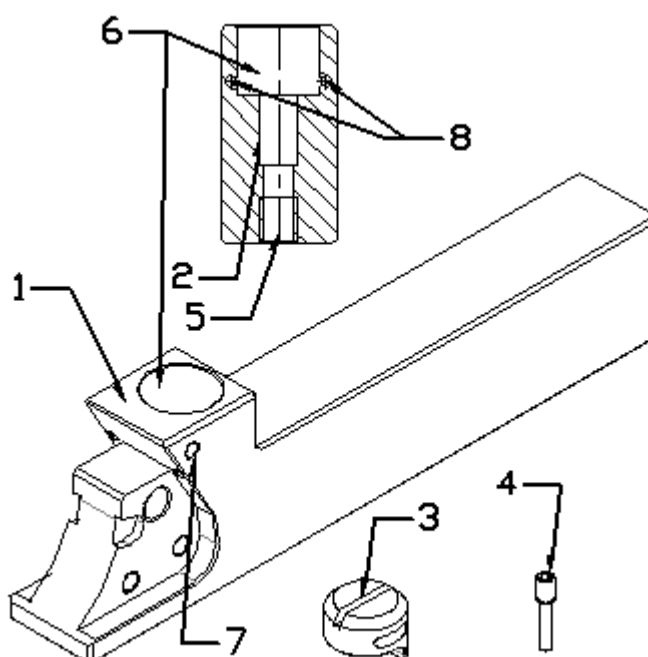
1 Původní těleso bylo modifikováno, ale jeho základní rozměry zůstaly stejné. Přední část držáku byla změněna oproti původnímu o materiál v horní části tělesa obr. 8.5.

2 V základním tělese je ze spodní části vyvrtán průchozí otvor, který slouží pro přívod řezné kapaliny do tělesa. Tento otvor je opatřen zčásti vnitřním závitem pro našroubování tlakové hadice s přívodem řezné kapaliny (viz 5) obr. 8.5. V horní části je do určité hloubky zhotoven otvor pro rozváděcí kolík (viz 6) obr. 8.5, v přední části je z boku vyvrtán otvor, který je opatřen vnitřním závitem (viz 7) obr. 8.5 a slouží pro našroubování jistícího šroubu k zajištění rozváděcího kolíku v dané poloze. Dále jsou vyvrtány kolmo dva otvory na otvor s rozváděcím kolíkem. Jejich funkcí je přivést řeznou kapalinu směrem k planžetě obr. 8.5.

3 Nový díl - rozváděcí kolík určuje, zda bude řezná kapalina rozvedena na levou nebo pravou stranu planžety obr. 8.5.

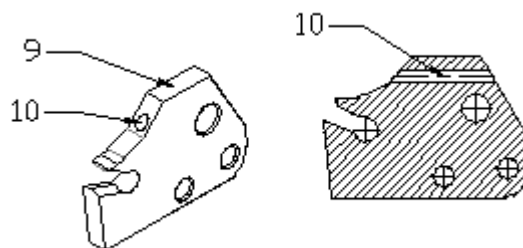
4 Nový díl - pojistný šroub – zajišťuje rozváděcí kolík v dané poloze, aby nedošlo k jeho uvolnění z otvoru na základním tělese obr. 8.5.

- 5 V dolní části je otvor opatřen závitem pro našroubování tlakové hadice obr. 8.5.
- 6 V horní části je otvor pro rozváděcí kolík (viz díl 3) obr. 8.5.
- 7 V boční části základního tělesa je otvor opatřen závitem pro našroubování pojistného šroubu (viz díl 4) obr. 8.5.
- 8 Dále jsou na tento otvor (viz 6) vyvrtány kolmo s přední části držáku dva otvory (viz 8) pro přívod řezné kapaliny směrem k planžetě obr. 8.5.



Obr. 8.5 Varianta 2 modulárního systému

- 9 Dalším dílem modulárního systému je planžeta, která byla modifikována přidáním materiálu na horní části oproti původní planžetě obr. 8.6.
- 10 Na horní části planžety je vyvrtán otvor, který navazuje na otvor na základním tělese. Otvor v planžetě je zhotoven pro přívod řezné kapaliny na VBD obr. 8.6.



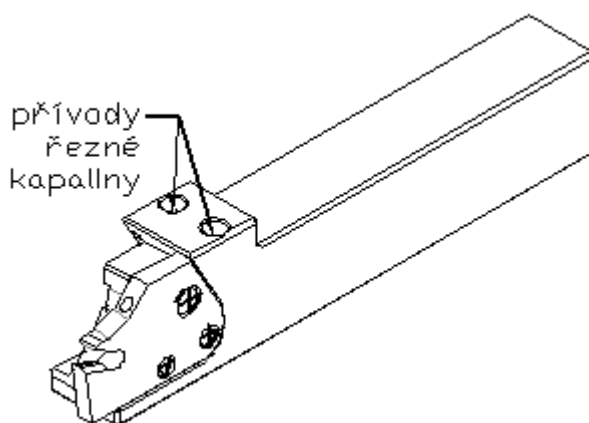
Obr. 8.6 Modifikována planžeta

9 TECHNICKO - EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

Technické zhodnocení:

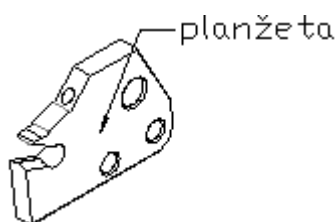
Varianta 1 je uvedena na obr. 9.1, byla navržena tak, aby výroba byla co nejjednodušší, nejrychlejší a zabezpečila požadovanou funkci nástroje. U této varianty je základní těleso na přední části modifikováno. Tam je zhotoveno několik otvorů, jak pro uchycení tlakové hadice na dopravu řezné kapaliny, tak otvory pro přívod řezné kapaliny ze základního tělesa k planžetě.

Z technického hlediska zde hrozí riziko, kdy máme zhotovit dva neprůchozí otvory a v nich vyřezat závity. A právě zde by mohlo dojít k problému. U neprůchozích děr je větší riziko, kdy může dojít k zalomení nástroje, a tím následně k zmetkovosti výroby. Při výrobě neprůchozího závitu může nastat problém a to nedoříznutí závitu na požadovanou délku nebo zalomení nástroje. Celá výroba by se mohla prodražit jak zvýšenou zmetkovostí, potřebou nových nástrojů, tak i zdržením výroby při novém seřízení stroje a výměně nástroje.



Obr. 9.1. Varianta 1

Druhý díl-planžeta obr. 9.2, byla také modifikována na horní části, pro vyvrtání otvoru, který nám slouží pro přívod řezné kapaliny směrem na VBD.

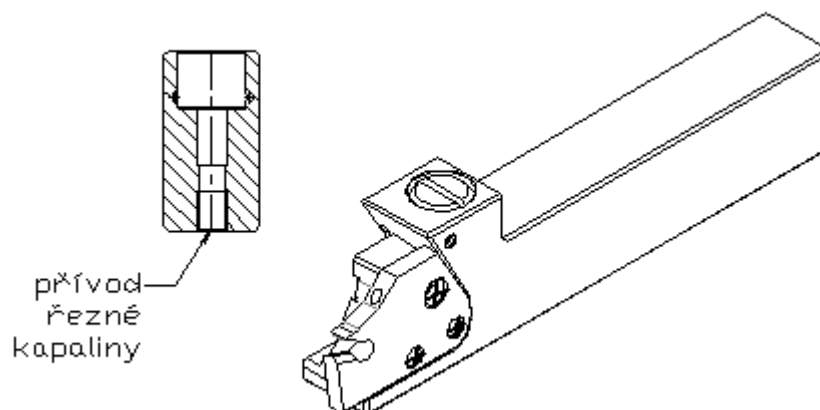


Obr. 9.2

Nevýhoda u této varianty je, pokud budeme chtít změnit stranu uchycení planžety, musíme přešroubovat tlakovou hadici pro přívod řezné kapaliny. To má za následek prodloužení přípravného času na zahájení výroby.

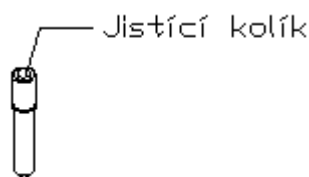
Varianta 2 je uvedena na obr. 9.3. U této varianty je potřeba vyrobit další součásti, aby celý systém plnil požadovanou funkci. Je náročnější na výrobu, ale zhotovení této varianty eliminuje určitá rizika při výrobě.

Základní těleso je na přední části také modifikováno. V horní části je vyvrtán průchozí otvor, který slouží pro přívod řezné kapaliny do tělesa ve spodní části. Otvor je opatřen zčásti vnitřním závitem pro našroubování tlakové hadice s přívodem řezné kapaliny. V horní části je zhotoven otvor pro rozváděcí kolík. Dále je v přední části z boku vyvrtán otvor, který je opatřen částečně vnitřním závitem a slouží pro našroubování pojistného šroubu, který nám jistí rozváděcí kolík v dané poloze. Dále jsou vyvrtány dva otvory kolmo na otvor s rozváděcím kolíkem. Jejich funkcí je přivést řeznou kapalinu směrem k planžetě. U této varianty jsou všechny otvory průchozí, takže se zde eliminuje riziko zalomení nástroje vzhledem k obrábění neprůchozích otvorů. Při řezání vnitřního závitu eliminujeme problém doříznout závít na požadovanou délku. Při změně uchycení planžety není potřeba demontovat tlakovou hadici pro přívod řezné kapaliny, ale stačí povolit jistící šroub a směr řezné kapaliny změnit pomocí otočením rozváděcího kolíku a pak přitáhnout jistící šroub. Tento postup není tak časově náročný jak u varianty 1.



Obr. 9.3 Varianta 2

Jistící šroub-jedná se pouze o soustružení části závitu na požadovaný průměr v určité délce obr. 9.4.



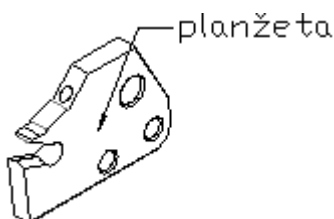
Obr. 9.4 Jistící kolík

Rozváděcí kolík, lze vyrobit na jedno upnutí v obráběcím centru obr. 9.5.



Obr. 9.5 Rozváděcí kolík

Planžeta je zobrazena na obr 9.6, byla také modifikována na horní části, pro vyvrtání otvoru, který nám slouží pro přívod řezné kapaliny směrem na VBD.



Obr. 9.6 Modifikována planžeta

Jak **varianta 1**, tak **varianta 2** jsou navrženy tak, aby přívod řezné kapaliny směřoval do místa řezu na břit VBD. Jelikož u toho typu chlazení lze využít vyššího tlaku přívodu řezné kapaliny, můžeme tak zvýšit řeznou rychlost. Kapalina nám rychleji ochlazuje nástroj a tvoří se třísku, dochází k její lámavosti a následně je tlakem řezné kapaliny vyplavována z místa řezu. Tím to stylem chlazení prodlužujeme životnost nástroje, zkracujeme čas řezného procesu a zlepšujeme povrch obrobené součásti.

Po srovnání obou návrhů doporučuji **variantu 2** z několika hlavních důvodů. **Variantu 2** při změně uchycení planžety není potřeba demontovat tlakovou hadici, ale stačí povolit jistící šroub a natočit rozváděcí kolík, dále nemá neprůchozí otvory, kde hrozí riziko zalomení nástroje, a s tím případná zmetkovost výroby či zvýšené náklady na nové nástroje a seřízení stroje. Důležitou předností **varianty 2** je originalita návrhu.

Ekonomické hodnocení:

Na základě stávající praxe vede použití tohoto typu chlazení k tomu, že VBD vydrží o 10% déle. Díky lepšímu odvodu tepla z místa řezu, můžeme zvýšit řeznou rychlost-zkrácení času na obrábění. Dále tvořící tříska je prudce ochlazována, tím dochází k zkřehnutí, lépe se láme a následně je odplavována a to vede k lepší jakosti obrobené plochy.

Orientační propočet nového modulárního systému pro upichování a zapichování je uveden ve dvou tabulkách tab. 9.1 a 9.2.

Varianta 1

Čas stroje na 1 hod. práce	1450 Kč
Čas stroje na 1 min. práce	24,66 Kč
Přípravný čas na 1 ks	12 min.
Přípravný čas na dávka ks 30 ks	0,4 min.
Strojní čas 2* otvor D7-L8	1 min.
Strojní čas 2* otvor D3-L15	1 min.
Strojní čas 1* závit M8-L6	0,5 min.
Strojní čas 1* otvor D3-L20	0,5 min.
Celkový čas na dávku 30 ks	3,4 min.
Celková cena na 1 ks při dávce 30 ks	83,85 Kč

Tab. 9.1. Rozbor nákladů pro variantu 1

Varianta 2

Čas stroje na 1 hod. práce	1450 Kč
Čas stroje na 1 min. práce	24,66 Kč
Přípravný čas na 1 ks	12 min.
Přípravný čas na dávka ks 30 ks	0,4 min.
Strojní čas 1* otvor D7-L47	0,8 min.
Strojní čas 1* otvor D18-L15	0,7 min.
Strojní čas 2* otvor D3-L15	1 min.
Strojní čas 1* otvor D3,3-L20	0,5 min.
Strojní čas 1* závit M8-L10	0,5 min.
Strojní čas 1* závit M4-L8	0,4 min.
Strojní čas 2* otvor D3-L20	1 min.
Celkový čas na dávku 30 ks	5,3 min.
Cena rozváděcí kolíku	8,50 Kč
Cena jistícího šroubu	5,20 Kč
Celková cena na 1 ks při dávce 30 ks	144,4 Kč

Tab. 9.2 Rozbor nákladů pro variantu 2

Celková cena při výrobě série 30ks činí u varianty 1 na jeden ks 83,85 Kč a u varianty 2 na jeden ks 144,4 Kč. Z finančního hlediska vychází varianta 1 lépe než varianta 2.

Cena modulárního systém pro upichování a zapichování, značen v katalogu firmy **MS-EN**, a planžeta **XLCFN**-je asi **4150 Kč**. Náklady vynaložené na realizaci vnitřního chlazení jsou ve srovnání s cenou zcela zanedbatelné. Jelikož získáme nový nástroj a jeho technické přednosti a výhody tyto zvýšené náklady kompenzují. Při větší sérii se náklady na jeden kus ještě zmenší.

ZÁVĚR

Bakalářská práce popisuje v úvodní části problematiku soustružení a řezné nástroje s vnitřním chlazením, jejich výhody v současném procesu obrábění, vliv na životnost nástroje a dále nejnovější vývoj a trendy u světových výrobců v oblasti řezných nástrojů s tímto typem chlazením.

V další části jsou vypracovány dva návrhy řezného nástroje s vnitřním chlazením, popis jednotlivých dílů návrhů řezného nástroje, technicko-ekonomické zhodnocení obou variant a výkresová dokumentace pro obě varianty je uvedena v příloze 1÷7 předkládané práce.

Po komplexním zhodnocení návrhů konstrukce řezného nástroje a jeho ekonomických přínosů doporučuji variantu 2. Jelikož při změně uchycení planžety není potřeba demontovat tlakovou hadici, ale stačí povolit jistící šroub a natočit rozváděcí kolík, toto řešení bude přínosem zejména pro koncového zákazníka, dále i kvůli její technické originalitě v souladu s moderními trendy ve vývoji řezných nástrojů.

Výsledky práce byly předány zástupcům firmy Pramet Tools kde budou vyhodnoceny pro případné zařazení do sortimentu.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] ZEMČÍK, Oskar. *Nástroje a přípravky pro obrábění*. Brno : CERM, s. r. o., 2003. 193 s. ISBN 80-214-2336-6.
- [2] PLCHOVÁ, Anna; KOLESÁR, Michal. *Moderní metody v konstrukční praxi*. Ostrava : Vysoká škola báňská-Technická univerzita, 2004. 66 s. ISBN 80-248-0538-3.
- [3] FOREJT, Milan ; PÍŠKA, Miroslav. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. Brno : CERM, 2006. 225 s. ISBN 80-214-2374-9.
- [4] HUMÁR, Anton. *Slinuté karbidy a řezná keramika pro obrábění*. Brno : CCB, 1995. 265 s. ISBN 80-85825-10-4.
- [5] HUMÁR, Anton. *Materiály pro řezné nástroje*. Praha : MM publishing, s.r. o., 2008. 235 s. ISBN 978-254-2250-2.
- [6] HUMÁR, Anton. *Technologie I : Technologie obrábění-1. část studijní opory pro magisterskou formu studia* [online]. 2003 [cit. 2011-10-04]. Dostupné z WWW: <http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/TI_TO-1cast.pdf>.
- [7] KOČMAN, Karel; PROKOP, Jiří. *Technologie obrábění*. Brno : CERM, s. r. o., 2001. 270 s. ISBN 80-214-1996-2.
- [8] *Iscar.cz* [online]. 2011 [cit. 2011-10-04]. Dostupné z WWW: <<http://www.iscar.cz/ProductLines/ProductLineSubDetail.asp/CountryID/6/ProductLineSubDetailID/1129>>.
- [9] *Secotools.com* [online]. 2011 [cit. 2011-10-04]. Dostupné z WWW: <<http://www.secotools.com/cs/Global/Products/Milling1/Jetstream-Tooling/>>.
- [10] *Coromant.sandvik.com* [online]. 2011 [cit. 2011-10-04]. Dostupné z WWW: <<http://www2.coromant.sandvik.com/coromant/downloads/brochure/ENG/C-1040-091.pdf>>.
- [11] *Pramet.com* [online]. 2011 [cit. 2011-10-04]. Dostupné z WWW: <<http://www.pramet.com/download/katalog/pdf/Turning%202010%20CZ%20prog.pdf>>.
- [12] *Pramet.com* [online]. 2011 [cit. 2011-10-04]. Dostupné z WWW: <<http://www.pramet.com/index4ec5.html?menu=akce1>>.
- [13] *Upv.cz* [online]. 2011 [cit. 2011-10-04]. Dostupné z WWW: <<http://isdv.upv.cz/portal/pls/portal/portlets.pts.det?xprim=1498902&lan=cs>>.

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

Zkratka/Symbol	Jednotka	Popis
v_c	$[m \cdot min^{-1}]$	řezná rychlost
v_f	$[m \cdot min^{-1}]$	posuvná rychlost
v_e	$[m \cdot min^{-1}]$	pracovní rychlost
D	$[mm]$	průměr obráběné plochy
n	$[min^{-1}]$	otáčky obrobku
f	$[mm]$	posuv na otáčku
Q_{pe}	$[J]$	teplo vzniklé z plastických a elastických deformací
Q_α	$[J]$	teplo vzniklé třením mezi čelem nástroje a třískou
Q_γ	$[J]$	teplo vzniklé třením hlavního hřbetu nástroje a přechodovou plochou na obrobku
Q_t	$[J]$	teplo odcházející třískou
Q_n	$[J]$	teplo odcházející obrobkem
Q_{pr}	$[J]$	teplo odcházející řezným prostředím
T	$[min]$	trvanlivost
m	$[-]$	exponent trvanlivosti nástroje
C_t	$[-]$	konstanta trvanlivost nástroje
C_v	$[-]$	konstanta trvanlivost nástroje

SEZNAM PŘÍLOH**PŘÍLOHA 1****Výkresová dokumentace**

Výkres sestavy

Modulární systém var.1 BP-3K1-1

Výrobní výkres

Těleso varianta 1 BP-3K1-3

Výrobní výkres

Planžeta var. 1-2 BP-3K1-5

Výkres sestavy

Modulární systém var.2 BP-3K1-2

Výrobní výkres

Těleso varianta 2 BP-3K1-4

Výrobní výkres

Rozvodový kolík BP-3K1-6

Výrobní výkres

Jistící šroub BP-3K1-7

Příloha 1