

UNIVERZITA TOMÁŠE BATI VE ZLÍNĚ

Fakulta technologická

Enviromentální a technologické aspekty HSC obrábění

Diplomová práce

2005

Michaela Kapitánová

Čestné prohlášení

Souhlasím s tím, že s výsledky mé práce může být naloženo podle uvážení vedoucího diplomová práce a ředitelem ústavu. V případě publikace budu uvedena jako spoluautor.

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci zpracovala samostatně na základě uvedené literatury a dostupných materiálů pod vedením svého vedoucího diplomové práce.

Ve Zlíně dne 25.5. 2005

.....

Poděkování

Velice děkuji Prof. Ing. Karlovi Kocmanovi, DrSc. za čas věnovaný konzultacím a za cenné připomínky a rady, které byly přínosem pro moji diplomovou práci.

Anotace

Bc. Michaela Kapitánová

Enviromentální a technologické aspekty HSC obrábění

DP, 2005

Stanovení rozdílů mezi HSC a konvenčním obráběním. Problematika HSC obrábění, aplikace, použití, výhody a nevýhody. Řešení řezných kapalin a olejů na proces obrábění. Celkové hodnocení významu obrábění bez použití řezných kapalin u HSC obrábění. Energetické aspekty, vývin tepla v procesu obrábění. Ekologické dopady při HSC obrábění.

Klíčová slova:

HSC obrábění, řezná kapalina, řezné materiály, obrábění bez chlazení, recyklace řezných kapalin, ekologické aspekty.

OBSAH

Čestné prohlášení

Poděkování

Anotace

Obsah

Úvod	9
1. Historie	11
2. Analýza metody rychlostního obrábění	12
2.1. Stanovení mezních rozsahů mezi rychlostním a konvenčním obráběním	12
2.1.1. Konvenční obrábění	12
2.1.2. Vysokorychlostní obrábění	14
2.2. Vliv řezné rychlosti na průběh řezného procesu	16
2.2.1. Vliv řezné rychlosti na velikost primární plastické deformace třísky	17
2.2.2. Vliv řezné rychlosti na odvod tepla z místa řezu	19
2.2.3. Snížení výchozí pevnosti obráběného materiálu účinkem vysokých teplot	20
2.2.4. Závislost při obrábění ocelových a litinových obrobků	21
2.2.5. Závislost při obrábění hliníku a jeho slitin	22
3. Vliv a funkce řezné kapaliny na proces obrábění	24
3.1. Základní rozdělení řezných prostředí	24
3.1.1. Technologické požadavky na řezné prostředí	25
3.1.1.1. Popis jednotlivých specifických požadavků	25
3.1.2. Druhy řezných kapalin	27
3.2. Volba řezných kapalin podle druhu operace	29
3.3. Přívod řezné kapaliny do místa řezu	30
3.3.1. Typy chlazení	31
3.4. Plynné řezné prostředí	32
3.5. Obrábění bez chlazení	33
3.5.1. Minimalizace množství tepla	33
3.5.2. Ochlazování a odplavování třísek	34

3.5.3. Vyšší trvanlivost bříty	34
3.5.4. Zlepšení obrobiteľnosti	35
3.5.5. Obrábění ocelí bez řezných kapalin	36
3.5.5.1. Soustružení	36
3.5.5.2. Frézování	36
3.5.5.3. Vrtání	37
3.5.6. Obrábění litin bez řezných kapalin	38
3.5.7. Obrábění hliníkových slitin bez řezných kapalin	38
3.5.8. Celkové zhodnocení obrábění bez řezných kapalin	39
3.5.8.1. Negativa používání řezných médií	39
3.5.8.2. Náklady na aplikaci řezných kapalin	39
4. Řezné materiály	40
4.1. Přehled novodobých řezných materiálů	40
4.2. Popis nejpoužívanějších materiálů	42
5. Teoretické aspekty HSC obrábění	45
5.1. Teorie vzniku třísky při obrábění	45
5.1.1. Stanovení úhlu roviny stříhu z podmínky minimální energie	46
5.1.2. Stanovení úhlu roviny stříhu pomocí součinitele přechování	47
5.1.3. Vliv řezné rychlosti na velikost úhlu stříhu	48
6. Energetické aspekty rychlostního obrábění	49
6.1. Energetická rovnováha řezného procesu	49
6.2. Tepelná bilance HSC technologií	50
6.3. Výpočet teploty třísky z efektivního příkonu stroje	52
6.4. Příklad výpočtu teploty třísky	53
6.5. Náhrada broušení HSC obráběním	54
7. Ekologické aspekty rychlostního obrábění	55
7.1. Ošetření řezných kapalin	56
7.2. Kontrola řezných kapalin v provozu	56

7.3. Čištění řezných kapalin	57
7.4. Bezpečnost práce s řeznými kapalinami	57
7.5. Recyklace řezných kapalin	58
8. Strojírenská technologie a její vliv na životní prostředí	60
8.1. Ekologizace technologií	61
8.2. Bezodpadové a maloodpadové technologie	61
8.3. Recyklační technologie	62
8.4. Hodnocení technologických procesů z hlediska vlivu na životní prostředí	63
Závěr	66
Resumé	71
Summary	72
Seznam použitých symbolů	73
Seznam použité literatury	75
Seznam grafů	77
Seznam obrázků	77
Seznam příloh	78

Úvod

Obrábění velmi vysokými řeznými rychlostmi je považováno za významný směr ve vývoji obrábění. Někteří výrobci obráběcích strojů hovoří o generačním skoku ve vývoji zejména v intenzifikaci řezného procesu. Někdy se hovoří dokonce o revoluci v obrábění. Strojírenský průmysl, resp. obor obrábění velmi rychle reaguje na tento směr v technologii a přichází s nabídkou frézek i soustruhů, které jsou pro realizaci rychlostního obrábění dobře technicky vybaveny vysokootáčkovými vřeteny s dostatečným příkonem, moderními řídicími systémy a rychlostními posunovými mechanismy.

Příkladem těchto univerzálních strojů schopných vykonávat vysokorychlostní obrábění jsou např. stroje firem MAZEK, FEHLMANN, HERMLE, DECKEL atd. s těmito stroji jsou spjaty výkonné řídicí systémy firem HEIDENHAIN apod.

Tento nesporně významný směr v technologii obrábění vyvolává naděje k použití kvalitativně řezných podmínek (především řezných rychlostí), které vedou ke zvýšení intenzity úběru obráběného materiálu po kterém se volá již od nástupu moderní výrobní techniky – CNC obráběcích strojů jako rozhodující podmínky jejich ekonomického využití. Je však nutné upozornit, že stejně účinnou cestou ke zvýšení intenzity úběru obráběného materiálu je zvýšení posuvu, které navíc nepůsobí na růst opotřebení bříty tak intenzivně jako nárůst řezné rychlosti. Mnohdy se setkáváme s názorem, že obrábění vysokými řeznými rychlostmi je obecně využitelným směrem k zásadnímu zvýšení produktivity obrábění a kvality obrobku. Kvalitnějšího obrobku se dosáhne zlepšením drsností obrobeného povrchu, příznivým ovlivněním charakteru zbytkových pnutí v obrobeném povrchu a omezením možnosti vzniku tepelných deformací obrobku.

Především je nutno upozornit na fakt, že pro širokou aplikaci této metody, zejména pro obrábění ocelí litin, je limitním faktorem řezivost. Přesněji řečeno mez tepelné stability stávajících řezných materiálů, zejména slinutých karbidů a obecně i vlastností ostatních řezných materiálů, řezné keramiky a nástrojů s bříty z kubického nitridu bóru resp. polykrystalů diamantu. Přední výrobci řezných materiálů se snaží vytvořit takový řezný materiál, který by splňoval všechny námi kladené požadavky.

Energetické vlivy při řezání jsou podstatou teoretického chápání vysokorychlostního obrábění. Prvotní tvorba článkovité třísky a tepelné pochody

v průběhu HSC obrábění jsou hlavními ukazateli splnění podmínek vysokorychlostního obrábění. Podstatným činitelem je součinitel přechování a změna úhlu střižné roviny při určitých řezných parametrech u procesu HSC obrábění. Ohledně otázky náhrady broušení vysokorychlostním frézováním (obráběním) je ovlivněna tepelnou stabilitou řezných materiálů. Vlivem nástroje se podstatně mění kvalita obrobené plochy a tvarová tolerance plochy. Přínosem náhrady broušení je energetická a časová úspora při dokončovacích operacích.

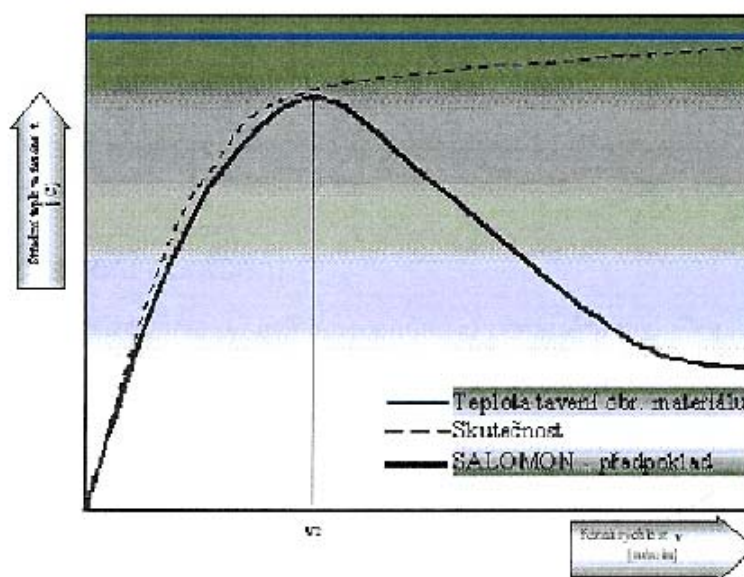
Významným faktorem v podpoře HSC technologie je i obrábění bez použití řezných kapalin. Obrábění bez chlazení (tzv. obrábění za sucha) je jedna z možností jak zlepšit podmínky samotného procesu obrábění. Použití této technologie má následné výhody ekologické, bezpečnostní, zdravotní a hlavně finanční snížení možných nákladů na výrobu.

TEORETICKÁ ČÁST

1. Historie

Stručně z hlediska vzniku rychlostního obrábění. Myšlenka vysokorychlostního obrábění se zrodila v roce 1931 pro zvýšení řezných výkonů při frézování slitin Al a s touto myšlenkou přišel Salomon a také ji experimentálně ověřil při frézování nástrojem velkého průměru, aby dosáhl odpovídající řezné rychlosti. Přitom vycházel z předpokladu, že se řezná teplota s rostoucí řeznou rychlostí nejprve zvětšuje a po dosažení určitého maxima dochází k jejímu poměrně rychlému poklesu – viz graf 1.1.

Jak z grafu vyplývá pokles teploty zdůvodňoval tím, že se primární deformace v oblasti tvoření třísky s řeznou rychlostí zmenšuje, protože stupeň plasticity materiálu je závislý na rychlosti deformace. S rostoucí řeznou rychlostí se materiál stává méně plastickým. Tento předpoklad byl pozdějšími výzkumnými pracemi vyvrácen a bylo prokázáno, že zpočátku rychlý nárůst teploty se zpomalí a střední teplota řezání se s rostoucí řeznou rychlostí asymptoticky blíží teplotě tavení obráběného materiálu.



Graf 1.1: Závislost řezné rychlosti na střední teplotě řezání [9]

Teoretické závěry Salomona byly ověřovány v některých výzkumných laboratořích, které řešily základní problém existence poklesu teploty po dosažení maximální teploty (viz. graf 1.1 – hodnota v_2). Výsledky balistických zkoušek, při kterých bylo dosaženo řezných rychlostí řádově $v_c = 50000 \div 80000$ m/min, sice potvrdily nižší úroveň řezných teplot i sil, ale s ohledem na dobu trvání záběru bříty s obrobkem (projektilem) řádu milisekund šlo o podmínky výrazně odlišné od zatížení bříty při běžném obrábění. Rozsáhlý výzkum této problematiky byl proveden v 70 a 80 letech minulého století v rámci programu DARPA (Defense Advanced Projects Agency) financováno USAAF. Pozornost byla mimo jiné věnována výzkumu tvorby třísky při obrábění slitin Al, titanu a superslitin vysokými řeznými rychlostmi. Prakticky se dnes používá obrábění vysokými řeznými rychlostmi při frézování profilu křídel letadel i jiných součástí ze slitin hliníku nástroji SK. Řezné nástroje z SK dosahují řádově $2000 \div 3000$ m/min s rychlostními vysokootáčkovými vřeteny až 80000 ot/min, s posuvy $f_{\min} = 50 \div 60$ m/min. [9]

2. Analýza metody rychlostního obrábění

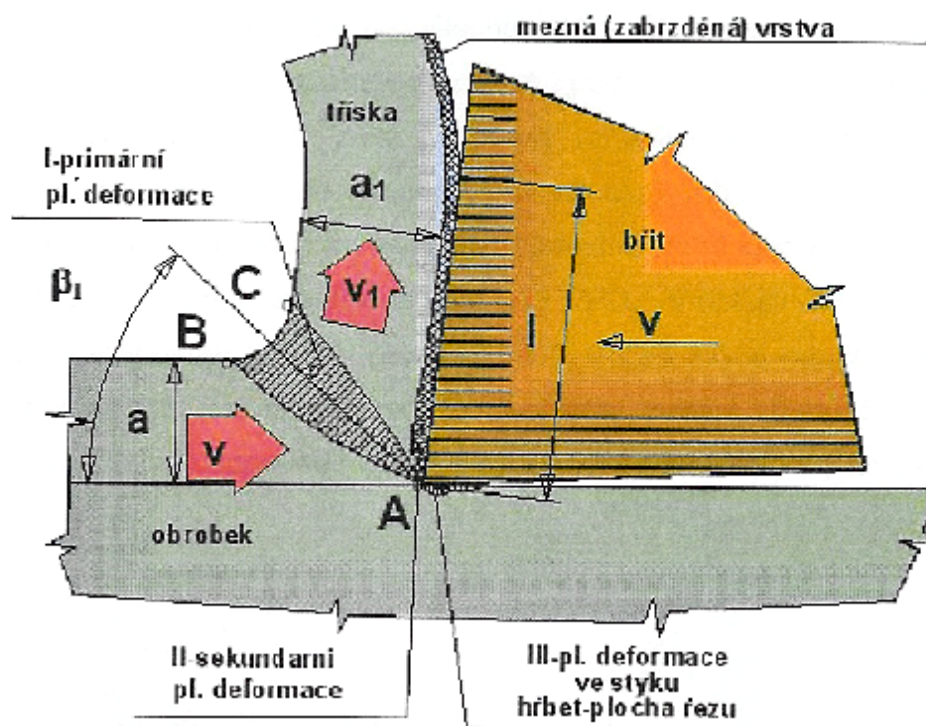
2.1. Stanovení mezních rozsahů mezi rychlostním a konvenčním obráběním

2.1.1. Konvenční obrábění

Je charakterizováno rysem konvenčního obrábění viz. obr. 2.1 probíhající za relativně nízkých teplot a pokud možno s chlazením řezného procesu. V oblasti PPD (Primární plastická deformace) prochází odřezávaný materiál výraznou plastickou deformací (zvláště u tzv. měkkých kovů) a tím často dochází ke zpevnění materiálu vznikající třísky, oproti původnímu materiálu obrobku. Pro konvenční obrábění nezušlechtěných ocelí je charakteristická rozsáhlá oblast PPD, která zasahuje do oblasti i pod rovinou řezu. Vznik nárůstku této tlakové deformace ještě podporuje vzhledem k většímu poloměru ostří nárůstku vůči ostří bříty. [14]

Při obrábění zušlechťených ocelí se deformace pod rovinou řezu zmenšují se zvětšující se tvrdostí obráběného materiálu (důsledkem zvětšování a zmenšování oblasti PPD).

V oblasti SPD (Sekundární plastické deformace) vznikají nárůstky, které jsou výsledkem velkých hodnot přitlačných a třecích sil působících v oblasti třísky – čelo nástroje. Smykové napětí v oblasti SPD přesahuje mez kluzu ve smyku již zpevněného materiálu třísky a dochází tak k další výrazné plastické deformaci. Veliké síly mají za následek vznik intenzivního tření a následný vývin tepla. Vzniklé teplo má relativně dost času (malá rychlost třísky v_1) přejít do nástroje, to je nežádoucí z důvodů intenzivnějšího opotřebení nástroje. Se zvyšující se řeznou rychlostí (deformační rychlostí) úměrně roste intenzita vznikajícího procesního tepla, které je závislé na řezném odporu (měrné řezné síle). Řezný odpor závisí především na druhu obráběného materiálu, a proto tvrdé zušlechťené materiály s velkou pevností se za těchto podmínek těžko obrábí (z hlediska trvanlivosti nástroje).[14]

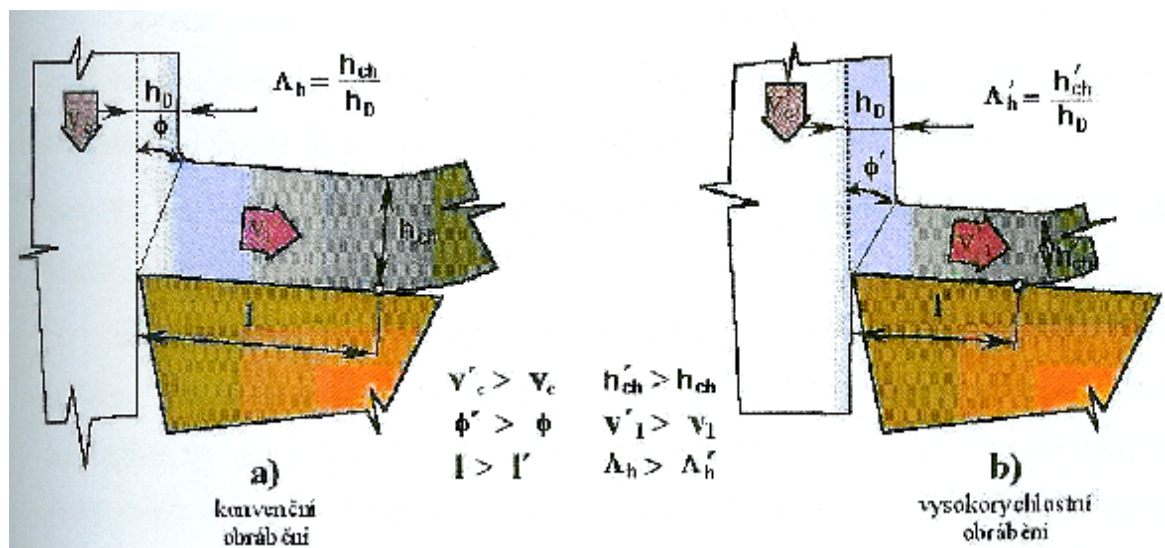


Obr. 2.1: Znázornění plastických oblastí při obrábění [9]

V oblasti TPD (Terciální plastická deformace) je tomu právě naopak. Velké síly a odpor materiálu proti deformaci způsobují neúnosné zatížení břitu, zvláště hřbetu.

Nadměrně veliký deformační odpor vede k rychlému otupení břitu, popř. k jeho destrukci.[14]

Zpevněná tříska může mít i dvakrát vyšší tvrdost a klade větší řezný odpor. Výsledné rozdíly mezi konvenčním a HSC obráběním najdeme na obr. 2.2. Je vidět patrný rozdíl mezi úhlem smykové roviny ϕ , součinitelem přechování třísky Λ_h z obr. 2.2a / 2.2b. čím větší je hodnota Λ_h , tím více je tříska deformována (pěchována) a tím větší jsou řezné síly.



Obr. 2.2: Charakteristické rysy jednotlivých typů obrábění [9]

2.1.2. Vysokorychlostní obrábění

Dojde-li ke zvýšení řezné rychlosti, tak že se dostáváme do oblasti HSC (High Speed Cutting) (obr. 2.2b), tj. rychlost nárůstu třísky ($v_l < v'_l$), dochází k výrazně odlišným pochodům než u konvenčního obrábění. Důvodem je především velká deformační rychlost, která vyvolá nárůst procesní teploty řezání, od které se odvíjí převážná většina dalších změn. Vysoká rychlost třísky ($v_l < v'_l$) způsobí, že materiál odřezané vrstvy prochází oblastí PPD se značně vyšší deformační rychlostí, to má výrazný vliv na koncentraci mechanického napětí do úzkých smykových oblastí a následně na plasticitu kovu v této oblasti.

Plasticita materiálu obrobku se snižuje se zvyšující se rychlostí deformace, oblast PPD se proto zmenšuje. Pro HSC je charakteristické, že probíhá intenzivní plastická deformace v celém průřezu odebírané vrstvy, ale pouze v lokalizované oblasti smykové roviny a v blízkosti čela bříty. Objem deformovaného materiálu je mnohem menší. Velká deformační rychlost materiálu generuje ve zmenšené oblasti plastické deformace podstatné zvýšení tepla (teploty). Teplota, zvláště v blízkosti čela, dosahuje bodu tavení daného materiálu. Vzhledem k popsaným jevům je zřejmé, že silové a napětové zatížení nástroje je menší než u konvenčního obrábění, proto je možné obrábět i zušlechtné kovové materiály.

Z obr. 2.2b je patrné, že úhel smykové roviny se zvětšuje ($\phi < \phi'$) v závislosti na rostoucí řezné rychlosti. Zvětšením úhlu ϕ dochází ke ztenčení odcházející třísky ($h_{ch} < h'_{ch}$), a tím k poklesu součinitele přechování. Dochází také ke snížení pevnosti třísky v ohybu z důvodu zmenšení kontaktní plochy třísky-čelo ($\Lambda_h > \Lambda'_h$) viz. obr. 2.2b.

Vysokorychlostní obrábění v podstatě sleduje zvýšení úběru materiálu, kvality obrobeného povrchu a trvanlivosti bříty nástroje podstatným zvýšením řezné rychlosti při sníženém průřezu třísky a snížené řezné síle. Vysoká relativní rychlost odebíraného materiálu vzhledem k čelní ploše bříty nástroje spolu s vysoce účinnými povlaky a efektivní geometrií bříty, zvyšují podíl tepla řezného procesu, které odchází s třískou a snižuje tepelné i mechanické namáhání nástroje a prodlužuje trvanlivost (za určitých striktních podmínek).

Podstatné pro HSC je vyloučení chladicího efektu procesních medií, který by komplikoval dosažení vysokorychlostního režimu. Vysoká teplota (v oblasti PPD) třísky je tedy pozitivní faktorem i principiálním zdrojem efektů vysokorychlostního obrábění. Tam, kde se lze těžko obejít bez procesních kapalin, jako u vrtání nebo broušení (vysoce záporná geometrie bříty – brusného zrna), je dosažení efektů HSC problematické. Při HSC vzniká extrémně teplá tříska, její teplota může velmi ovlivnit přesnost obrábění, protože třísky se mohou shromažďovat např. v dutině obrobku, upínacího přípravku nebo obráběcího stroje a způsobit jejich tepelnou deformaci.

Použití procesních kapalin současný trend z mnoha hledisek vylučuje. Hovoří se tedy o suchém obrábění nebo tzv. kvazi-suchém obrábění (polosuchém), které ponechává určité silně zredukované množství procesních kapalin nebo mlhy pro mazání čela bříty nástroje a dosahuje tak snížení třecích sil.

Tam, kde je zapotřebí třísky účinně odstraňovat z místa řezu a popř. chladit nástroj (především u nástrojů s nepřerušovaným řezem) je nutné používat speciální zařízení pro chlazení.

2.2. Vliv řezné rychlosti na průběh řezného procesu a tepelné zatížení bříty

Jestliže budu vycházet z rovnice (2.1), potom roste množství tepla vzniklého při oddělování třísky za jednotku času úměrně součinu řezné síly F_c a řezné rychlosti v_c . Teoreticky by měla vzrůstat řezná teplota (střední teplota řezání) úměrně řezné rychlosti podle čáry 1 naznačené v grafu 2.3.: [9]

$$Q_c = F_c \cdot v_c \text{ [J/ min]} \quad (2.1)$$

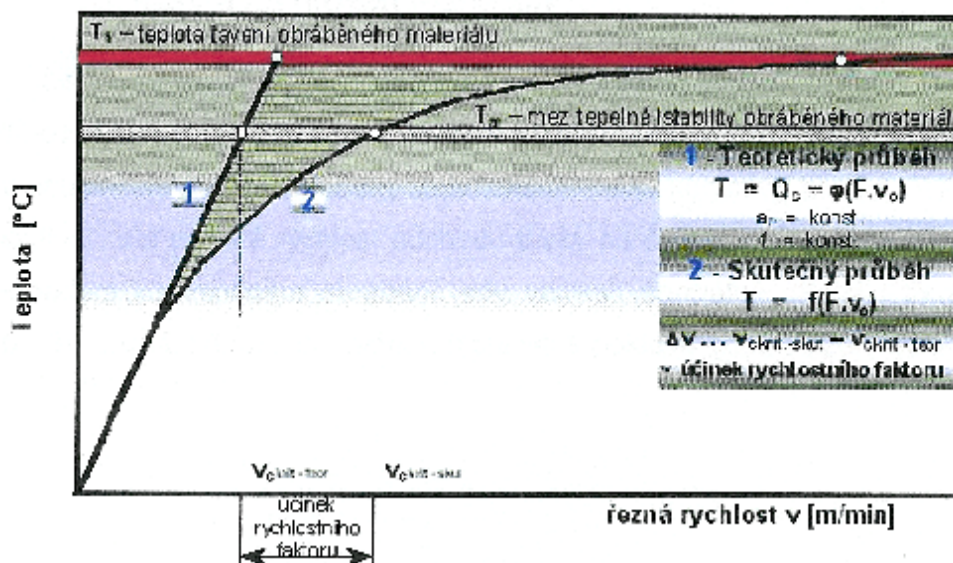
kde Q_c celkové množství tepla vzniklé při odřezávání třísky [J/ min]

F řezná síla [N]

v_cřezná rychlost [m/ min]

V tomto případě předpokládáme, že je řezná síla F_c nezávislá na řezné rychlosti v_c . Podle tohoto předpokladu by měla vzrůstat střední řezná teplota přibližně lineárně až do dosažení teploty tavení obráběného materiálu.

Ve skutečnosti je růst střední řezné teploty zpočátku (při nižších řezných rychlostech) rychlý, blízký teoretickému průběhu podle čáry 1, ale s rostoucí řeznou rychlostí se růst zpomaluje podle čáry 2. Zpomalování nárůstu střední teploty řezání je důsledkem snížení výchozí pevnosti obráběného materiálu, které je důsledkem účinku vysokých teplot, změnou odvodu tepla z místa řezu a přímým účinkem řezné rychlosti na velikosti PPD.



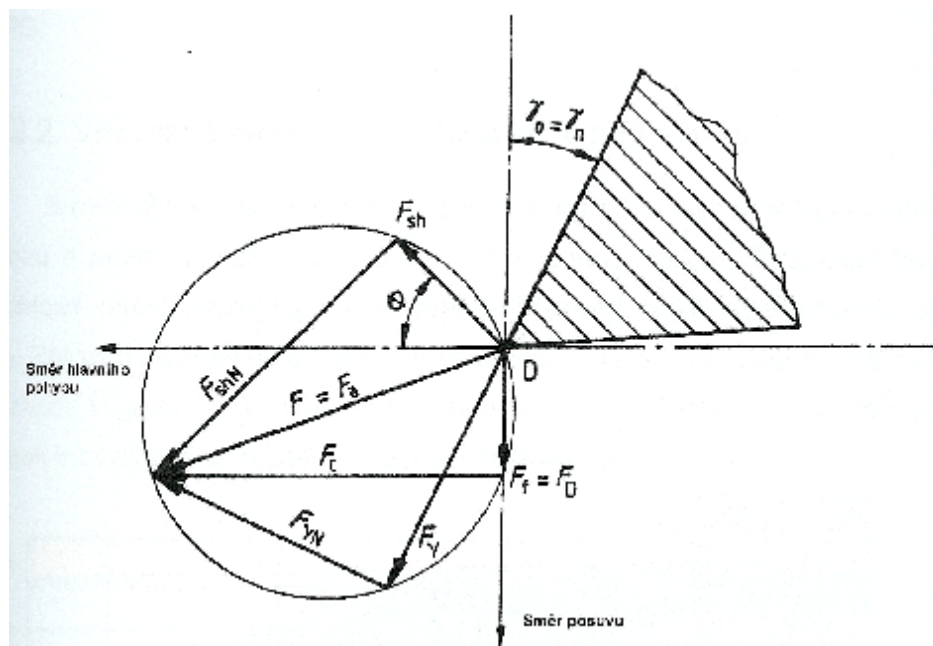
Graf 2.3: Závislost řezné rychlosti na teplotě [9]

Pochopitelně růst řezné teploty není bez omezení, jestliže obrábíme určitým nástrojovým materiálem, může růst řezná teplota až do meze tepelné stability nástroje. Této meze se dosáhne při určité kritické řezné rychlosti $v_{krit-teor}$, teoretická kritická řezná rychlost je menší než skutečná kritická řezná rychlost $v_{krit-skut}$ – viz. graf 2.3. [9]

Rozdíl kritické teoretické a skutečné rychlosti charakterizuje účinek rychlostního faktoru. Efekt rychlostního obrábění bude tím větší, čím více se řezná teplota přiblíží teplotě tavení obráběného materiálu.

2.2.1. Vliv řezné rychlosti na velikost primární plastické deformace třísky a na úroveň řezné síly

Se zvyšováním řezné rychlosti se zvětšuje úhel střížné roviny ϕ . V důsledku toho se zmenšuje PPD – pěchování třísky $\Lambda'_h < \Lambda_h$. Se zmenšováním součinitele pěchování třísky se zmenšuje délka kontaktní plochy třísky – čelo $l' < l$, ale vzrůstá rychlost odchodu třísky po čele (obr. 2.4). V porovnání s případem konvenčního obrábění, kdy vznikají normálové síly $F_{\gamma N}$ i tečná složka F_{γ} (obr. 2.4), dochází s rostoucí řeznou rychlostí k poklesu obou složek řezné síly.



Obr. 2.4: Rozložení řezné síly [20]

Současně vzrůstá rychlost odchodu třísky po čele nástroje, což vede k růstu tepla Q_2 (viz. energetická rovnováha řezného procesu) vzniklého za jednotku času v oblasti sekundární plastické deformace v důsledku tření. V tomto případě platí: [9]

$$Q_2 = T_\gamma \cdot v_1 \quad (2.2)$$

kde: Q_2 růst tepla vzniklé za jednotku času v oblasti SPD [J/ min]

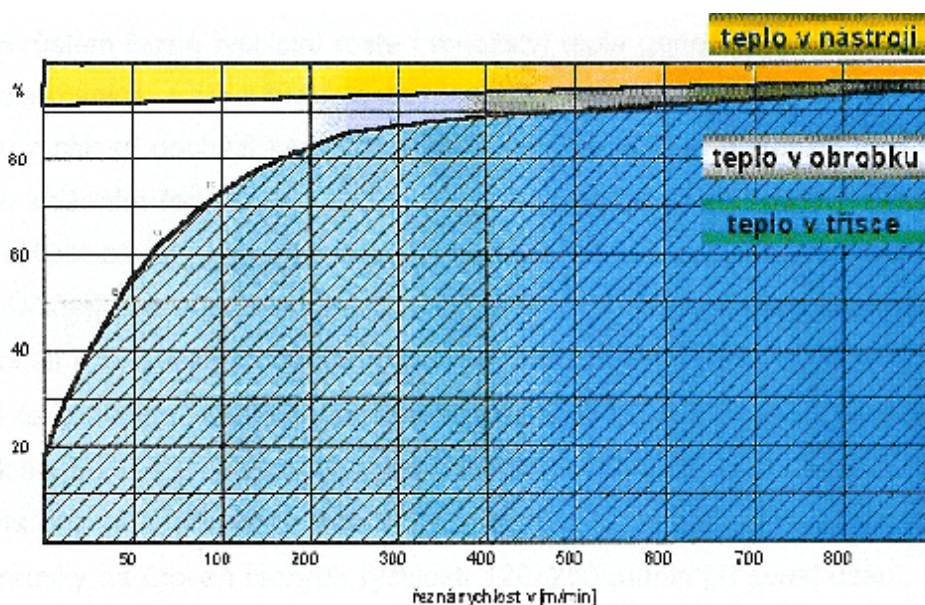
T_γtečná složka síly [N]

v_1rychlost třísky [m/min]

Což ve svém důsledku vede ke vzrůstu střední řezné teploty a ke zvýšení intenzity opotřebení břitů a tím je účinek nepříznivý. Vzrůst řezné síly tudíž vede na jedné straně k poklesu síly T_γ v kontaktu tříska – čelo, ale současně k růstu rychlosti třísky v_1 . I když nelze jednoznačně prokázat převládající jednoho či druhého činitele z rovnice (2.2) lze předpokládat obecně příznivý účinek vlivu řezné rychlosti na zpomalení nárůstu řezné teploty omezením PPD.

2.2.2. Vliv řezné rychlosti na odvod tepla z místa řezu

S rostoucí řeznou rychlostí se zkracuje doba na odvedení tepla q_2 do obrobku a proto vzrůstá podíl tepla q_1 odvedeného třískou. Podíl tepla odvedeného třískou k celkovému množství tepla Q_c vzrůstá s rostoucí řeznou rychlostí. Zároveň se zmenšuje procentní podíl tepla, které je odváděno břitem a obrobkem. V grafu 2.5 je schéma rozdělení tepla mezi třísku, břit nástroje a obrobek v závislosti na řezné rychlosti při obrábění oceli.



Graf 2.5: Závislost rozložení tepla na řezné rychlosti [9]

Z grafu je zřejmé, že s rostoucí řeznou rychlostí se zvětšuje podíl tepla odvedeného třískou, kdežto podíl tepla odvedeného obrobkem a břitem se zmenšuje. Důsledkem použití vysokých řezných rychlostí je chladnější obrobek tzn., že obrobek má menší tepelné deformace a je tedy přesnější s příznivějším charakterem zbytkového pnutí v obrobeném povrchu. Převážná část tepla vzniklého při řezání tedy zůstává v třísce. U plastických materiálů odchází v třísce 60 až 90 % celkového množství tepla Q_c , u litiny odchází v třísce 35 až 60 % celkového množství tepla. Podíl tepla odvedeného nástrojem je v rozmezí 0,5 až 30 % podle vlastností obráběného materiálu a řezných podmínek.

Do obrobku přejde 5 až 50 % veškerého tepla vzniklého při obrábění, část tepla se odvede do okolní atmosféry.

Obrábění vysokými řeznými rychlostmi má proto za následek rostoucí tepelné zatížení břitů i když střední teplota řezání vzrůstá pomaleji než by odpovídalo nárůstu rychlosti v_1 odchodu třísky po čele, tedy množství tepla vzniklého v kontaktu třísky – čelo podle rovnice (2.2).

2.2.3. Snížení výchozí pevnosti obráběného materiálu účinkem vysokých teplot při obrábění vysokými řeznými rychlostmi

S růstem řezné rychlosti roste i množství tepla generovaného v oblasti PPD dle rovnice (2.1) a tudíž roste i teplota v této oblasti. Počínaje určitou řeznou rychlostí dochází ke snížení pevnosti obráběného materiálu, což se projeví snížením řezné síly a proto se zpomalí nárůst střední teploty řezání jejíž velikost závisí podle rovnice (2.2) na množství tepla vzniklého v oblasti SPD. Účinkem zpevnění se prakticky projevuje např. při obrábění zušlechťených ocelí (na vysokou tvrdost 58÷62 HRC) nástrojem z CBN řeznými rychlostmi na úrovni otáček 80÷100 m/min, posuvu $f = 0,2\div0,4$ mm/ot. Zpevňující účinek se příznivě projevuje i při obrábění žáruvzdorných ocelí a speciálních slitin na bázi niklu případně kobaltu buď nástroji PCBN nebo i siliciumnitridové keramiky na úroveň řezných rychlostí 120÷250 m/min při soustružení, při posuvech $f = 0,1$ mm/ot. nebo frézování při posuvech $f_z \leq 0,3$ mm/zub a $v_c = 200$ m/min. v tomto případě působí zpevňující účinek proti zpevňování těchto materiálů, který velmi zhoršuje jejich obrobitelnost při nižších řezných rychlostech.

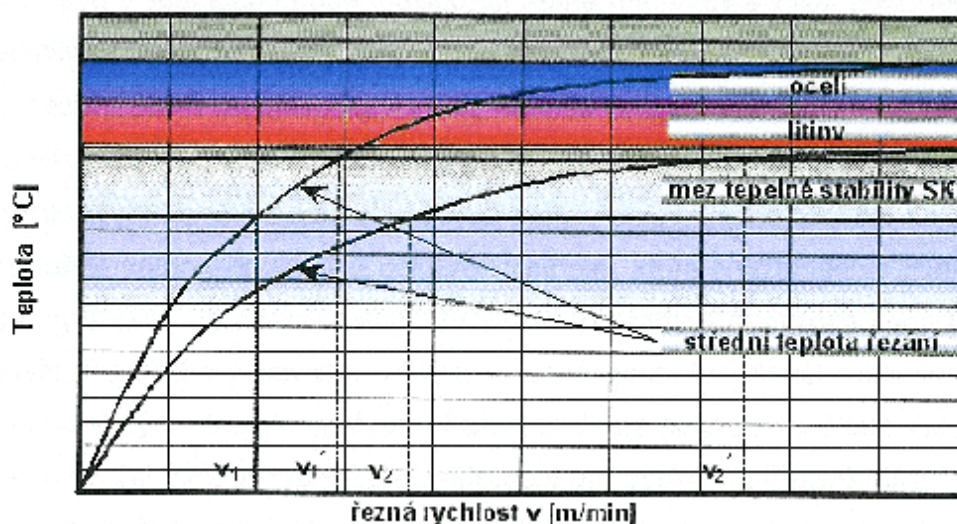
Vysoká teplota v oblasti PPD působí při rychlostním obrábění jako předehřev obráběného materiálu např. plasmou nebo laserem. Tyto metody byly často publikovány jako prostředek pro zlepšení obrobitelnosti těchto materiálů. Ve svém souhrnu všechny popsány účinky vedou k výraznému nárůstu řezného výkonu a tedy růstu produktivity, zlepšení integrity obrobeného povrchu a přesnosti obrobku, omezení možnosti vzniku vibrací atd. Na druhé straně vede použití vysokých řezných rychlostí zákonitě k nárůstu řezných teplot. Tento fakt však v mnoha případech zásadním způsobem limituje možnost širšího uplatnění metody obrábění vysokými řeznými rychlostmi.

V tomto případě je limitujícím faktem nástrojový materiál přesněji mez jeho tepelné stability. Nástrojový materiál pro rychlostní obrábění musí splňovat základní požadavek, aby si i při vysokých řezných rychlostech a tedy i vysokých řezných teplotách zachoval dostatečnou převahu tvrdosti vzhledem k tvrdosti obráběného materiálu za teplot existujících v kontaktní ploše tříska – čelo.

Podle zatím docílených údajů je nutný poměr tvrdosti bříty k tvrdosti obráběného materiálu a to za teploty řezání.

2.2.4. Závislosti při obrábění ocelových a litinových obrobků

V grafu 2.6 je schématicky naznačena závislost střední teploty řezání na řezné rychlosti při obrábění ocelí a litin.



Graf 2.6: Závislost střední teploty řezání na řezné rychlosti (ocel, litina) [9]

Řezná teplota s rostoucí řeznou rychlostí vzrůstá zpočátku velmi rychle a po dosažení úrovně řezné rychlosti se její růst zpomaluje účinkem jevů, které jsem již uvedla. Při dalším růstu řezné rychlosti asymptoticky blíží teplotě tavení obráběného materiálu. V případě obrábění oceli a litiny se jejich teploty tavení pohybují v rozmezí asi $1150 \div 1500$ °C.

U teplot řezání v grafu 2.6 je uvedeno určité rozmezí řezných teplot. Rychlejší nárůst blíže horní hranici uvedeného rozmezí odpovídá materiálům s vyšší pevností a obrábění většími průřezy třísky, břity s horšími podmínkami pro odvod tepla a pomalejší nárůst je blíže k dolní hranici rozmezí odpovídá méně pevným obráběným materiálům a menším průřezům třísky odebíraným břity s lepšími podmínkami odvodu tepla.

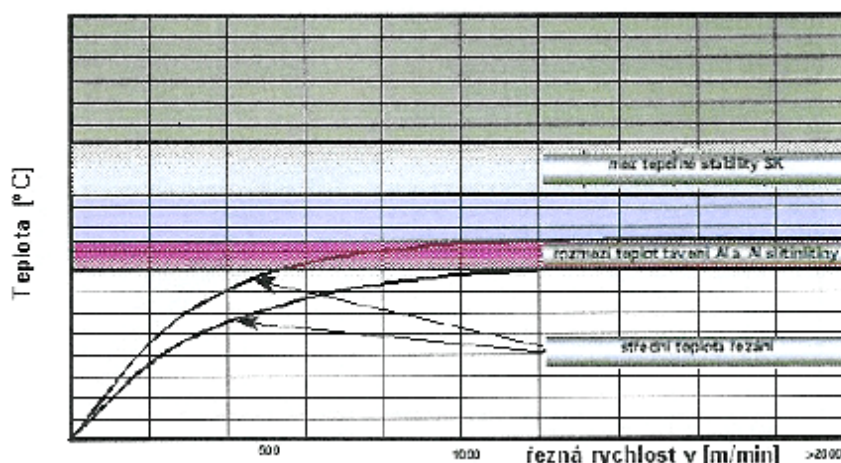
Jestliže vezmeme v úvahu, že u dnes dominantního řezného materiálu slinutých karbidů dochází k výraznému poklesu tvrdosti v rozmezí teplot $850 \div 1100^\circ\text{C}$, potom existují určité mezní řezné rychlosti, které nelze při rychlostním obrábění oceli a litiny slinutými karbidy (SK) překročit.

Většinou jde o mezní řezné rychlosti, při kterých ještě nedochází k plnému uplatnění výhod rychlostního obrábění. Pro lepší využití výhod rychlostního obrábění oceli a litin jsou v současné době k dispozici řezné materiály s vyšší mezí tepelné stability a to kubický nitrid boru (CBN) a řezná keramika.

U nástrojů CBN se předpokládá mez tepelné stability $> 1500^\circ\text{C}$ a u řezné keramiky $1200 \div 1300^\circ\text{C}$. tyto materiály umožňují tedy využití vyšších řezných rychlostí při obrábění oceli a zejména litiny v porovnání se SK, ale na druhé straně je nutno vzít v úvahu některé vlastnosti, které použití těchto materiálů pro rychlostní obrábění limitují. U CBN je to především vysoká cena břitu i vyšší křehkost v porovnání s SK a u řezné keramiky menší odolnost proti mechanickým i teplotním rázům. Pokud budeme hodnotit možnost všeobecného využití metody rychlostního obrábění pro ocelové a litinové obrobky potom je možno očekávat jeho využití až po příchodu zcela nového řezného materiálu s mezí tepelné stability asi $1700 \div 1800^\circ\text{C}$ a s dostatečnou houževnatostí.

2.2.5. Závislost při obrábění hliníku a jeho slitin

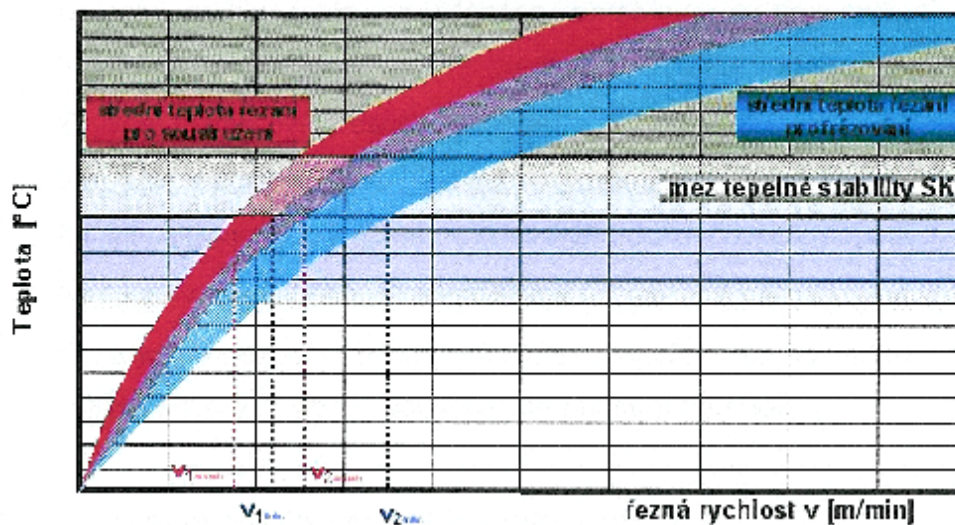
V grafu 2.7 je schématicky znázorněn průběh střední řezné teploty při obrábění hliníku a jeho slitin. Teploty tavení těchto materiálů dosahují maximálních hodnot asi 650°C , které leží hluboko pod rozmezí tepelné stability slinutých karbidů. Střední řezná teplota se s růstem řezné rychlosti opět asymptoticky blíží teplotě tavení těchto materiálů.



Graf 2.7: Závislost střední teploty řezání na řezné rychlosti (hliník) [9]

Je proto zřejmé, že realizace rychlostního obrábění nenarazí na omezení vlastnostmi řezného materiálu jako je tomu u ocelí. Při řezných teplotách blízkých teplotě tavení slitin hliníku lze volit řeznou rychlost při použití nástrojů SK prakticky neomezenou pouze s ohledem na možnosti obráběcího stroje. Obrábění především frézování těchto materiálů je v současné době ve stádiu plného využívání především v leteckém i kosmickém průmyslu, kde jsou při frézování běžně dosahovány řezné rychlosti $v_c = 2000 \div 3000$ m/min na speciálních strojích s vysokootáčkovými vřeteny (40000÷80000 ot/min) a rychlými posuvnými mechanismy s posuvy řádově 20÷60 m/min. Určitou výjimkou při rychlostním obrábění slitin hliníku tvoří slitiny s vyšším obsahem Si > 12 %, kdy dochází k vyššímu otěru břitu VDSK, v tomto případě se lépe uplatňují nástroje s břity PCD. Stejně příznivé podmínky pro realizaci rychlostního obrábění jsou i při obrábění nekovových kompozitních materiálů, kde lze použít řádově stejných řezných rychlostí jako u Al slitin.

Podobný případ jako u slitin Al při realizaci rychlostního obrábění jsou slitiny Cu i když se v tomto případě blíží jejich teplota tavení mezi tepelné stability SK. V tomto případě již nelze volit úroveň řezných rychlostí zcela neomezeně. Při volbě řezných parametrů je zapotřebí postupovat diferencovaně podle obrobitelnosti příslušné slitiny zvlášť.



Graf 2.8: Charakteristika kritických řezných rychlostí pro frézování a soustružení [9]

S ohledem na intenzitu řezné teploty s řeznou rychlostí se jeví frézování jako výhodnější pro aplikaci rychlostního obrábění. Břit frézy, který obvykle periodicky vyjíždí během 1 otáčky z řezu se ochlazuje a proto řezná teplota vzrůstá pomaleji než při soustružení stejnými řeznými podmínkami. Pro frézování materiálů různých pevností, při úběru různých průřezů třísky, leží rozmezí kritických řezných rychlostí při frézování v_1 fréz v_2 fréz výše, než při soustružení stejného materiálu a při úběru stejného průřezu třísky (viz.graf 2.8).

3. Vliv a funkce řezné kapaliny na proces obrábění

3.1. Základní rozdělení řezných prostředí

Prostředí v řezné zóně má významný vliv na kvalitativní a ekonomické parametry řezného procesu. Nejčastěji se používají řezná média jako jsou kapaliny, plyny a mlhy.

3.1.1. Technologické požadavky na řezné prostředí

Z technologického a provozního hlediska se na řezné prostředí specifikují určité požadavky, k nimž patří zejména: [5]

- chladicí účinek,
- mazací účinek,
- čistící účinek,
- provozní stálost,
- ochranný účinek,
- zdravotní nezávadnost a
- přiměřené náklady.

3.1.1.1. Popis jednotlivých specifických požadavků

Chladicí účinek – je to schopnost řezného prostředí odvádět teplo z místa řezu. Tuto schopnost má každé prostředí, které smáčí povrch kovů a pokud existuje tepelný spád mezi povrchem obrobku a prostředím. Odvod tepla vzniklého při řezání se uskutečňuje tím, že řezné prostředí obklopuje nástroj, třísky i obrobek a přijímá část vzniklého tepla. Chladicí účinek řezného prostředí bude záviset na jeho smáčecí schopnosti, na výparném teple, na rychlosti vypařování za určitých teplot, na tepelné vodivosti a na měrném teple. Čím budou tyto veličiny větší tím bude vyšší chladicí účinek řezného prostředí, stejně důležité je v souvislosti s tím průtokové množství řezného média. Výparné teplo zvětšuje chladicí účinek prostředí, ale příliš odpařování řezného média není žádoucí. Aby bylo řezné prostředí využito hospodárně z hlediska čistoty a zdraví, je nutné v některých případech vznikající páry odsávat.

Mazací účinek - je vyjádřen schopností prostředí vytvořit na povrchu obrobku a nástroje vrstvu, která brání přímému styku kovových povrchů a snižuje tření, ke kterému dochází mezi nástrojem a obrobkem. Vzhledem k vysokým tlakům, které vznikají při řezání, nemůže zde dojít ke kapalnému tření. Může ale vzniknout mezní tření, má-li řezné prostředí velkou afinitu ke kovu, nebo váže-li s materiálem obrobku chemicky v mikroskopické povrchové mezní vrstvě.

Mazací účinek znamená proto zmenšení řezných sil, zmenšení spotřeby energie a také zlepšení jakosti obrobeného povrchu. Jeho uplatnění je především v dokončovacích pracích jako je protahování, výroba závitů nebo výroba ozubení. Mazací schopnost je závislá na viskozitě a na pevnosti vytvořené mezní vrstvy. S rostoucí viskozitou se ale zhoršuje pronikání řezného média mezi třecí plochy, jeho proudění a také odvod tepla. Viskosnější řezné médium ulpívá také více na třískách a tím dochází ke značným ztrátám. Pevnost mazací vrstvy se zvyšuje přísadami povrchově aktivních látek, které napomáhají také pronikání do trhlin deformovaného kovu a usnadňuje tak vlastní proces řezání.

Čistící účinek - znamená, že jeho přívod odstraňuje z místa řezu třísky a zlepšuje také u broušení vlastnosti brousícího kotouče, tím že vyplavuje zanesené póry. Řezné prostředí má také bránit slepování částic, které vznikají při řezání a usnadňovat jejich usazování. Velký význam má čistící účinek pro broušení a u těch operací, kdy řezné prostředí musí odnášet třísky z místa řezu, hlavními příklady jsou výroba závitů nebo vrtání hlubokých děr.

Provozní stálost – je možno hodnotit dobou výměny řezného prostředí. Dlouhodobost výměny řezného prostředí je podmíněna zárukou, že se jeho vlastnosti nebudou po tuto dobu měnit. Stárnutí řezného prostředí olejového typu se projevuje tvořením pryskyřičných usazenin, které mohou způsobit i poruchu stroje. Produkty stárnutí mají vliv i na zhoršování funkčních vlastností řezného prostředí, jeho rozklad, zmenšení mazacího účinku, ztrátě ochranných schopností, korozi a hnilobný rozklad. Provozní stálost řezného prostředí závisí na jeho fyzikálních a chemických vlastnostech a na teplotě. Čím je řezné prostředí složitější, tím má větší sklon k nestabilitě.

Ochranný účinek - se projevuje tím, že nenapadá kovy a nezpůsobuje korozi. Toto je důležitý požadavek proto, aby nebylo nutné výrobky mezi operacemi konzervovat, aby se také stroje chránily před rezivěním. Pro vytvoření dokonalého antikorozního účinku jsou do řezné kapaliny přidávány přísady, které pasivují kovy proti nežádoucím účinkům. Dalším důležitým požadavkem je to, aby řezná kapalina nerozpouštěla nátěry obráběcích strojů a nebyla agresivní vůči gumovým těsněním.

Zdravotní nezávadnost - vychází z toho, že při práci na obráběcích strojích přichází obsluhující pracovník do styku s nosným médiem. Proto řezné prostředí nesmí být zdraví škodlivá, nesmí obsahovat látky dráždivé sliznici a pokožku a nesmí být jedovaté, také nesmí zamořovat ovzduší svými výpary. Proto při jeho použití se musí dodržovat na pracovišti základní hygienické opatření, jako je větrání, umývání, preventivní ochrana pokožky a pod.

Přiměřené náklady - souvisí především se spotřebou řezného média. Při rozboru nákladů je nutné nejdříve posoudit jejich vliv na proces obrábění, tj. na trvanlivost nástroje, ostření, jakost obrobku a spotřebu energie, provozní stálost, spotřebu a výměnu.

Řezná prostředí je jedním z prostředků, jak ovlivňovat hospodárnost procesu obrábění. Při jejím výběru je nutné komplexně zvážit jeho působení na proces řezání, tj. na průběh plastických deformací v zóně řezání, na opotřebení nástroje a na změnu struktury povrchu obrobené plochy.

3.1.2. Druhy řezných kapalin

Řezné kapaliny se dělí do dvou následujících skupin:

- chladicí kapaliny - s převažujícím chladicím účinkem
- řezné oleje - s převažujícím mazacím účinkem

Řezné kapaliny se rozdělují na tyto skupiny: [4] [6]

- vodné roztoky
- emulzní kapaliny
- mastné oleje
- zušlechtěné řezné oleje
- syntetické kapaliny

Vodné roztoky - je to nejjednodušší řezná kapalina, ale mají málo výhod. Jedna z výhod pro kterou je velice oblíbená při třískovém obrábění je chladicí účinek, ten je oproti řezným olejům daleko vyšší. Voda slouží jako základ a vyžaduje řadu úprav, jako je změkčování, přidávání přísad proti korozi, pro zlepšení smáčivosti a proti pěnivosti. Vodný roztok musí být vždy alkalický.

U těchto kapalin vzniká nebezpečí rozmnožování anaerobních bakterií, které způsobují tvorbu kalů a nepříjemný zápach. Těmto bakteriím se dá předcházet přidáním desinfekčních prostředků nebo pasterizací teplem a u nejjemnějších roztoků mikrofiltrací nebo ultrafiltrací. Při těchto metodách odstraňování nežádoucích bakterií může dojít k zhoršení některých vlastností roztoku.

Emulzní kapaliny - tvoří disperzní soustavou dvou vzájemně nerozpustných kapalin, z nichž jedna tvoří mikroskopické kapky, rozptýlené v kapalině druhé. U třískového obrábění se nejvíce používá olej ve vodě. Přitom je třeba využít další složky tzv. emulgátory, které zabrání koagulaci jemně rozptýlených částic oleje ve vodě.

Řezné oleje - jsou zušlechťené minerální oleje. Do těchto olejů se používají přísady, které mají vyšší tlakovou únosnost a také lepší mazací vlastnosti, jsou to mastné látky, organické sloučeniny a pevné maziva.

- mastné látky jsou zmýdelnitelné mastné oleje, mastné kapaliny, nebo syntetické estery. Tyto přísady zvětšují a zlepšují mazací schopnosti, ale ne za extrémních tlaků.
- organické sloučeniny, které jsou sloučeniny určitých prvků, jako je síra, chlor, fosfor. Všechny tyto látky se osvědčily jako vysokotlaké přísady. Na povrchu vytvářejí vrstvičku kovových mýdel, která zabraňují kovovým svarům a usnadňují kluzný pohyb troucích se ploch.
- pevná maziva působí při řezání mechanickým účinkem, svou afinitou ke kovu vytvářejí mezní vrstvu odolnou proti tlakům a zlepšují mazací schopnosti oleje. Patří mezi ně grafit a siričák molybden. Jejich nevýhodou je nerozpustnost v kapalinách a proto se musí udržovat v rozptýleném stavu.

Syntetické a polosyntetické kapaliny - je to druh řezných kapalin, které se vyznačují velkou provozní stálostí. Většinou jsou rozpustné ve vodě a mají dobré chladicí, mazací a ochranné účinky.

Syntetické řezné kapaliny neobsahují minerální oleje, ale jsou složeny z rozpouštědel – glykolů, které ve vodě emulgují nebo se rozpustí. Jedna z výhod použití glykolů je jejich průsvitnost a tím lze sledovat průběh obráběcího procesu. Aplikace syntetických řezných kapalin má proti kapalinám na bázi oleje ekonomické výhody a navíc zajišťuje rychlé odvádění tepla, má dobré čistící vlastnosti a jednoduchou přípravu. Polosyntetické kapaliny vznikají rozptýlením oleje a tím mají příznivější mazací schopnosti.

3.2. Volba řezné kapaliny podle druhu operace

Při hrubování má řezná kapalina především prodloužit trvanlivost nástroje a zmenšit i příkon stroje, snížením řezných sil. Příkon stroje podstatnou mírou snižuje řezné oleje, ale mají vliv na trvanlivost nástroje.

Běžné emulze při těchto operacích nemají výrazný vliv na snížení řezných sil, pokud by se dalo uvažovat o vlivu na snížení řezných sil, tak abychom museli mít 10 až 15 % koncentraci.

Z hlediska trvanlivosti se vystačí s koncentrací už 5%. [3]

Daleko významnější je funkce řezné kapaliny při dokončovacích operacích, kdy ani tak nejde o dodržení trvanlivosti nástroje, ale především o dosažení vysoké jakosti obrobeného povrchu. Při malých řezných rychlostech je výhodné použít řezný olej nebo vysoce aditivované emulze. Při vyšších řezných rychlostech je výhodnější použít emulze o koncentracích 3 až 5%.

Při volbě řezné kapaliny z hlediska materiálů platí tato pravidla, jestliže se zvětšuje pevnost obráběného materiálu dochází k většímu namáhání břitu nástroje nebo nějaké specifické přísady, které zaručují vyšší pevnost mazací vrstvy. U materiálů s horší tepelnou vodivostí je třeba volit řeznou kapalinu, která zaručuje pevnost mazací vrstvy i za vyšších teplot.

Tab. 3.1: Přehled doporučených řezných kapalin pro různé metody obrábění [5]

Metoda obrábění	Ocel			Litina	niki a jeho slitiny	bronz a mosaz	měď a slitiny	hliník a slitiny	horčík a slitiny
	nízko-uhlíková	s vyšší obsahem uhlíku	nerez oceli						
Seostružení	D 3	D 5	D 10	-	E	D 3	D 3	D 3	B
Vrtání a vysružování	F, D 10	F	J	D 5	E	B	B	A	B
Frézování	D 5	D 5	D 10	D 5	F	B	D 3	D 3	B
Řezání závitů	H	J	J	D 10	J	C	B	C	A
Řezání závitů na automatických	E	H	H	-	H	B	A	C	B
Válcování závitů	F	F	F	-	-	C	A	B	A
Řezání plou	D 3	D 3	D 3	D 3	D 3	D 3	D 3	D 3	B
Výroba ozubení	E, D 10	F	J	D 5	-	B	-	-	-
Prořezávání	J	J	J	D 10	J	C	B	C	B
Broušení	D 2	D 2	D 2	D 2,5	D 2	D 2	D 2	D 2	B
Broušení závitů	J	J	J	-	-	C	-	C	C

A – minerální oleje
 B – mastné oleje
 C – maštěné oleje s přísadami
 D – emulze (číslo udává koncentraci v %)

E – minerální oleje s přísadami
 F – lehké minerální oleje s přísadami
 H – oleje aditivované
 J – maštěný olej s přísadami

Při volbě řezné kapaliny podle metody obrábění je nutné přihlížet k požadavkům na trvanlivost nástroje nebo jakost obrobené plochy. Stručný náznak volby řezné kapaliny podle druhu lze vyčíst z tab. 3.1.

Při soustružení je důležitý požadavek o trvanlivost nástroje a tomuto požadavku nejvíce vyhovují emulze.

Při vrtání se nejlépe využívá účinku řezných olejů, protože prodlužuje trvanlivost vrtáku a dobře vyplavuje třísky z místa řezu.

Při broušení vzniká vysoká teplota, která přechází do obrobku, a proto musí řezná kapalina splňovat podmínku velice dobrého chladicího účinku, tomuto požadavku vyhovuje emulze o koncentraci do 5%. U speciálních broušení, závitů nebo ozubení, se používají řezné oleje.

3.3. Přívod řezné kapaliny do místa řezu

Způsob přívodu řezné kapaliny do zóny řezání významně ovlivňuje parametry řezného procesu, zejména trvanlivost břitu a nástroje a jakost obrobené plochy. Parametry řezného procesu ovlivňuje množství přiváděné řezné kapaliny do místa řezu. Tab. 3.2 doporučuje určitá množství podle druhu metody obrábění, tyto hodnoty byly zjištěny dlouhodobou praxí.

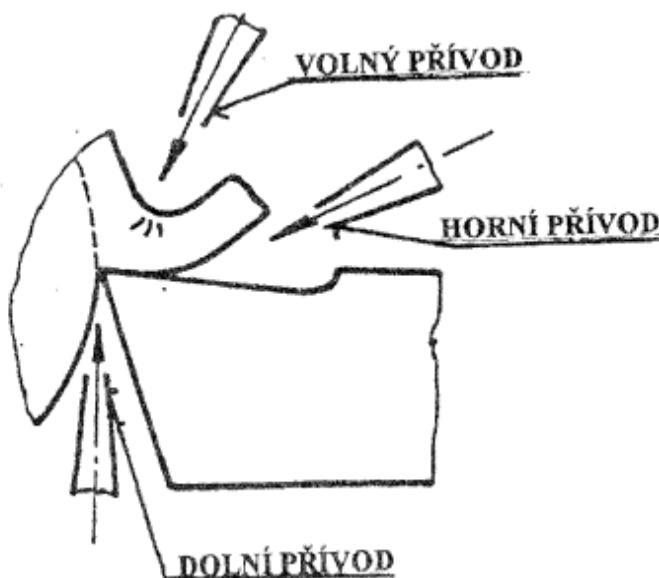
Tab. 3.2: Doporučená množství řezné kapaliny pro různé metody obrábění [5]

Metoda obrábění		Množství řezné kapaliny l.min ⁻¹
Soustružení	hrubování	10-15
	dokončování	8-10
	rychlостní soustružení	15-20
Vrtání		4-10
Zahlubování		5-6
Výstružování		6-10
Řezání závitů		2-3
Protahování	dokončování	8-15
	vnější	8-12
Výroba ozubení	hrubování	8-10
	dokončování	2-3
Broušení	hrubování	do 30
	dokončování	30-60

3.3.1. Typy chlazení

Standardní chlazení – je to způsob přívodu řezné kapaliny, který nevyžaduje žádné úpravy přívodního potrubí ani jiného strojního zařízení obráběcího stroje. Množství dodávané řezné kapaliny je dáno typem čerpadla a škrcením průtoku výstupním kohoutem. Přívod znázorněn na obr. 3.1.

Tlakové chlazení – je řezná kapalina přiváděna do místa řezu pod vysokým tlakem. Průměr výstupní tržsky bývá 0,3 až 1 mm a tlak 0,3 až 3 MPa. Kapalina je přiváděna zespodu na břit nástroje a to přímo do místa řezu. Tento způsob chlazení je velice vhodný pro obrábění při kterém vzniká nadměrné množství tepla a to má špatný vliv na trvanlivost nástroje. Množství řezné kapaliny se pohybuje v rozmezí 0,5 až 2 l .min⁻¹. Jedním z nedostatků tohoto způsobu chlazení je, že se řezná kapalina rozstříkuje a tvoří mlhu a proto musí být vhodně vyřešeno krytování pracovního prostoru stroje, aby se zabránilo znečišťování pracovního prostředí.



Obr. 3.1: Přívod řezné kapaliny do místa řezu- varianty pro ortogonální řezání [2]

Podchlazení řezné kapaliny – tento způsob se zakládá na podchlazení řezné kapaliny na teplotu nižší než je teplota okolí a tím přispívá ke zvýšení trvanlivosti nástroje. Teploty u běžných druhů řezných kapalin při zachování mazacích vlastností podchlazeny na 5 až 7 °C a oleje na 15 až 20°C. tato metoda výrazným způsobem zvyšuje výkon obrábění.

Chlazení řeznou mlhou – v tomto případě se řezná kapalina rozprašuje vysokým tlakem vzduchu vytékajícího z trysky rychlostí až 300 m.s^{-1} . Chladicí efekt je docílen tím, že rozpínající se vzduch obsahuje částičky řezného média a tím má větší schopnost přijímat vzniklé teplo.

Vnitřní chlazení – tato metoda se aplikuje u vrtání těžkoobrobitelných materiálů a u vrtání hlubokých děr. Řezná kapalina je přiváděna speciálně upraveným vrtákem až do místa řezu. Tuto metodu lze používat i při soustružení a u nástrojů SK.

Vnitřní chlazení se dá využít i při broušení. Řezná kapalina je přiváděna do příruby brousícího kotouče a odstředivou silou postupuje přes póry v kotouči až do míst styku brousícího kotouče s obrobkem. Vnitřní chlazení zlepšuje drsnost povrchu obrobené plochy a zvyšuje trvanlivost nástroje a při zvýšení tlaku přiváděné řezné kapaliny lze docílit zvýšení výkonu řezání. Jediným nedostatkem je nutnost dokonalého čištění řezné kapaliny.

3.4. Plynné řezné prostředí

V této kapitole se budeme zabývat chlazením za použití plynného řezného prostředí.

Plynné látky jako řezné prostředí se běžně nepoužívají.

Chlazení stlačeným CO_2 – tento způsob chlazení se velmi doporučuje při obrábění těžkoobrobitelných materiálů. Tenký paprsek plynu se přivádí přímo do místa řezu pod tlakem 0,5 až 0,7 MPa. Nevýhody této metody jsou vysoké náklady na CO_2 , nutnost dokonalého odsávání a větrání pracoviště z důvodu bezpečnosti.

V následující kapitole je popsáno chlazení za použití atmosférického vzduchu tzv. suché obrábění.

3.5. Obrábění bez chlazení

Při této metodě se používá řezné medium atmosférický vzduch. Uvedená metoda řeší celou řadu problémů povahy ekologických, ale i technických a technologických.

3.5.1. Minimalizace množství tepla

Absence temperování obrobku procesní kapalinou při obrábění bez použití řezné kapaliny, zvláště u dokončovacích operací, při nichž je nutné zabránit tepelných deformacím obrobku tak, aby se docílily úzké tolerance rozměru a tvaru, představuje závažný problém a vyžaduje proto zvláštní opatření. Z toho důvodu musí být proces obrábění navržen tak, aby se minimalizovalo množství tepla vzniklého, ale hlavně odváděného obrobkem.

Obecně vzato se celkové množství tepla a tím i teplota řezání sníží zmenšením množství měrné energie ($J \cdot mm^3$) vynaložené na řezný proces. Na základě poznatků z teorie obrábění se toho dosáhne např. zmenšením deformačních a třecích sil. V tomto smyslu má proto příznivý účinek používání pozitivní geometrie břitu, především úhlu čela, i když se tím do jisté míry zhorší schopnost břitu teplo odvádět. Takovéto opatření rovněž zmenšuje objem a intenzitu plastických deformací doprovázejících vznik třísky a tím opět významný zdroj tepla. Kromě toho se snižuje intenzita tření mezi třískou o čelo břitu a tím množství tepla vzniklého ze tření. Důležitá je rovněž možnost ovlivnit rozdělení toků odváděného tepla. Při soustružení se např. sníží zahřívání obrobku zvýšením posuvu a hloubky řezu, tj. průřezu odebírané vrstvy. Podobně i při frézování je vhodné zvýšit hodnotu posuvu na zub a používat především sousledné frézování, omezující tření hřbetu břitu o plochu řezu. Pokud to dovolí tepelná odolnost řezného materiálu, sníží se množství tepla přecházející do obrobku i zvýšením řezné rychlosti. Zvětší se tak objem tepla odváděného třískami. Zvýšení řezné rychlosti rovněž způsobí nárůst deformační rychlosti a tím snížení plasticity obráběného materiálu v oblastech vzniku třísky, tím se opět zmenší objem plastických deformací. To platí obecně pro všechny způsoby obrábění. Chybějící ochlazování břitu řeznou kapalinou musí být vykompenzováno použitím takových řezných materiálů, které si zachovávají potřebnou tvrdost a otěruvzdornost i při vyšších teplotách řezání. Jsou to buď nové druhy polykrystalických velmi tvrdých řezných materiálů, nebo speciální tvrdé ochranné vrstvy nanášené na současný sortiment řezných materiálů.

3.5.2. Ochlazování a odplavování třísek

Ochlazování extrémně teplých třísek, které se mohou shromažďovat např. v dutině obrobku, upínacího přípravku nebo obráběcího stroje, má svůj význam hlavně z hlediska zachování přesnosti obrábění. Při obrábění bez řezných kapalin je přímé ochlazování třísek okolním vzduchem (přirozeným řezným prostředím) velmi malé, proto je nutno se s větší měrou zaměřit na důsledné odstraňování velmi teplých až žhavých třísek z výše jmenovaných oblastí. Z jiného pohledu však vyšší teplota řezání zlepšuje plasticitu odřezávaného materiálu třísky a tím její snadnější deformaci a zmenšení řezných sil. Na druhé straně vede zvýšená plasticita při nepřerušovaném řezu (soustružení) ke změně tvaru třísky na nevýhodný stuhovitý nebo smotaný. Tato skutečnost proto obvykle vyžaduje použití speciálních utvářečů nebo tvarů drážek pro třísky u vrtáků, aby nedocházelo při obrábění bez řezné kapaliny k jejich zahlcování třískami.

Chybějící čistící účinek řezné kapaliny, tj. odplavování třísek, může způsobovat zahlcování a zalepování prostoru pro třísky zvláště u vrtáků, závitorezných a brusných nástrojů, ale i fréz. Dochází tak nejen k poškozování obrobené plochy zpevněnými třískami, ale i břitů nástroje, když se třísky dostanou mezi břit a obrobek a jsou znovu řezány. Problém lze řešit nejlépe odsáváním nebo nouzově i ofukováním třísek tlakovým vzduchem. Při ofukování však vzniká nebezpečí v zafukování kovového prachu např. do ložisek, vodících ploch, šroubů apod. lepšímu odstraňování třísek přispívá i změna polohy nástroje vůči obrobku, tj. obrábění zespodu obrobku nebo lépe při vodorovné poloze vřetena frézky nebo vrtačky. Upínací přípravky a některé skupiny obráběcího stroje (lože, suporty apod.) určené pro obrábění bez použití řezné kapaliny musí být zvláště pečlivě konstruovány s ohledem na odstraňování třísek. Nelze-li zajistit bezpečné odstraňování třísek, je zapotřebí provádět řízené temperování uvedených komponentů, popř. teplotní rozměrovou kompenzaci v číslicovém řízení obráběcího stroje.

3.5.3. Vyšší trvanlivost břitů

Používání řezných kapalin však může mít z hlediska řezného procesu i negativní účinky, které se tak při obrábění bez řezné kapaliny vyloučí. Vlivem přerušovaného řezu, např. při frézování, vzniká velmi intenzivní střídavé tepelné zatěžování břitu frézy. Používáním procesních kapalin se tyto tepelné rázy ještě zesílí.

V řezném materiálu tak může docházet k vytváření nejprve mikroskopických a později makroskopických trhlin přecházejících až v lomy břitů. Použitím obrábění bez řezných kapalin lze proto v těchto případech dosáhnout i vyšší trvanlivost břitů. Mimo jiné se z tohoto důvodu např. vysokorychlostní frézování provádí téměř vždy bez řezných kapalin. Možnosti uplatnění obrábění za sucha a tím i specifikace požadavků na proces, jsou závislé také na konkrétní kombinaci obráběného materiálu a způsobu obrábění. Při obrábění oceli hraje samozřejmě prioritní úlohu vysoká teplota řezání, při obrábění šedé litiny a hliníku s vysokým obsahem křemíku je však hlavní abrazivní otěr břitů. U měkčích slitin hliníku způsobuje jejich obecně vysoký sklon k adhezi časté nalepování třísek jak na břit, tak i na obrobek. V závislosti na způsobu obrábění a druhu obráběného materiálu se proto vyskytují zřetelné rozdíly v trvanlivosti břitů mezi obráběním za mokra a za sucha. U většiny materiálů se při frézování za sucha dosahují vyšší trvanlivosti břitů než při obrábění s použitím řezných kapalin z výše popsaných důvodů. Pouze při frézování hliníku může být trvanlivost břitů výrazně nižší vlivem vysoké adheze materiálu obrobku (třísky) na břit. Při soustružení a vrtání za sucha se zpravidla dosahují nižší trvanlivosti břitů než při použití řezných kapalin. Příčinou jsou vyšší teploty řezání při nepřerušovaném řezu. Zatížení změnami teploty se samozřejmě při plynulém řezu téměř nevyskytuje, protože břit nevybíhá opakovaně ze záběru. Řezná kapalina tak mění pouze teplotní pole nástroje, ale samotný břit prudce neochlazuje.

3.5.4. Zlepšení obrobitelnosti

Vytvoření jistých pozitivních předpokladů pro nasazení obrábění za sucha lze docílit i na straně obráběných materiálů, např. zlepšením jejich obrobitelnosti. Jednou ze známých metod jejího zlepšení je používání např. vhodných dezoxidačních přísad již při metalurgické výrobě oceli. Oceli dezoxidované např. kalciumsiliciem (SiCa) s přísadou hliníku obsahují měkké a tvárné hlinitaný vápníku, které se při teplotě řezání taví a působí jako mazadlo a ochranný film na břitu.

Trvanlivost břitů se tím může zvýšit až o 400 %. [8]

3.5.5. Obrábění ocelí bez řezných kapalin

3.5.5.1. Soustružení

Při soustružení oceli za sucha je v důsledku plynulého řezu hlavním problémem zvýšení tepelné zatížení bříty. Řezný materiál musí proto odolávat především zvýšené teplotě řezání, požadavky na pevnost v ohybu jsou při plynulém řezu obvykle druhořadé. Pro dokončovací soustružení se doporučuje používat cermety s ochrannou vrstvou z TiCN (kubický nitrid titanu) nebo z polykrystalického kubického nitridu boru (PCBN), popř. z neoxidické řezné keramiky. Pro hrubovací operace jsou vhodnější houževnatější slinuté karbidy s ochrannou vrstvou z Al_2O_3 nanesenou metodou CVD. Poloměr zaoblení ostří by měl být do 30 μm , proto je vhodnější metoda MT CVD pro nanesení vrstvy. Zvýšené náklady na řezný materiál jsou obvykle vyváženy zvýšením velikosti úběru materiálu, zjednodušením technologického procesu a snížením nákladů na něj (úspora procesních kapalin a souvisejících nákladů), jak dokládá příklad uvedený na Obr. 4. Použitím cermetu s ochrannou vrstvou z TiN se zvýšila trvanlivost bříty a tím jeho řezivost, umožňující zvýšit úběr materiálu obrobku a přesto odstranit používání procesní kapaliny. Celkové náklady na obrábění tím klesly o 10 %. Při posuzování ekonomické výhodnosti obrábění za sucha je proto nutné posuzovat celý případ vždy komplexně.

3.5.5.2. Frézování

Při frézování oceli SK za sucha se dosahuje obvykle delší trvanlivosti bříty frézy než při frézování s použitím řezné kapaliny. Příčinou je snížení změn teploty břitů, neboť jinak je horký břit po výběhu ze řezu rychle ochlazen řeznou kapalinou. Tento jev se projevuje jak u SK s ochrannou vrstvou, tak i bez ní. Z tohoto důvodu se i s jinými velmi tvrdými řeznými materiály, jako jsou cermet a CBN, obrábí většinou bez použití řezných kapalin. Ochranné vrstvy se na břity fréz nanášejí nejlépe metodou PVD nebo ještě lépe MT CVD, které výrazně nezvětšují poloměr zaoblení ostří. Vrstvy přinášejí prodloužení trvanlivosti bříty nejen u slinutého karbidu, ale i u cermetu jako substrátu. Největší zlepšení dává vrstva TiAlN díky své vysoké tvrdosti i za vyšších teplot, zatímco TiCN je lepší při frézování s použitím řezné kapaliny.

3.5.5.3. Vrtání

Velmi rozšířeným způsobem obrábění ocelí je i vrtání. Nejedná se jen o běžné případy vrtání a vrtání velkých obrobků, kdy mj. vznikají potíže s usměrňováním zpětného toku řezné kapaliny do obráběcího stroje, ale i o vrtání v uzavřených obráběcích centrech. Možnost vrtání za sucha je proto velmi aktuální. Hlavním problémem při vrtání oceli za sucha je spolehlivé odvádění třísky z vrtaného otvoru. Nebezpečí napěchování třísky ve drážce vrtáku totiž narůstá s hloubkou vrtaného otvoru, tzn. když se zvětšuje tření mezi třískou a stěnami otvoru. U vrtáků pro vrtání za sucha je proto důležitá optimalizace tvaru průřezu drážky, hlavně její zvětšení, které poskytuje třísce více prostoru a snižuje tření o stěny otvoru. V této souvislosti se musí rovněž věnovat velká pozornost tvaru vznikající třísky a z tohoto hlediska navrhovat tvar břitů, především čela. Tření třísek o boky drážky samotného vrtáku se zmenšuje vhodným druhem ochranné vrstvy, např. z TiN.

Důsledkem nárůstu adhezivních sil mezi třískou a vrstvou však rostou nároky na kvalitu zakotvení vrstvy. Při přebroušení opotřebovaného břitů, např. u vrtáku ze SK, dochází k roztírání kobaltového pojiva po broušeném povrchu a nově nanesená ochranná vrstva pak nemá dostatečnou adhezi k substrátu. K odstranění takovéto kobaltové vrstvy před nanesením nové TiN vrstvy se proto provádí jeho mikrotryskání. Taková technologická úprava rovněž podstatně sníží rozptyl hodnot trvanlivosti břitů, tzn. zlepšení spolehlivosti břitů nástroje. Ve srovnání se standardními nástroji se trvanlivost několikanásobně zvýší. Uvedená opatření mají rovněž příznivý vliv na průběh vrtání a na zvýšení kvality otvoru, tj. tvarové přesnosti a drsnosti povrchu. Dalším závažným problémem při vrtání bez řezných kapalin je zvýšené tepelné zatížení vrtáku způsobené zhoršeným odvodem vznikajícího tepla. Vyšší teplota řezání nejenže způsobuje snížení odolnosti řezného materiálu proti opotřebení a tím i trvanlivost břitů, ale z důvodu tepelné roztažnosti nástroje může zapříčinit zadržení vrtáku ve vrtaném otvoru. Proto je nutné používat při vrtání za sucha nástroje s výraznějším zmenšováním průměru (kuželovitostí) směrem ke stopce vrtáku. Vyšší teplota způsobuje rovněž problém s měnící se délkou vrtáku, popř. celé nástrojové sestavy (vrták, pouzdra, upínač), a tím se ovlivňuje přesnost délky otvoru.

3.5.6. Obrábění litin bez řezných kapalin

Šedé litiny se za sucha soustruží i frézují většinou dobře, konec konců se to tak vždy provádělo. Je to dáno tím, že teploty řezání jsou zde podstatně nižší než při obrábění ocelí, protože grafit uvolňovaný ze šedé litiny příznivě snižuje koeficient tření. Vhodnými řeznými materiály pro obrábění litin jsou řezná keramika Al_2O_3 nebo Si_3N_4 , nejvhodnější je však kubický nitrid boru (CBN). CBN má relativně vysokou teplotu vodivosti, a proto je schopen účinně odvádět teplo z místa řezu. Příznivě to působí na snížení teploty obrobku, na druhé straně to však může znamenat silné zahřívání nástroje a tím jeho tepelné prodlužování. Tento jev hraje důležitou roli při přesném dokončovacím obrábění rozměrů ve velmi úzkých tolerančních polích. U obrobků z litin se však takové přesnosti obvykle nepožadují.

3.5.7. Obrábění hliníkových slitin bez řezné kapaliny

Hliník a jeho slitiny patří při obrábění za sucha mezi velmi problémové materiály i přes svoje poměrně nízké mechanické vlastnosti. Je to způsobeno jejich vysokou tepelnou vodivostí a dále výrazným sklonem k adhezi na břit z většiny řezných materiálů. Vlivem první vlastnosti se odvádí značné množství tepla z místa řezu do obrobku a ve spojení s vysokou tepelnou roztažností hliníku vznikají tepelné deformace obrobku. Vzhledem k nízké teplotě měknutí a tavení hliníku se k tomu připojují problémy s utvářením třísky. Především ve smyslu jejího odchodu a tvorby nárůstku. Vlivem druhé vlastnosti se vznikající třísky často „nalepují“ na břit a dochází k zahlcování prostoru zubových mezer a drážek u vrtáků třískami. Proto, aby mohly být úspěšně prováděny takové operace, jako je vrtání, vystružování, řezání závitů nebo čelní frézování bez použití řezné kapaliny, je nezbytné používat nástroje s vhodnou vrstvou snižující adhezi, popř. používat mazání mlhou (MQL). Pozitivní vliv MQL metody se kromě zamezení tvorby nárůstku projevuje i ve zlepšení drsnosti a přesnosti obrobenej plochy.

3.5.8. Celkové zhodnocení obrábění bez řezných kapalin

3.5.8.1. Negativa používání řezných medií

K zavedení řezných medií (především kapalin) došlo v době, kdy zvýšeným technologickým požadavkům již neodpovídaly vlastnosti řezných materiálů. Nasazením řezných kapalin se vyřešily potíže s trvanlivostí bříty, s kvalitou a přesností obrobeného povrchu, s odstraňováním třísek a s řadou dalších záležitostí. Negativem takového řešení však bylo a nadále zůstává zkomplikování technologického vybavení procesu a tím i zvýšení nákladů na výrobu. V posledních letech k tomu ještě přistupují ekologická a zdravotní hlediska, jejichž význam rychle narůstá nejen z legislativních důvodů, ale především z hlediska nákladů spojených s likvidací případných ekologických havárií a zdravotních odškodnění. Dalším neméně důležitým omezujícím faktorem v používání řezných kapalin jsou rozšiřující se zákonné předpisy o manipulaci s chemickými látkami. Současným trendem v obrábění je proto snaha o omezení nebo úplné vyloučení používání řezných kapalin. Rychlý pokrok v technologii obrábění a především nové druhy řezných materiálů to již umožňují.

3.5.8.2. Náklady na aplikaci řezných kapalin

K objasnění problematiky používání procesních kapalin za současných ekonomických a výrobních podmínek, byla provedena řada studií, jejichž výsledky byly např. publikovány v odborném časopise *Annals of the CIRP*. Na příkladu „obráběčsky“ tak vyspělé země, jakou je Německo, jsou zde konkrétně představeny výše zmíněné aspekty. V této zemi se ročně spotřebovávají řádově desítky tisíc tun procesních kapalin a koncentrátů za stovky milionů DEM. Z koncentrátů se navíc připravují další stovky tisíc tun řezných emulzí. Jaká ekologická nebezpečí a jaké další nepřímé náklady pro výrobu jsou za tímto faktem skryty, si lze snadno domyslet. Analýzy rovněž ukázaly, že jen málo firem si vede přesné záznamy o nákladech (investice, náklady na pořízení a likvidaci kapalin, odpisy a údržba zařízení, energie, doprava, personální výdaje, zdravotní výdaje, výdaje na ekologické havárie a další) spojených s používáním procesních médií.

Z dostupných informací bylo zjištěno, že náklady na aplikaci řezných kapalin na transferových obráběcích linkách se často pohybují mezi 7 a dokonce až 17 % výrobních nákladů vztahených na jeden obrobek. To je podstatně více, než se dříve předpokládalo, a více, než činí průměrné náklady např. na řezné nástroje, tj. 2 až 4 %.[12] V běžných provozech však náklady na řezné kapaliny obvykle nepřekračují 5 %. [8] Rovněž nelze zanedbat ani další zvýšení nákladů spojené se zpracováním třísek obsahujících zbytky řezných kapalin a s čištěním hotových obrobků od nich.

Uvedené skutečnosti signalizují nárůst negativních stránek používání umělých řezných prostředí a tím potřebu jejich vyloučení. Rovněž z hlediska přímých i nepřímých nákladů na obrábění se ukazuje, že aplikace obrábění bez použití řezných kapalin je již za současných podmínek v řadě případů výhodnější než obrábění s použitím umělých řezných prostředí. Technické předpoklady pro takové podmínky obrábění již existují.

4. Řezné materiály, nástroje a řezné podmínky

Aby se vyloučila možnost náhlého lomu řezných hran nástroje následkem mechanických nebo tepelných šoků a omezil se vliv opotřebení, musí mít řezné materiály vysokou tvrdost povrchu, vysokou abrazivzdornost a vysokou odolnost proti chemickému působení, zejména oxidaci a korozi.

Proti mechanickým šokům při frézování i přerušovaném soustružení je potřebná co nejvyšší houževnatost řezného materiálu, kterou lze definovat jako množství práce potřebné k lomu v poměru k objemu kriticky namáhané části materiálu. Tyto vlastnosti musí být spolehlivě zachovány i při vysokých teplotách a drsném prostředí řezného procesu.

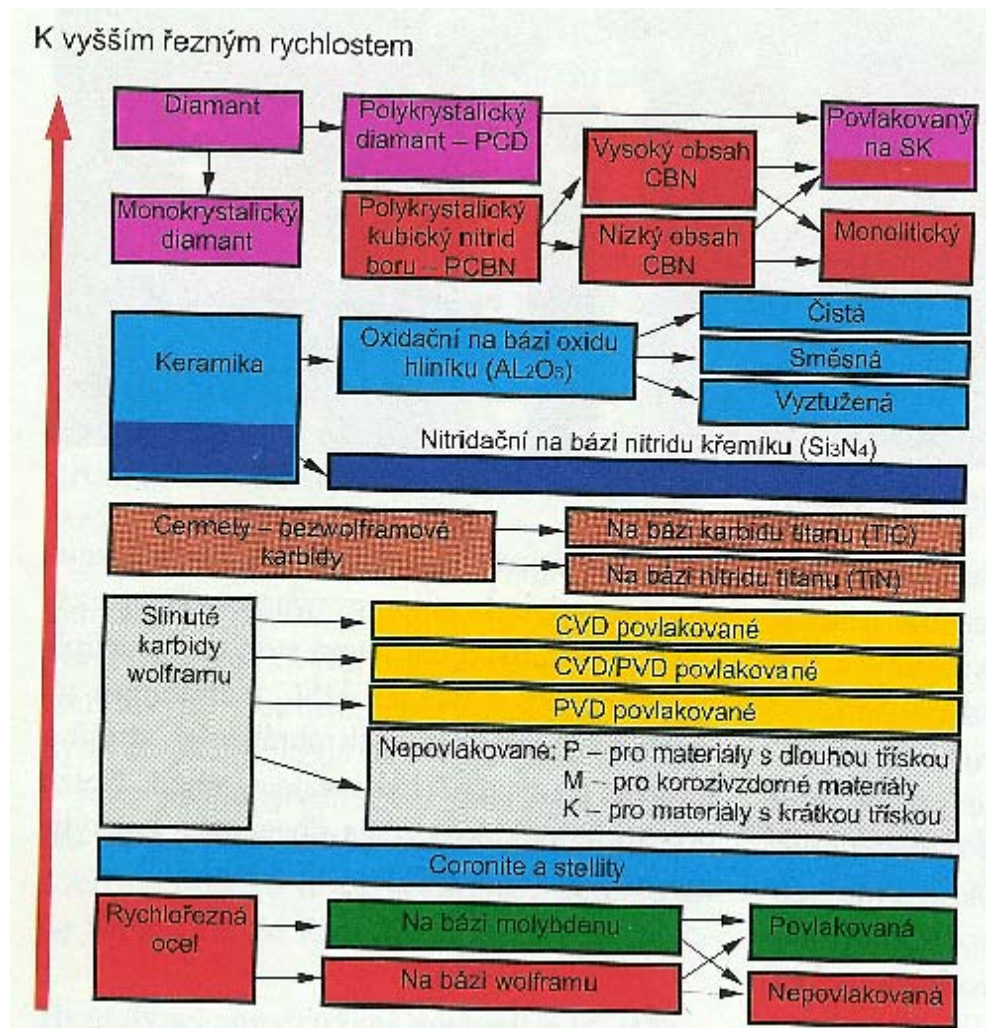
4.1. Přehled novodobých řezných materiálů

Na níže uvedeném obr. 4.1 je znázorněn přehled novodobých řezných materiálů seřazených dle jejich vhodnosti pro obrábění vyššími řeznými rychlostmi.

Hlavními druhy materiálů jsou :

- Nepovlakované i povlakované rychlořezné oceli
- Stellite
- Coronite (firemní označení Sandvik – Coromant)
- Nepovlakované slinuté karbidy wolframu rozdělené dle ISO do tříd P,M a K
- Slinuté karbidy wolframu povlakované metodou CVD (Chemical Vapor Deposition), PVD (Physical Vapor Deposition), případně kombinací obou metod. Povlakování se aplikuje jak na vyměnitelné břitové destičky, tak na řezné plochy celokarbidových nástrojů.
- Cermety (CERamics with METalic binders)
- Oxidační keramika na bázi oxidu hliníku (čistá, směsná a vyztužená „whiskery“)
- Nitridační keramika na bázi nitridu křemíku
- Polykrystalický kubický nitrid boru (PCBN) s vysokým nebo nízkým obsahem CBN
- Mono- a polykrystalický diamant (PKD).

Řezné materiály i jejich povlaky mají v různé míře kombinovány potřebné vlastnosti a podle toho jsou vhodné k obrábění různých materiálů. Neexistuje ideální řezný materiál, který by byl současně vysoce tvrdý, abrazivzdorný, houževnatý, zachovával tvrdosti při vysokých teplotách, byl chemicky inertní ke všem obráběným materiálům a dobře ulpíval na podložce – substrátu.



Obr.4.1 : Přehled novodobých řezných materiálů. [18]

4.2. Popis nejpoužívanějších řezných materiálů

Cermety jsou, stejně jako slinuté karbidy wolframu, produktem práškové metalurgie. Tvrdé složky v nich tvoří karbidy titanu, nitridy titanu a karbonitridy titanu, které nahrazují karbidy wolframu. Jsou vhodné pro dokončovací obrábění vyššími řeznými rychlostmi zejména pro tažné a lepidlé materiály, které mají sklon k tvorbě nárůstu.

Kubický nitrid boru je druhý nejtvrdší materiál po diamantu. Zachovává si tvrdost při nejvyšších teplotách ze všech řezných materiálů a je proto používán pro obrábění kalených ocelí a litiny. Jeho vlastnosti mohou být značně ovlivněny jemností zrn a obsahem i druhem pojiva. Tak například nízký obsah CBN v kombinaci s keramickým pojivem má nižší tepelnou vodivost, a tím dává větší odolnost proti opotřebení, poněvadž nástroj odvádí málo tepla z místa řezu a materiál je obráběn v teplem změkklém stavu. Nízký obsah CBN je vhodnější pro lehčí obrábění a dokončování, neboť svoji nízkou tepelnou vodivostí zaručí i zde dostatečnou procesní teplotu.

Vysoký obsah CBN zajišťuje při nižší přítomnosti keramického pojiva větší houževnatost a je vhodný pro hrubovací obrábění tvrdých druhů litin a žáruvzdorných slitin. Má vyšší tepelnou vodivost a odvádí více tepla z místa řezu, takže obrobek se minimálně zahřívá. CBN by měl být zásadně používán jen pro obrábění materiálů s tvrdostí nad 48 HRC, neboť měkčí materiály způsobují mimořádně velké opotřebení břitu. Platí zde, že čím tvrdší je materiál, tím menší je opotřebení břitu nástroje ! (2)

Slinuté karbidy jsou kombinované materiály na bázi práškových kovů. Sestávají z tvrdých karbidů, které jsou uloženy v relativně měkké kovové pojivové fázi. Úkolem pojivové fáze je spojení křehkých karbidů do pevného tělesa. Prostřednictvím karbidů se získá vysoká tvrdost při vysokých teplotách a odolnost proti opotřebení.

Nepovlakované slinuté karbidy jsou dnes vhodné hlavně pro obrábění hliníku. V jiných aplikacích byly již ze 75 % nahrazeny povlakovanými. Slinuté karbidy se dělí podle druhu jejich použití než podle vnitřního složení, výkonnosti či kvality.

Každá ze základních skupin je barevně označena a má určitý číselný rozsah : P (modrá, 01 až 50), M (žlutá, 01 až 40) a K (červená, 01 až 40). Malá čísla značí určení pro dokončovací operace vyššími řeznými rychlostmi a menším posuvem i hloubkou řezu, střed je pro obecné použití a velká čísla 40 či 50 jsou určena pro hrubování při nižších rychlostech, velkých průřezech třísky a střídavém mechanickém namáhání.

Povlakování slinutých karbidů zvyšuje několikanásobně jejich abrazivzdornost při zachování houževnatosti a umožňuje optimální kombinace vlastností pro specifické použití. Tvrdost za tepla se nanesením povlaku příliš nezvyšuje. Mezi hlavní povlakované materiály patří karbid titanu TiC, nitrid titanu TiN, oxid hlinitý Al₂O₃ a karbonitrid titanu TiCN.

Karbidy titanu (šedý povlak) a oxid hliníku (černý povlak) zvyšují hlavně abrazivzdornost, chemickou neutralitu a vytvářejí tepelnou bariéru na čele nástroje. Nitrid titanu (zlatý povlak) není tak tvrdý, ale snižuje koeficient tření na čele nástroje a chrání před difúzním vymíláním kráteru. U vícevrstvých povlaků vidíme ovšem jen barvu nejhořejší vrstvy. Karbonitrid titanu se pro svoji výbornou přilnavost nanáší přímo na substrát, a proto jej nevidíme. [18]

KERAMICKÉ ŘEZNÉ MATERIÁLY jsou slinuté kombinované materiály a lze je rozčlenit do dvou základních typů: keramické materiály na bázi kysličníku hlinitého a nitridu křemičitého. Keramické materiály na bázi kysličníku hlinitého (Al_2O_3) je možno opět rozdělit do tří skupin:

- čistý Al_2O_3 je sice velmi tvrdý, ale také mimořádně křehký a proto prakticky nepoužitelný. Další vývojové práce vedly k oxidům hliníku s nízkými podíly oxidu zirkonia (ZrO_2), což vlastnosti značně zlepšilo.
- Smíšené keramické materiály obsahují vedle N_2O_3 kovovou fázi sastávající z karbidu titanu a vykazují proto lepší tepelnou vodivost a pevnost v ohybu.
- Zesílené keramické materiály jsou kysličníky hliníku, které jsou prostoupeny vláknovými krystalky (whiskery) o průměru 1 mm a délce 20 mm. Díky těmto příměsím, jejichž podíl je asi 30 %, se pevnost v ohybu při vysokých teplotách a odolnost proti opotřebení velmi zvyšuje. Základem keramických materiálů na bázi nitridu křemičitého je Si_3N_4 . Tyto materiály se vyznačují na základě své jehlové struktury vyšší houževnatostí a lepším chováním při tepelných rázech než keramické materiály na bázi oxidu hliníku.

Řezné keramiky mají obecně vyšší tvrdost a tepelnou odolnost než slinuté karbidy, jsou však také podstatně křehčí a vykazují částečně slabá místa v chemické stabilitě.

Hlavní oblastí použití řezné keramiky je obrábění šedé litiny, sférické litiny, slitin odolných proti žáru a zčásti i oceli.

POLYKRISTALICKÝ DIAMANT (PKD) má v zásadě stejnou heterogenní strukturu jako materiál KNB a je spékán z nesčetných, malých, synteticky vyrobených krystalů s pojivovým materiálem za vysokého tlaku a vysoké teploty. Jako pojivová fáze je používán karbid křemíku (keramické pojivo), wolfram a kobalt (kovové pojivo). (11)

Diamant je vůbec nejtvrdší známý materiál a má tedy vynikající odolnost proti opotřebení otěrem. Pro svou afinitu k železu není však materiál PKD použitelný k obrábění ocelí. Mimo to nesmí teplota v zóně obrábění přestoupit 600°C, protože jinak uhlík oxiduje. Spolu s velkou křehkostí to značně omezuje pole použití materiálu PKD. PKD je vynikajícím řezným materiálem pro opracovávání abrazivních neželezných slitin (slitiny AlSi a mnoho jiných), jakož i abrazivních nekovů-grafitu, vlákny zesílených umělých hmot, syntetické pryskyřice a částečně dřeva. [10]

5. Teoretické aspekty HSC obrábění

5.1. Teorie vzniku a tvoření třísky při obrábění

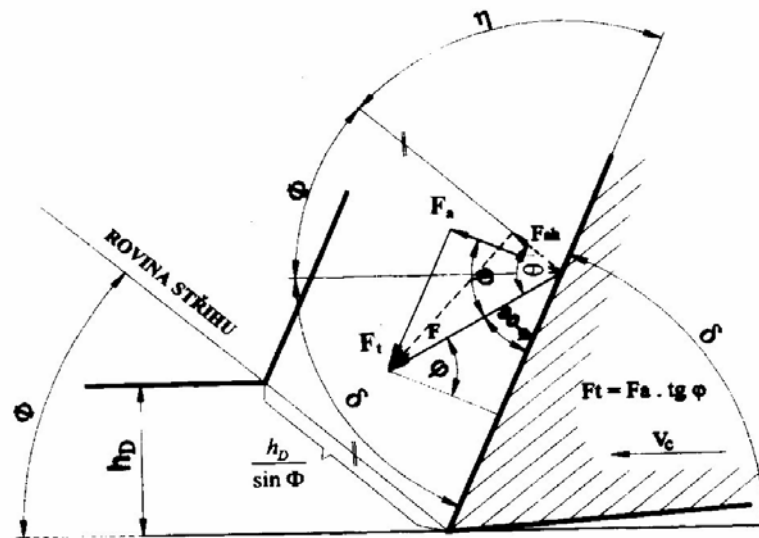
Rozdíly mezi rychlostním a konvenčním obráběním se výrazně projevují v mechanismu tvorby třísky. Oddělování třísky je velmi složitým procesem, jehož průběh závisí na mnoha činitelích, zejména na fyzikálních vlastnostech obráběného materiálu a jejich závislosti na podmínkách plastické deformace. Obecně platí, že při zvyšující se řezné rychlosti se oblast plastické deformace v zóně tvorby třísky zužuje a ke vzniku třísky dochází plastickým skluzem v jediné rovině, tzv. rovině stříhu.

Rozsah poznatků o teorii oddělování třísky a zóně řezání, zejména při pravoúhlém řezání, je rozsáhlý a obsahuje v současné době matematické modelování, aplikaci metody konečných prvků, teorie plasticity, metody konečných diferencí a další způsoby studia oddělování třísky.

Úhel střížné roviny a celý proces oddělování třísky je možné studovat z experimentu při snímání tvorby třísky časovou lupou, lze vypočítat i pomocí závěrů různých autorů z teoretické analýzy procesu řezání.

5.1.1. Stanovení úhlu roviny stříhu ϕ z podmínky minimální energie

K nejvíce používaným a uznávaným postupem při stanovení úhlu roviny stříhu ϕ patří princip minimální energie. Obecně platí, že při zvyšující se řezné rychlosti se oblast plastické deformace v zóně tvorby třísky zužuje a ke vzniku třísky dochází plastickým skluzem v jediné rovině, tzv. rovině stříhu.



Obr. 5.1 : Dynamické poměry při řezání [4]

Velikost úhlu ϕ na obr. 5.1 lze odvodit z podmínky minimálně vynaložené práce a stanovit sílu F , kterou nástroj působí na odřezávanou vrstvu : [4]

$$F = \frac{\tau_k \cdot h_D}{\sin \phi \cdot \cos \theta} = \frac{\tau_k \cdot h_D \cdot b}{\sin \phi \cdot \cos(\varphi + \delta + \phi - 90^\circ)} \quad (5.1)$$

kde :

F síla, kterou nástroj působí na odřezávanou vrstvu [N]

 δ úhel řezu

ϕ úhel roviny stříhu

 φ úhel tření

τ_k střední kritické kluzové napětí obráběného materiálu v oblasti primární deformace [MPa]

$$h_D \dots \text{hloubka řezu [mm]}$$

b šířka třísky [mm]

Cílem řešení je nalezení úhlu ϕ , pro který bude síla F minimální. Tohoto je možné dosáhnout nalezením extrémní hodnoty funkce rovnice (5.1), tedy z podmínky : [10]

$$\frac{dF}{d\phi} = 0 \quad (5.2)$$

Úpravou rovnice (5.1) a splněním podmínky rovnice (5.2) : [10]

$$\frac{dF}{d\phi} = \frac{-K \cdot \cos(\varphi + \delta + \phi - 90^\circ + \phi)}{\{\cos^2((\varphi + \delta + \phi - 90^\circ) \cdot \sin^2(\phi))\}} = 0 \quad (5.3)$$

Ze vztahu (5.3) je zřejmé, že úhel roviny stříhu ϕ závisí především na úhlu řezu δ a úhlu tření φ : [10]

$$\phi = \frac{90^\circ - (\varphi + \delta)}{2} \quad (5.4)$$

Jestliže úhel φ vyjadřuje střední součinitel tření a v něm je obsaženo i vnitřní tření v materiálu třísky a vnější tření mezi třískou a čelem nástroje, bude úhel ϕ ovlivněn všemi řeznými podmínkami, které ovlivňují úhel φ . Další velký vliv má řezná rychlost a to svým vlivem na deformační rychlost a množství vyvinutého tepla a teplotu povrchových vrstev třísky. Mazacím médium ovlivňuje úhel φ , který snižuje součinitel smykového tření na čele nástroje.

5.1.2. Stanovení úhlu roviny stříhu ϕ pomocí součinitele přechování

Plastické deformace probíhající v oblasti tvorby třísky mají za následek nejen transformaci odřezávané vrstvy v třísku, ale i změnu jejich rozměrů a vnitřní stavby. Tato skutečnost je vyjádřena součinitelem přechování třísky Λ_h , který je definován poměrem tloušťky třísky k tloušťce odřezávané vrstvy: [10]

$$\Lambda_h = \frac{h_{ch}}{h_D} \quad (5.5)$$

Mezi součinitelem přechování a intenzitou plastické deformace existuje závislost a při určitém zjednodušení lze odvodit pro součinitel přechování vztah: [10]

$$\Lambda_h = \frac{\sin(\phi + \delta)}{\sin \phi} \quad (5.6)$$

K predikaci úhlu roviny stříhu je pak možné použít vztah: [10]

$$\phi = \tan^{-1} \frac{\Lambda_h \cdot \cos(\gamma_n)}{1 - \Lambda_h \cdot \sin(\gamma_n)} \quad (5.7)$$

Kde je γ_n nástrojový normálový úhel čela.

5.1.3. Vliv řezné rychlosti na velikost úhlu roviny stříhu ϕ

Se změnou řezných parametrů dochází i ke změně při transformaci odřezávané vrstvy v třísku, která se projeví mimo jiné i změnou úhlu roviny stříhu. Realizace těchto jevů je nejvíce patrná při vysokorychlostním obrábění.

V podmínkách HSC obrábění znamená rostoucí řezná rychlost i vyšší množství práce, potřebné k řezání, která se přemění v teplo. Převážná část vzniklého tepla se odvádí třískou, její teplota se blíží tavicí teplotě obráběného materiálu. Při určité řezné rychlosti se náhle změní fyzikální a chemické vlastnosti třísky a transformace obráběného materiálu v třísku probíhá v rovině stříhu za vysoké teploty, která způsobí její podstatné změknutí a střední součinitel tření $f = \tan \phi$ se výrazně zmenší. Tím je dle obr. 5.1 značně eliminován vliv normálové složky řezné síly F_N na čele nástroje, poklesne celkový řezný odpor a tedy i třecí složka řezné síly F_t , důsledkem toho se zmenší intenzita opotřebení čela nástroje a úhel střížné roviny ϕ se zvětší při značně zmenšeném úhlu tření ϕ podle (5.5) na hodnotu :[10]

$$\phi = \frac{90^\circ - \delta}{2} \quad (5.8)$$

Je-li téměř veškeré vzniklé teplo při obrábění odvedeno třískou, je minimalizován vliv energetického působení na vlastnosti povrchové vrstvy a vznik nežádoucích reziduálních pnutí po obrábění. Tato pnutí, často spojené s fázovými přeměnami, jsou vyvolána plastickou deformací povrchové vrstvy za působení tepla řezání. Vnik teploty při řezání je vysvětleno v kapitole 6. Energetické aspekty vysokorychlostního obrábění.

6. Energetické aspekty rychlostního obrábění

6.1. Energetická rovnováha řezného procesu

Při obrábění se břit nástroje pohybuje vůči obrobku řeznou rychlostí v_c a působením celkové řezné síly F odřezává z obrobku určitou vrstvu o tloušťce h_D úměrnou posuvu. V oblasti ABC (viz. obr. 2.1) dochází k přetvoření odřezávané vrstvy v průřezu třísky. Tloušťka třísky h_{ch} je vždy větší než tloušťka odřezávané třísky h_D – tříska se pěchuje. Poměr $\Lambda_h = h_{ch} / h_D$ se nazývá součinitel pěchování třísky. Čím je větší hodnota Λ_h tím více je tříska deformována a tím větší jsou řezné síly. Dále se tříska deformuje třením o čelo nástroje v tzv. sekundární plastické deformace.

Pro oddělení třísky je zapotřebí vynaložit mechanickou energii nebo vztaženo na jednotku času určitý výkon: [10]

$$P = F_c \cdot v_c \quad [\text{J} \cdot \text{min}^{-1}] \quad (6.1)$$

nebo

$$P = (F_c \cdot v_c) / 60 \quad [\text{W}] \quad (6.2)$$

Prakticky veškerá mechanická energie vynaložená při obrábění na odřezání třísky se přemění v teplo. Celkové množství tepla vzniklého při obrábění za jednotku času je dáno vztahem: [10]

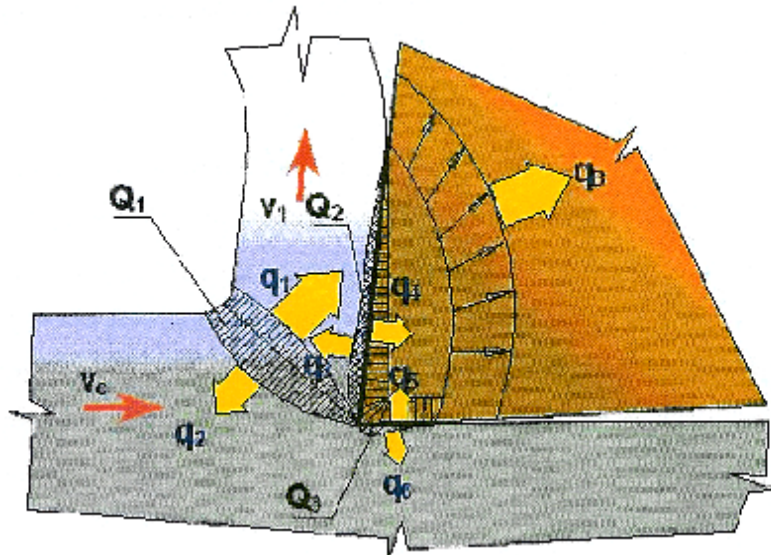
$$Q_c = F_c \cdot v_c \quad [\text{J} \cdot \text{min}^{-1}] \quad (6.3)$$

Hlavními zdroji tepla při odřezávání třísky jsou primární plastické deformace v oblasti tvoření třísky a tření mezi třískou a čelem, hřbetem nástroje a polohou řezu a pružné deformace. Schématicky jsou místa vzniku tepla a směry jeho odchodu naznačeny na obr. 6.1.

Celkové množství tepla vzniklého při obrábění je dáno součtem: [9]

$$Q_c = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 \quad (6.4)$$

- kde
- Q_1 ...teplo vzniklé plastickou deformací v oblasti tvoření třísky
 - Q_2 ...teplo vzniklé třením ve styku třísky – čelo
 - Q_3 ...teplo tření ve styku hřbetu – plocha řezu
 - Q_4 ...teplo vzniklé působením použitých deformací



Obr. 6.1: Směry a místa vzniku tepla [9]

6.2. Tepelná bilance HSC technologií

Ke vzniku tepla při HSC obrábění dochází transformací vynaložené práce. V teplo se přeměňuje veškerá práce vynaložená na řezání s výjimkou práce potřebné na pružné deformace a práce spotřebované na deformaci mřížky kovu a vytvoření nových povrchů. Pro HSC obrábění je možné předpokládat, že cca 98 % práce řezání se přemění v teplo.

Práce přiřezání na 1 minutu obrábění : [10]

$$E_c = F_c \cdot v_c \quad [\text{J}] \quad (6.5)$$

kde F_c ...je řezná síla [N]

v_c ...řezná rychlost [$\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$]

Jestliže budeme předpokládat, že 99 % vzniklého tepla odvede tříška je možné formulovat rovnice pro vznik a odvod tepla třískami:

$$Q_c = \frac{E_c \cdot q}{100} \quad [\text{J} \cdot \text{min}^{-1}] \quad (6.6)$$

kde q ...podíl přeměněné práce v teplo (cca. 98 %) [%]

Teplo odvedené třískami za 1 minutu : [10]

$$Q_t = m_t \cdot c \cdot \Delta t \quad (6.7)$$

kde m_t ...je hmotnost třísek [$\text{kg} \cdot \text{min}^{-1}$]

Δt ...diference teploty třísky před a po odřezání [$^{\circ}\text{C}$]

c ...měrná tepelná kapacita [$\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$]

Pro vzniklé a odvedené množství tepla za předpokladu, že třískami je odvedeno q_t procent tepla platí, že rovnice (6.5) se rovná rovnici (6.6) a po úpravě dostaneme: [10]

$$F_c \cdot v_c \cdot q \cdot q_t \cdot 10^{-4} = m_t \cdot c \cdot \Delta t \quad (6.8)$$

kde q_t podíl tepla přecházejícího do třísky [%]

Při aplikaci na statisticky nejpočetněji zastoupenou operaci frézování při HSC obrábění platí tyto vztahy: [10]

$$F_c = c_{Fc} \cdot D^{x1} \cdot z \cdot B^{x2} \cdot a_h^{x3} \cdot f_z^{x4} \quad [\text{N}] \quad (6.9)$$

$$P_{ef} = c_p \cdot D^{(x1+1)} \cdot z \cdot B^{x2} \cdot a_h^{x3} \cdot f_z^{x4} \quad [\text{KW}] \quad (6.10)$$

Hmotnost třísek odebraných čelní frézovací hlavou za 1 minutu: [10]

$$m_t = B \cdot a_h \cdot f_z \cdot z \cdot a \cdot \rho \cdot 10^{-9} \quad [\text{kg} \cdot \text{min}^{-1}] \quad (6.11)$$

kde: D.....průměr frézovací hlavy [mm]

B.....je šířka frézování [mm]

a_h.....hloubka frézování [mm]

f_z.....posuv na zub [mm.z⁻¹]

n.....otáčky frézy [min⁻¹]

ρ.....hustota [kg.m⁻³]

z.....počet zubů frézy

6.3. Výpočet teploty třísky z efektivního příkonu stroje

Teplotu lze i s ohledem na naměřený efektivní výkon řezání P_{ef}. Je-li zjištěná hodnota efektivního výkonu (tato hodnota se dá poměrně dobře zjistit změřením nebo od výrobce), pak tomuto výkonu odpovídá práce řezání, která se přemění v teplo:

Teplotu třísky pro frézování frézovací hlavou je možné vypočítat ze vztahu: [10]

$$Q = P_{ef} \cdot 60 \cdot 10^3 = F_c \cdot v_c \quad [\text{J}] \quad (6.12)$$

Pro vzniklé a odvedené množství tepla platí rovnice (6.7) a po dosazení je množství vyvinutého tepla z rovnice (6.12) potom je teplota třísky: [10]

$$t_t = \frac{6 \cdot P_{ef} \cdot q \cdot q_t}{c \cdot m_t} + t_0 \quad [^{\circ}\text{C}] \quad (6.13)$$

Jestliže tyto informace o teplotě třísky budeme dále hodnotit je zapotřebí vytvořit model teplotního pole. Na příkladu teplotního pole při obrábění hliníku (viz příloha) je patrně vidět vývin tepla v oddělované třísce a ve špičce bříty nástroje.

Na teplotním modelu lze hodnotit teplotu třísky, nástroje, obrobku. Předpokládaný model bere v úvahu dynamické vlivy, přenos tepla vedením, kontakt mřížky na mřížku a tření, plné termomechanické spojení

6.4. Příklad výpočtu teploty třísky

Odvození vztahu a výpočet teploty třísky při soustružení nástrojem SK:

- a) z řezných parametrů obrábění
- b) z naměřeného příkonu elektromotoru soustruhu

Zadané hodnoty:

Obráběný materiál - ocel

$c = 450$ [J/kg.K] – měrná tepelná kapacita

$\rho = 7860$ [kg/m³] – hustota

$q_t = 92$ [%] – podíl tepla, přecházející do třísky

$C_{Fc} = 1570$ – konstanta, $x_{Fc} = 1$, $y_{Fc} = 0,78$ - exponenty

$t_0 = 20$ [°C] – teplota okolí

$v_c = 280$ [m/min] – řezná rychlost

$f = 0,4$ [mm/ot - posuv]

$a_p = 4$ [mm] – šířka záběru ostří (hloubka řezu)

$P_{ef} = 14,2$ [kW] – naměřený příkon

Pro soustružení platí (za 1 min) vztah:

$$Q_t = F_c \cdot v_c \cdot \frac{q_t}{10^2} = m \cdot c \cdot (t_t - t_0) \quad [J]$$

a) Teplota třísky z řezných parametrů:

$$t_t = \frac{c_{Fc} \cdot q_t \cdot 10^4}{f^{(1-\gamma_{Fc})} \cdot a_p^{(1-x_{Fc})} \cdot \rho \cdot c} + t_0 \quad [^{\circ}C]$$

$$t_t = \frac{1570 \cdot 92 \cdot 10^4}{0,4^{(0,818)} \cdot 4^{(1)} \cdot 7860 \cdot 452} + 20 \quad [^{\circ}C]$$

$$t_t = 517,4 \quad ^{\circ}C$$

b) Teplota třísky z naměřeného příkonu:

$$t_t = \frac{6 \cdot 10^8 \cdot P_{ef} \cdot q_t}{f \cdot a_p \cdot v_c \cdot \rho \cdot c} + t_0 \quad [^{\circ}C]$$

$$t_t = \frac{6 \cdot 10^8 \cdot 14,2 \cdot 92}{0,4 \cdot 4 \cdot 280 \cdot 7860 \cdot 452} + 20 \quad [^{\circ}C]$$

$$t_t = 512,5 \quad ^{\circ}C$$

Vypočítané hodnoty:

a) z řezných parametrů obrábění je hodnota 517,4 °C.

b) z naměřeného příkonu elektromotoru soustruhu je hodnota 512,5 °C.

6.5. Náhrada broušení HSC obráběním

Náhrada broušení nástrojem s definovanou geometrií břitu, zejména frézováním, je umožněno aplikací super tvrdých řezných materiálů a to především polykrystalického kubického nitridu bóru. Tento řezný materiál si udržuje svou stabilní tvrdost až do 2000°C, má výbornou odolnost proti teplotním šokům a vysokou odolnost proti mechanickému opotřebení. Uvedené vlastnosti způsobují, že si udržuje výrazně vyšší tvrdost oproti obráběnému materiálu při dané teplotě řezání a proces obrábění může probíhat efektivně.

Jeho další předností je vysoká řezivost, dovolující řeznou rychlost např. při frézování kalené oceli a litiny 200–400 m/min a šedé litiny kolem 2000 m/min při posuvech 1000–2000 mm/min. Při frézování kalených vodících ploch obráběcích strojů se dosahuje rovinnosti 0,01/1000 mm a drsnosti povrchu $R_a = 0,6\text{--}0,8\text{ }\mu\text{m}$. Vyšší řezivost znamená i vyšší trvanlivost podle kritéria rozměrové a tvarové přesnosti a drsnosti obráběného povrchu. [5]

Tato skutečnost je zvláště významná u CNC strojů, kde náklady na jednu hodinu práce stroje jsou vysoké. Nevýhodou aplikace PKNB při frézování jsou vyšší požadavky na tuhost a dynamickou přesnost frézovacích hlav. Požadavek na axiální a radiální házení je podle velikosti frézovací hlavy 2–5 μm .

Z hlediska ekonomického je frézování kubickým nitridem bóru velice efektivní a lze jim nahradit v řadě případů operace broušení. Lze přitom očekávat i značné energetické úspory, protože spotřeba výkonu na odebrání stejného množství materiálu broušením je průměrně čtyřikrát větší než frézováním.

7. Ekologické aspekty rychlostního obrábění

V oblasti obrábění představuje z ekologického pohledu klíčový problém existence a kvalita řezného prostředí. S otázkami snižování technologické zátěže životního prostředí úzce souvisí ekonomické pozadí pro jejich efektivní uplatnění. V České republice, kde odvětví strojírenství prochází hlubokou kvalitativní proměnou technologické základny, je řešení o to složitější, že daná matice obsahuje spektrum výrob s velmi odlišnou technologickou úrovní. Další problém spočívá v ekonomických možnostech jednotlivých subjektů, je tedy nezbytné přistupovat k této problematice diferencovaně a při volbě z nabízených řešení uplatnit taková, která umožní podstatně zlepšit ekologické podmínky při přiměřených nákladech. Při obrábění s použitím chladících kapalin jsou náklady na ošetřování, kontrolu, čištění, bezpečnost při skladování a likvidaci řezných kapalin poměrně značné. Při aplikaci technologie HSC, potom z velké míry budeme používat obrábění bez použití chladících kapalin. Použití obrábění za sucha nám odpadají zmiňované náklady a následné opatření snižuje výrobní náklady. Řezné kapaliny a maziva stále budou součástí provozu, ale už ne v takové míře jako tomu bylo dříve.

Existuje určité obráběcí operace, při kterých není možno použít technologii HSC obrábění, tzn., že není možné použít obrábění za sucha (viz řezání závitů, výroba ozubení apod.) a proto jsme schopni snižovat výše uvedené náklady jen do určité míry.

Budeme-li se o řezné kapaliny starat podle určitých kritérií, můžeme dosáhnout optimálních vlastností řezné kapaliny a dostatečně využít její dobu využívání a s tím souvisí i její náklady na samotný obráběcí proces.

7.1. Ošetření řezných kapalin

V provozu jsou řezné kapaliny vystavovány různým vlivům, které se projevují na kvalitě chladicího média, stárnutí média. Přestane-li mít řezná kapalina požadované vlastnosti je nutné ji vyměnit a s touto výměnou rostou výrobní náklady. Do nákladů patří náklady na čištění, náklady na výměnu, náklady na likvidaci. Snahou je co nejvíce prodloužit dobu mezi dvěma výměnami řezné kapaliny a k tomuto slouží pravidelné kontroly, ošetřování a čištění daného média.

Stárnutí řezných kapalin znamená změny jejich vlastností, způsobené okysličováním, účinkem tepla, tlakovým zatížením v čerpadle, nečistotami, vniknutí jiných kapalin apod.

Nejrychlejšímu stárnutí podléhají v provozu kapaliny na vodní bázi. Voda se velice snadno odpařuje a také podléhá napadení anaerobními bakteriemi, proto tento proces vede k nestabilitě a rozvrstvení emulze a tím ztrácí mazací a ochranný účinek. Řezné kapaliny na bázi řezných olejů jsou v provozu daleko stabilnější, stárnutí této řezné kapaliny se projevuje kyselostí oleje a tvorbou pryskyřičných látek.

7.2. Kontrola řezných kapalin v provozu

Provozní kontrola stárnutí řezné kapaliny se provádí velice jednoduše, posouzením vzhledu, pachu a vzhledu povrchu omývaného řeznou kapalinou. Nejsnadněji se pozná změna jakosti chladicí kapaliny u kapalin emulzních. Souvislý olejový povlak na povrchu emulze upozorňuje na to, že emulze je nestabilní. Také kaly na dně a stěnách nádrže jsou známkami zastárlé a znečištěné kapaliny. Nejkritičtějšími známkami jsou skvrny rzi na plochách stroje. Kontrola se provádí indikačními papírky, které kontrolují pH faktor řezného media, při pH faktoru menším než 7,5 je nutné kapalinu upravit přidáním základní emulze.

Nejhorším problémem u řezných kapalin je napadení bakteriemi, tento problém lze vyřešit použitím baktericidními přísadami, které nemusí mít ale příznivý vliv na stabilitu řezné kapaliny. Řezné oleje se vyznačují velmi dobrou stálostí a při pozvolném doplňování řezné kapaliny se plynule renovují.

7.2. Čištění řezných kapalin

Nečistoty, které se dostávají do řezné kapaliny negativně ovlivňují výslednou drsnost obrobené plochy a trvanlivost nástroje a to hlavně u dokončovacích operací. Dokonalá filtrace zabezpečuje odstranění nečistot z řezného media u brousícího procesu se dokonalá filtrace vyžaduje.

Nejčastěji se řezné kapaliny čistí dlouhodobým usazováním s následnou filtrací, metoda je to ale dlouhodobá a proto se používají odstředivky, které tento proces urychlí. Tímto způsobem se dají odstranit nečistoty až do 0,5 %. Magnetické filtry zaručují odstranění všech kovových nečistot a vyrábí se jako průtokové nebo rotační.

Elektromagnetické rotační filtry mají výkon 40 až 50 l.min⁻¹, uvedené filtry nezaručují vyčištění řezné kapaliny od uvolněných zrn brousícího materiálu a proto jsou často spojovány s filtry mechanickými. Jako mechanické filtry se nejčastěji používají filtrační papír, plátno nebo síťka. Princip filtrů je založen na usazování nečistot na povrchu filtračního materiálu. Výkon těchto filtrů je až 100 l.min⁻¹.

Centrální rozvod řezné kapaliny a její čištění se uplatní tam, kde pracuje větší počet obráběcích strojů se stejným druhem řezné kapaliny. V dnešní době se hodně používají obráběcí CNC centra kde jsou uzavřené obvody s řeznými kapalinami a proto se od metody centralizace ustupuje a to především z důvodu univerzálnosti používaných obráběcích strojů, kde každý stroj má jiný druh řezného prostředí. Výměny řezných kapalin se provádí podle druhu operace a také podle typu směnného provozu.

7.4. Bezpečnost práce s řeznými kapalinami

Většina řezných kapalin není zdravotně a požárně zabezpečena. Tyto skutečnosti často vedou k přehlížení opatření, která jsou nutná pro dokonalý a nezávadný provoz.

Protipožární opatření jsou nejméně náročná, protože řezné kapaliny za běžných podmínek, které v běžném provozu jsou, netvoří zápalné nebo výbušné směsi. K jejich vznícení dochází až při teplotách kolem 400°C výjimku tvoří lehké oleje, které mají bod vzplanutí kolem 125°C. velmi nebezpečné jsou petroleje a to hlavně jeho páry, proto skladování těchto mazacích prostředků musí být dokonale odvětráváno.

Ze zdravotního hlediska je k práci s řeznými kapalinami daleko více připomínek. Možnost škodlivého účinku je dána tím, že při práci s řeznou kapalinou se tato dostává do styku s pokožkou pracovníků nebo mohou vdechnout její rozprášené kapičky, které se tak mohou dostat do dýchacího ústrojí obsluhovatele. Nejmenší zdravotní komplikace jsou při použití minerálních olejů. Při hrubovacích operacích se mohou uvolňovat do ovzduší výpary olejů s některými přísadami, které se uvolní působením tepla a potom nepříznivě působí na dýchání člověka. Při práci s emulzemi můžeme, ale jen velmi zřídka vzniknout kožní onemocnění. Nejlepší ochranou proti onemocnění pokožky je preventivní ochrana. K preventivní ochraně přispívá také pravidelná kontrola řezné kapaliny a výměna znečištěných nebo vadných náplní stroje.

U řezného media musí být od výrobce dodán bezpečnostní list, ve kterém jsou uvedeny údaje o řezném mediu (ochranná značka, složení, fyzikální a chemické vlastnosti, bezpečnost při jeho použití a skladování, ekologické informace atd.).

7.5. Recyklace řezných kapalin

Nejprve je potřeba specifikovat pojmy: [12]

- Recyklace – je souhrn technologických procesů, které umožní návrat oleje (jinak odpadu) do stávající nebo nové aplikace. Recyklace nemusí znamenat obnovení plné životnosti oleje, kapaliny. Recyklace zahrnuje v sobě jak regeneraci, tak i ošetřování oleje nebo kapaliny.
- Ošetřování olejů – je řada nezávislých technologických procesů. Provádí se v průběhu životnosti olejů, kapalin. Cílem je prodloužení exploatace oleje nebo průmyslové kapaliny a snížit opotřebení strojního zařízení.
- Regenerace – je ucelený technologický proces. Upotřebené motorové a průmyslové se jako základní surovina zpracovává v rafinerii a výsledným produktem je nový olej.

- Upotřebený olej, kapalina – olej setrval ve stroji určitý počet jednotek (hodiny, km apod.) doporučených výrobcem zařízení, nebo jakostní parametry oleje, kapaliny překročily hranici pro bezpečné provozování strojního zařízení.

Samotná recyklace se provádí ve dvou navzájem nezávislých liniích.

Recyklace – regenerace

Vstupní surovinou pro recyklaci-regeneraci jsou upotřebené motorové a průmyslové oleje. V rafinerii se upotřebený olej tzv. „rozdestiluje“ na jednotlivé frakce, ty se následně upravují rafinačními postupy. Výsledkem je čerstvý olej. Vybudování závodu na regenerace oleje je nepochybně investičně velmi náročné.

Recyklace - ošetřování

Základem je kvalita laboratorních výsledků, přístrojové vybavení, software, informace, prostředí, personál a jeho zaujetí pro vykonávanou práci. Ošetřování má smysl, nejsou-li překročeny limitní hodnoty jakostních ukazatelů olejů či kapalin. Na podkladě diagnostiky a dalších informací se rozhodne, zda průmyslový olej či kapalinu z technických i ekonomických hledisek lze ošetřovat. Technologií, kterými se ošetřování provádí, je celá řada.

Při oddělování vody od oleje je možné použít různé technologie, např. vakuové separace, odstředivky, mikrofiltrace, filtry schopné jímat vodu nebo například různé typy sorbentů. Po odstranění vody, volné i vázané, následuje odstranění mechanických nečistot. Při odstraňování mechanických nečistot nebo jiných kontaminantů v oleji se zpravidla volí mezi mikrofiltrací, různými druhy filtrů s různou účinností, odstředivkou, elektrostatickým čištěním, aplikací vhodných sorbentů nebo se kapalina nechává jen sedimentovat. Výběr vhodné metody i pracovní postup je určován stupněm a charakterem znečištění a dostupností technologie. Svou roli zde hrají i ekonomické ukazatele. Ovšem pro recyklaci-ošetřování olejů a kapalin neexistuje pomyslný „kámen mudrců“, a stejně tak neexistuje ani univerzální zařízení, které by problematiku ošetřování olejů a kapalin řešilo komplexně. Odloučení vody z oleje za sníženého tlaku – vakuová separace, technologie je šetrná k oleji a olej není teplotně namáháný.

Likvidace použitých a starých kapalin si zabezpečuje většinou sama společnost, která do daného provozu dodává řezné kapaliny a maziva. Firma dodá sedimentační nádrže nebo ultrafiltrační technologii, která následně přefiltruje řeznou kapalinu ze které se část vrátí do provozu jako doplňkové medium (druhořadý produkt). Ohledně nepoužitelných složek řezných kapalin zabezpečí likvidaci u specializovaných firem, které garantují ekologickou likvidaci s následným potvrzením o likvidaci nebezpečného odpadu.

8. Strojírenské technologie a jejich vliv na životní prostředí

Technologické výrobní procesy, používané ve strojírenských závodech, jsou velmi různorodé, neboť v nich vzniká široký sortiment konečných výrobků od výroby jednotlivých kovů a jejich slitin až po nejrůznější typy počítačů.

Převážná část technologií má nepříznivý vliv na dynamickou rovnováhu přírody a záleží jen od intenzity materiálových a energetických toků, zda a kdy se stabilita ekosystému naruší, zda a kdy se příroda s těmito nepříznivými vlivy vypořádá. Aby se tyto vlivy neprojevovaly anebo alespoň minimalizovaly, používají se v technologickém procesu různá technická, biologická a jiná opatření.

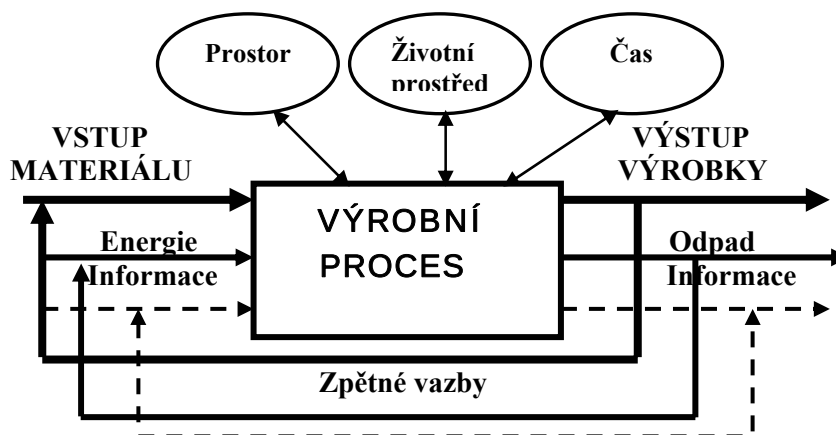
Výrobní systém je soubor činností lidí, strojů i fyzikálních procesů, výsledkem jsou určité druhy výrobků. Primární postavení ve výrobním procesu má objekt práce, resp. výrobek, součástka, stroj, zařízení apod. Výrobek prochází během své životnosti těmito etapami : [20]

- etapa tvorby výrobku, ve které probíhá cílevědomá, výzkumná a vývojová činnost
- etapa výroby, ve které se ze základních materiálů a polotovarů vyrábějí součástky, které se skládají do montážních celků a finálních výrobků
- etapa použití, ve které se využívá funkce strojírenských výrobků
- etapa likvidace technicky, morálně a fyzicky zastaralých výrobků.

Systémový model výrobního procesu se často zobrazuje ve tvaru černé skříňky uvedené na obr.8.1.

Všeobecnou úlohou výrobního systému je přetvoření materiálu a polovýrobků na výrobky s požadovanými funkčními parametry. Ve výrobním procesu probíhá tedy přesná transformace vstupních hmotných veličin na hmotné veličiny výstupu.

Tento transformační proces probíhá na základě spotřeby vstupní energie a řídí ho vstupní a zpětné veličiny. Proces charakterizuje i vznik odpadu a vedlejších produktů.



Obr.8.1: Model výrobního procesu [20]

8.1. Ekologizace technologií

Jako ekologický technologický (výrobní) systém můžeme označit takový systém, jehož všechny vstupy, procesy a výstupy jsou ekologicky vyhovující, tzn., že do procesu nevstupují látky a materiály poškozující nebo ohrožující ekosystém v nejširším slova smyslu. Ani během výrobního procesu tyto látky nevznikají a tedy ani výstupy (výrobky) přírodu nepoškozují.

Voda a vzduch se čistí, výrobky se povrchově upravují, odpady a opotřebované výrobky se druhotně zpracovávají anebo bezpečně ukládají. Tuto vědomou činnost zaměřenou na zmírnění a odstranění ekologicky nevhodných účinků technologického procesu můžeme nazvat ekologizací technologie. Ekologizovaná technologie je tedy taková, kdy během výroby sice vznikají potenciální škodlivé látky a materiály, ale za normálních okolností se jejich vliv eliminuje záměrnou činností člověka.

8.2. Bezodpadové a maloodpadové technologie

Perspektivním řešením komplexní ochrany ŽP je zejména bezodpadová a maloodpadová průmyslová výroba založená na komplexním využívání prvotních surovin, na úplné recyklaci vody a využívání vznikajících odpadů.

Maloodpadové a bezodpadové technologie se vztahují nejen na výrobní procesy, ale i na využití výrobků charakterizovaných prodlouženou životností a možností jednoduché opravy, které se mohou po spotřebě recyklovat nebo se mohou ekologicky nezávadně zneškodnit. Cílem by přitom měl být úplný technologický cyklus využití zdrojů porovnatelný s přírodními ekosystémy.

Jednou ze základních podmínek efektivnosti v oblasti vývoje a zavádění maloodpadových technologií je i racionalizace řídicího systému.

8.3. Recyklizační technologie

Všeobecně je možné recyklaci charakterizovat jako využívání výrobních, zpracovatelských a spotřebitelských odpadů, látek a energie v původní nebo pozměněné formě bez ohledu na místo a čas vzniku odpadu a jeho použití.

Charakteristickým znakem recyklace je zejména hledisko dvojnásobného zmírnění zatížení ŽP :

- na straně vstupů do výrobního systému se využitím odpadů šetří přírodní zdroje prvotních surovin a energie
- na straně výstupů z výrobního systému se snižuje množství škodlivin emitovaných do ŽP tím, že odpady se znovu využívají

Recyklizační technologie se definuje jako soubor na sebe navazujících postupů a operací, které vedou k přeměně odpadu na druhotnou surovinu.

Negativní vlivy strojírenských technologií na životní a pracovní prostředí

V příloze jsou specifikované některé (vycházejíc z klasifikace technologie strojírenských výrobních procesů) negativní vlivy na životní a pracovní prostředí.

Ukazuje se, že téměř pro všechny technologie je původním negativním vlivem hluk.

8.4. Formulace faktorů hodnocení technologických procesů z hlediska vlivu na životní prostředí

Cílem průmyslové výroby je v souladu s výrobními postupy a za pomoci technologických prostředků a práce transformuje suroviny a polotovary do finálních výrobků.

Současný stav strojírenské výroby je charakterizován neustále rostoucími požadavky na složitost výrobků, tvarovou a rozměrovou přesnost a integrit povrchu, zejména funkčních ploch obráběného dílce, zaváděním nových druhů konstrukčních materiálů, zejména materiálů s nižší měrnou hmotností a vysokou pevností, titanových slitin, intermetalických slitin, speciálních vrstvených hmot, polotovarů vyráběných práškovou metalurgií a metodou stereolitografie (Technologie Rapid Prototyping – součást je zhotovována postupným nanášením tenkých vrstev 0,4 – 0,07 mm materiálu zpravidla pryskyřice (stereolitograf) nebo prášku kovu případně keramiky (metoda Multiphase Jet Solidification).

Základním směrem rozvoje technologie obrábění je hledání a aplikace nových směrů a postupů, směřujících ke zvyšování jakosti výrobků, zkracování výrobních cyklů, jejich mechanizací, automatizaci a zavádění a aplikace vysoce přesných technologií.

Základním prostředkem k hodnocení technologických procesů z hlediska jejich vlivu na životní prostředí jsou faktory, kterými se vyjadřuje působení výroby na prostředí. Jsou stanoveny na základě analýzy procesu jako technologického systému a zpravidla se dělí do čtyř základních skupin : [21]

1. Technologické faktory – technické, fyzikální a chemické faktory, které slouží k popisu technologického postupu (úroveň výroby , efektivnost a složitost výrobního procesu ,úroveň řezných parametrů, spotřeba materiálu a energie, úroveň automatizace, množství škodlivin a odpadů).
2. Ekonomické faktory – zahrnují podstatné investiční a provozní náklady hlavních a pomocných procesů a další ekonomicko organizační hlediska (produktivita,

využitelnost materiálu, výnosy hlavního procesu, použitelnost druhotných surovin, zisk z procesů ochrany životního prostředí).

3. Ekologické faktory - obsahují vybrané vlivy hodnocených environmentálních technologií (podíl využitelných odpadů, emise hluku v ŽP, prevence vzniku exhalací a toxických odpadů, vliv na flóru a faunu, likvidace odpadů, atp.).
4. Sociální faktory – sociální účinky technologického procesu (personální skladba pracovníků, zvýšení úrovně řídicí činnosti, kultura pracovních podmínek, kvalifikace a vzdělávání).

Rozvoj průmyslu značně zvýšil a diverzifikoval technologická rizika. Je zřejmé, že průmyslové činnosti jsou neoddělitelné od ekologických dopadů a ekonomického rozvoje. poškození zdraví pracovníků, zvýšení technologické kázně).

Environmentální náklady se zpravidla dělí do následujících skupin:

- Přímé náklady (náklady na prevenci znečišťování a poškozování životního prostředí, náklady na snížení, recyklaci, spalování a úpravu nebezpečných odpadů, jež nejsou klasifikovány jako nebezpečné).
- Správní náklady (environmentální výchova a vzdělání zaměstnanců, monitorování a měření environmentálních zátěží a odpadů, náklady na získání environmentálně bezpečných výrobků).
- Náklady na výzkum a vývoj výrobků, které splňují environmentální kritéria (výrobky šetrnější k životnímu prostředí)
- Náklady na technologii výroby, splňující environmentální požadavky

Č. faktoru	Název faktoru	Kvantifikace faktoru	Jednotky
1	Doba využitelnosti	Skutečná (reálná) doba využívání * 100 Normativní doba využívání	(%)
2	Využitelnost materiálu	Hmotnost finálního produktu * 100 Hmotnost polotovaru	(%)
3	Náklady na opravy	Náklady na opravy během normativní doby využívání Normativní doba využívání	
4	Vznikající druhotné suroviny	Druhotná surovina * 100 (kg) Finální produkt (kg)	(%)
5	Ukazatel ekonomické přesnosti výrobního stroje	Provozní nepřesnost 4σ Toleranční pole vyráběného rozměru	-
6	Provozní náklady	Provozní náklady na čas výroby produktu (Kč) Finální produkt (kg)	(Kč/kg)
7	Produkce odpadu	Množství odpadu * 100 (kg) Finální produkt (kg)	(%)
8	Enviromentální vlivy	Emise hluku, znečišťování ovzduší a vody, energetická bilance, atd.	Dle kritéria
9	Podmínky pracovišť	Klima, monotonnost práce, osvětlení, teplota, koncentrace škodlivin (výpary řezných olejů) atd.	Dle kritéria
10	Sociální vlivy	Nemocnost, choroby z povolání, vytvoření pracovních příležitostí, požadavky na kvalifikaci a vzdělání, atd.	Dle kritéria

Tab. 8.2: Vybrané faktory hodnocení technologických procesů na životní prostředí [21]

Závěr

V současné době existuje řada činitelů, které je nutné brát v úvahu při zavádění a využívání systémů pro obrábění vysokými řeznými rychlostmi. I když se ukázalo, že tato technologie je výhodná z hlediska výkonu i produktivity, je přece jenom nutné zvažovat, jak ji zapojit do stávajícího výrobního systému. Další skutečností, kterou je nutné brát v úvahu, je pokračující vývoj této technologie – spolehlivost, údržba, bezpečnost, potřeba pracovní plochy, investiční náklady, potřeba zkušených pracovníků. Při hodnocení všech těchto skutečností by mělo být cílem zlepšení produktivity, snížení nákladů na výrobu a výroba součástí v požadované jakosti při konkurenceschopných cenách.

Shrnutím poznatků vyplynuly následující tyto hlavní výhody HSC obrábění:

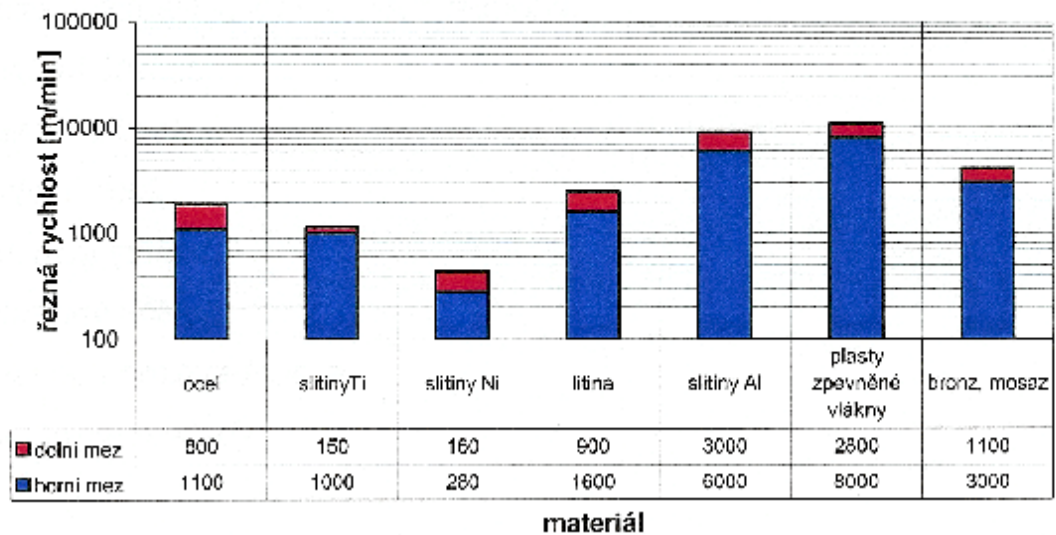
- Zvýšení rozměrové přesnosti obrobku.
- Zlepšení kvality (obecné integrity) obrobeného povrchu, které vede k minimalizaci nebo k úplnému odstranění dokončovacích operací.
- Redukce nástrojového vybavení stroje.
- Omezení nebezpečí vzniku chvění přesunem řezných podmínek mimo rozsah kritických vibrací soustavy stroj-nástroj-obrobek.
- Snížení řezných sil a silových deformací soustavy stroj-nástroj-obrobek.
- Zvýšení podílu tepla odváděného třískou.
- Snížení podílu tepla odváděného obrobkem a tím snížení jeho tepelných deformací.
- Se zvyšujícími se otáčkami vřetene je umožněna vyšší rychlost posuvu při stejné tloušťce odebírané vrstvy jako při konvenčním obrábění. Proto je dosaženo významného snížení strojních časů.
- Důsledkem vysoké hodnoty úběru ($\text{cm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$) se získá větší objem odebraného materiálu, resp. třísek za jednotku času. Množství odebraného materiálu je zhruba o 30% větší než při konvenčním obrábění.

Nevýhody HSC obrábění jsou následující:

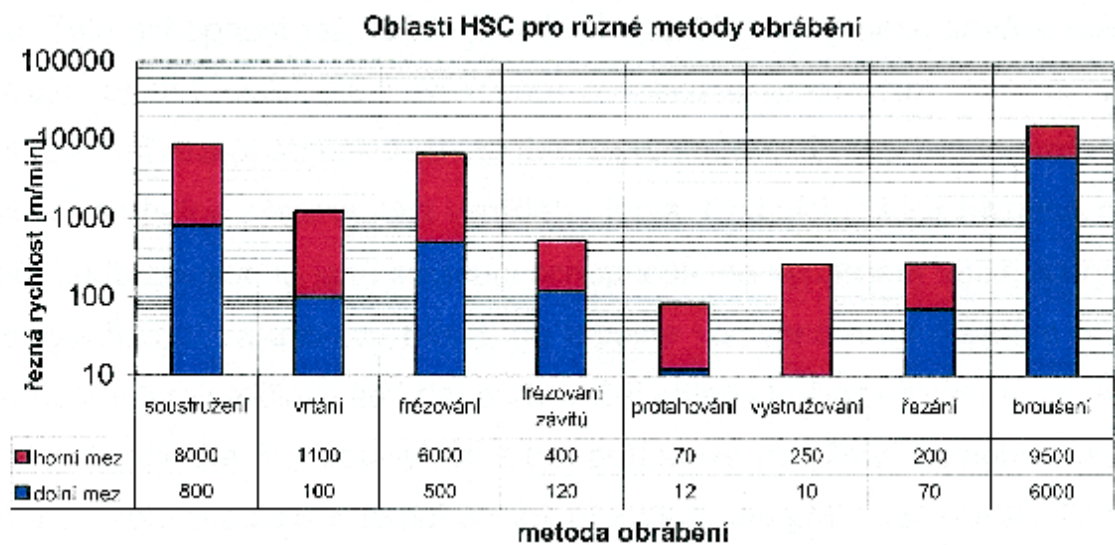
- Nákladné strojní vybavení.
- Speciální (drahé) nástroje a řezné materiály.
- Nutnost vyvažování rotačních nástrojů.
- Speciální přesné upínání řezných nástrojů.
- Speciální upínání obrobku.
- Odstraňování velkého objemu třísek za jednotku času.
- Zvýšení intenzity otupení bříty.
- Nedostatečné odzkoušení technologických dat pro HSC projektování (pro některé druhy materiálů).
- Zvýšené náklady na zajištění dostatečné bezpečnosti obsluhujícího personálu.

Na aplikaci rychlostního obrábění se největší měrou podílí řezné materiály. Proto současné řezné materiály zabezpečují aplikaci HSC obrábění zejména při obrábění oceli povlakovanými slinutými karbidy a cermety, neželezných kovů s nižší tavnou teplotou a nekovových materiálů polykrystalickým diamantem, litiny, keramikou, kalených ocelí a litin polykrystalickým kubickým nitridem bóru. Oblasti HSC obrábění jsou pro jednotlivé materiály jsou souhrnně uvedeny v grafu 4 a pro jednotlivé metody obrábění v grafu 5.

Oblasti HSC obrábění pro jednotlivý druhy materiálů



Graf. 4: Oblasti HSC obrábění pro vybrané druhy materiál [11]



Graf. 5: Oblasti HSC obrábění dle metody obrábění [11]

Realizace HSC obrábění lze aplikovat ještě způsobem, který zahrnuje podstatné zvýšení relativní rychlosti nástroje vzhledem k obrobku i možnost obrábění bez chlazení a obrábění tepelně zpracovaných ocelí a dalších velmi tvrdých materiálů, které bylo možné obrábět pouze broušením.

Obrábění bez chlazení bylo popsáno v kapitole 3.5. Obrábění bez chlazení.

Produktivita a celkové náklady závisí především na strojních časech, na časech vedlejších a na režii. Vhodně aplikovaná metoda rychlostního frézování a soustružení, zejména při obrábění slitin hliníku a případně i některých slitin mědi přináší velmi podstatné snížení strojních časů. Předpokladem je ve většině případů použití speciálních obráběcích strojů s vysokootáčkovými vřeteny a rychlými posunovými mechanismy. Vedlejší časy se dají snižovat automatizací upínání i výměny nástrojů, přímou kontrolou při výrobě a adaptivním řízením samotného procesu obrábění.

Dalším aspektem je výkonný nástroj většinou s břity z povlakovaných slinutých karbidů případně s polykrystalickým diamantem a na některé operace přichází v úvahu použití kubického nitridu boru. Pro obrábění ocelí a litin se musí vzít v úvahu, že pro plné dosažení rychlostního obrábění při soustružení středního průřezu třísky je nutné zvolit nástroj s břity BN nebo řezné keramiky. V tomto případě se promítá ekonomické zhodnocení přínosu, zejména s ohledem na náklady na strojní hodinu speciálního stroje a nákladů na nástroje.

Obrábění bez kapaliny přináší čistší a zdravější prostředí bez množení bakterií a zápachu, což je lepší pro obsluhu i životní prostředí. Není nutná údržba nádrží a rozvodu chladicí kapaliny. Při obrábění za sucha obvykle dochází k lepšímu utváření třísky. Budeme-li obrábět bez použití chladících kapalin tak výrazně snížíme náklady na jeden výrobek a odpadají všechny problémy způsobené likvidací řezných kapalin, bezpečností při skladování atd.

Jedním z hlavních faktorů úspěchu vysokorychlostního obrábění je dokonalý odvod třísek z řezné zóny. Správným odvodem třísek se znovu třísky neřežou a to je při obrábění kalené oceli velmi důležité pro předvídatelnou životnost nástroje a spolehlivost výrobního procesu. Hledisko správného odvodu velmi teplých třísek je možné vyřešit správnou konstrukcí řezné zóny výrobního stroje.

S velkou produktivitou přichází další problém a to velké množství odebíraného materiálu, proto je nutné správně dimenzovat třískové hospodářství.

Environmentalizace řezného procesu by si mělo zasloužit vysokou pozornost, protože otázka ekologie a ekonomiky ve výrobním procesu jsou v dnešní době velmi důležité. Jsou to nové úkoly pro konstruktéry, technology a manažery, aby se přiblížili ekologické rovnováze při vývoji a zavádění nových vyspělých technologií, kterými jsou vysokorychlostní obrábění a obrábění za sucha, ale s využitím stávajících výrobních procesů v nichž jsou prioritní produktivní hlediska.

Resumé

Diplomová práce shrnuje poznatky o možnostech použití technologie HSC v oblasti obrábění.

Úvodní část diplomové práce obsahuje porovnání konvenčního obrábění s HSC obráběním a teoretickou definici technologie HSC.

V hlavní části diplomové práce byla provedena charakteristika řezných kapalin z hlediska jejich dělení a vlastností. Obsahuje teoretické shrnutí tvorby třísky při procesu HSC obrábění a vlivu dynamických poměrů při řezání. V oblasti teorie tepelné bilance rychlostního obrábění jsou uvedeny důležité poznatky, které jsou jejím základem.

Výsledkem bylo zhodnocení výhod a nevýhod HSC technologie, prostředí obrábění bez chlazení a možné náhrady dokončovacích operací HSC technologií.

Summary

This dissertation concentrates to information about possibilities of use HSC technology. The first part of dissertation incorporates comparison of conventional cutting and HSC technology including of theoretical definition of HSC technology.

Evaluation of development cutting lubricants, them characteristic according to them divisions was done in the main part of work.

There is theoretical condensate production of swart during use of HSC technology, and dynamical proportion during cutting. Important basic information form theory of thermal balance of high-speed machining is presented.

Result of the dissertation was evaluated of advantage and disadvantage HSC technology, environment of cutting without cooling and possible substitution of finishing operations by HSC technology.

Seznam použitých symbolů

Označení	Popis
ASP	Anti-Segretion-Process
BN	Kubický nitrid boru
CNC	Počítačově řízená kontrola
CVD	Chemické povlakování
DP	Polykrystalický diamant
E	modul pružnosti v tahu [MPa]
E_c	práce řezání [J]
F	celková řezná síla [N]
F_a	aktivní složka celkové řezné síly [N]
F_c	řezná síla [N]
F_f	síla posuvu [N]
$F_{\gamma N}$	normálová složka síly [N]
F_{sh}	tangenciální síla v rovině stříhu [N]
F_{γ}	tečná složka řezné síly [N]
HRC	označení stupnice tvrdosti podle Rockwela
HSC	Vysokorychlostní řezání
HSM	Vysokorychlostní obrábění
HSS	Rychlořezná ocel
MQL	Minimální množství procesní kapaliny
P	výkon [W]
P_c	řezný výkon [W]
P_e	pracovní výkon [W]
P_{ef}	efektivní výkon řezání [kW]
PPD	Primární plastická deformace
PVD	Fyzikální povlakování
Q_c	celkové množství tepla [J]
Q_t	teplo odebrané třískami za 1 min [$J \cdot min^{-1}$]
SK	Slinutý karbid
SPD	Sekundární plastická deformace
TPD	Terciální plastická deformace
VCN	výměnná břitová destička

b	šířka třísky [mm]
c	měrná tepelná kapacita [$\text{J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$]
f	posuv [mm/ot]
f_{min}	minutový posuv [m.min^{-1}]
f_z	posuv na zub [mm]
h_d	hloubka řezu [mm]
h_{ch}	ztenčení odcházející třísky [mm]
m_t	hmotnost třísek odebraných za 1 min [kg.min^{-1}]
n	otáčky [min^{-1}]
q	podíl přeměněné práce na teplo [%]
q_t	podíl tepla přecházející do třísky [%]
t_0	teplota okolí [$^{\circ}\text{C}$]
t_t	teplota třísky [$^{\circ}\text{C}$]
Δt	diference teploty třísky před a po odřezání [$^{\circ}\text{C}$]
v	výsledná řezná rychlost [m.min^{-1}]
v_1	rychlost třísky [m.min^{-1}]
v_c	řezná rychlost [m.min^{-1}]
$v_{\text{ckrit-skut}}$	kritická skutečná řezná rychlost [m.min^{-1}]
$v_{\text{ckrit-teor}}$	kritická teoretická řezná rychlost [m.min^{-1}]
δ	úhel řezu [$^{\circ}$]
ϕ	úhel smykové roviny [$^{\circ}$]
γ_n	normálový úhel čela [$^{\circ}$]
φ	úhel tření [$^{\circ}$]
Λ_h	součinitel přechování třísky
ρ	hustota [kg.m^{-3}]
τ_k	střední kritické kluzové napětí [MPa]

Literatura

- (1) Humár, A.: Slinuté karbidy a a řezná keramika pro obrábění, 1. vyd., CCB spol. s.r.o., 1995, s.265, ISBN 80-85825-10-4.
- (2) Kocman, K.-Prokop, J.: Technologie obrábění. CERM Brno, 2001, s. 270.
- (3) Kocman, K.: Speciální technologie obrábění. PC-DIR REAL s.r.o. Brno, 1993, s. 213, ISBN 80-214-1187-2.
- (4) Kocman, K.-Němeček, P.:Aktuální příručka pro technický úsek. Verlag Dashöfer, 19. Aktualizované vydání, srpen 2001, s. 4800.
- (5) Kocman, K.: Speciální technologie obrábění, 1.vyd. Brno: CERM Brno s.r.o., 2004, s. 227, ISBN 80-214-2562-8.
- (6) Bumbálek, B.-Kocman, K.: Rychlostní obrábění. Technický týdeník 37, Praha, 1998, č. 37, s. 6. ISSN 0040-1064.
- (7) Dobeš, P.: Prodloužení životnosti řezných kapalin. MM Průmyslové spektrum, Praha, 11/2002. Č.11, s. ISSN 1212-2572.
- (8) Hofmann, P.: Obrábění za sucha – ano či ne? (díl 1,2). MM Průmyslové spektrum, Praha, 2001, č. 11-12, s. 12-15. ISSN 1212-2572
- (9) Houdek, J.: Rychlostní obrábění výhody a limity jeho použití ve strojírenské technologii, 2001, s. 10
- (10) Kocman, K.: Vybrané sítě z teorie obrábění. 1. vydání, 2004, s. 26
- (11) Kocman, K.: Ekologické a technologické aspekty HSC obrábění. 1. Vydání, 2002, s. 7.
- (12) Korn, R.: Recyklace – ekologie i ekonomika. MM Průmyslové spektrum, Praha, 2004, č. 4, s. 16-17. ISSN 1212-2572.
- (13) Maršíček, R.: Enviromentalizace řezného procesu a obrábění za sucha. MM Průmyslové spektrum, Praha, 2004, č.4, s. 23-26. ISSN 1212-2572.
- (14) Řehař, J.: Ještě k problematice High Speed Cutting. Technický týdeník 51-52, Plzeň, 2002, č.51-52, s. 6. ISSN 0040-1064.
- (15) Řehař, J.: Ještě k problematice High Speed Cutting. Technický týdeník 1, Plzeň, 2003, č.1, s. 5. ISSN 0040-1064.
- (16) Svoboda, J.: Tvorba třísky při vysokorychlostním obrábění. MM Průmyslové spektrum, Praha, 2003, č. 4, s. 18-19. ISSN 1212-2572.
- (17) Šrám, V.: Výběr obráběcích a chladících kapalin pro těžkoobrobitelné materiály. MM Průmyslové spektrum, Praha, 2001, č. 11, s. 21-22. ISSN 1212-2572.

- (18) Zelený, J.: Technologie vysokorychlostního obrábění. MM Speciál, Praha, 2000, č. 6, s10-13. ISSN 1212-2275.
- (19) Zelený, J.: Řezné procesy a materiály HSC strojů. MM Průmyslové spektrum, Praha, 1999, č. 4, s.4-6. ISSN 1212-2572.
- (20) Kocmanová, A.: Ekologické aspekty technologických procesů. Strojírenská technologie, č. 4, roč. V., UJEP Ústí nad Labem, 2000,
- (21) Kocman, K.: Tools in engineering production and enviromental technology. In: International tools conference ITC 2001, Juni 2001, Academia Centrum University T. Bati, Zlín, s. 33-39.

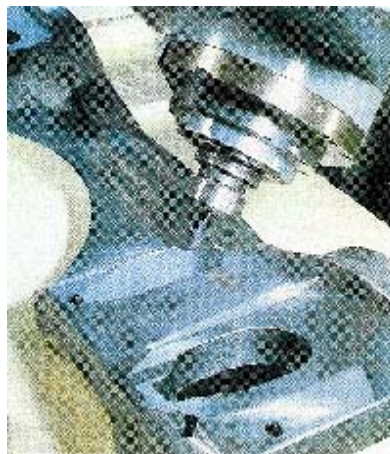
Seznam příloh

- Příloha I. Příklady HSC řezných procesů [18]
- Příloha II. Průběh teplotních polí (ocel, slitina Al, antikorozní ocel, šedá litina) [5]
- Příloha III. Negativní vlivy strojírenských technologií na životní prostředí [20]

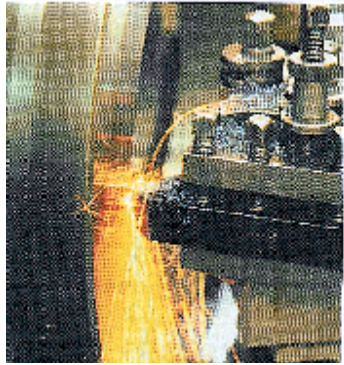
Příloha I. Příklady HSC řezných procesů



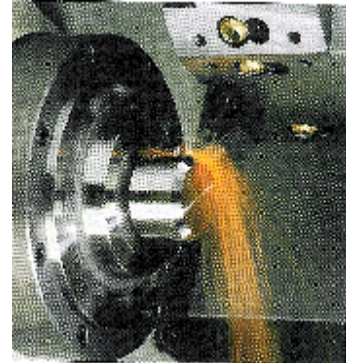
Obr. 1 : Vysokorychlostní, suché a tvrdé hrubovací frézování povlakovanými karbidy[18]



Obr. 2 : Dokončovací suché frézování forem nástroji s maximálními otáčkami $40\,000\text{ min}^{-1}$. (Fa. Deckel – Maho – Gildemeister). [18]



Obr. 3 : Vysokorychlostní suché a tvrdé
přerušované soustružení kalených
zubů ozubených kol
(fa. Hardinge). [18]



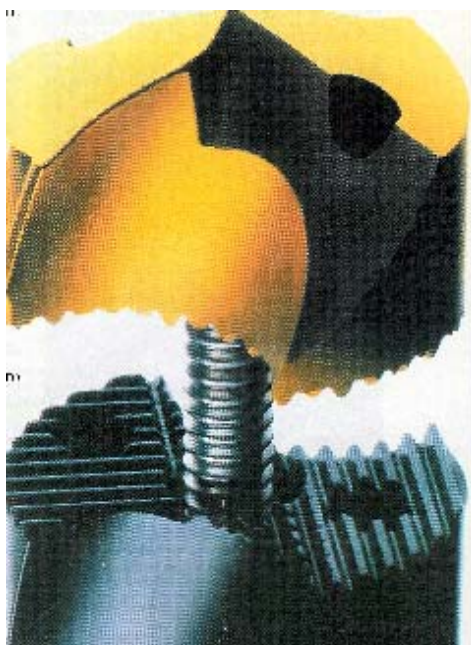
Obr. 4 : Vysoce přesné dokončovací
soustružení mosazi
popolykrystalickým
diamantem (fa. Hardinge). [18]



Obr. 5 : Soustružení těžkoobrobitelného materiálu Inconel 710 whiskerovou keramikou
(fa. Kennametal – Hertel).[18]



Obr. 6 : Vysokorychlostní „mokré“ vrtání s intenzivním odplavováním třísek (fa. Seco).
[18]



Obr. 7 : Vrtáky s výměnnými špičkami a vnitřními spirálovými otvory pro chladící kapalinu (fa. Seco). [18]

Příloha III.

Negativní vlivy strojírenských technologií na životní a pracovní prostředí

STROJÍRENSKÉ PRACOVNÍ PROCESY	NEGATIVNÍ VLIVY NA ŽIVOTNÍ A PRACOVNÍ PROSTŘEDÍ	OPATŘENÍ NA SNÍŽENÍ NEGATIVNÍCH VLIVŮ
Tvarování <u>Lití:</u> - pískové formy - kovové formy - tlakové - odstředivé - podtlakové Prášková metalurgie Obrábění tlakem - volné kování - zápusťkové kování - objemové tváření - tažení - kalibrování - válcování	- Emise z pecí a z pracovišť na přípravu formovacích směsí a čištění odlitků - škodliviny ze spalitelných, vytavitelných a chemicky rozpustitelných modelů - při přechování a střešení formy hluk, prach, otřesy - emise z tepelného zpracování práškových kovů v různých pecích a při tvarování - při ohřevu a tváření, vznik okují obsahující různé oxidy - na vodu při odstraňování okují mechanicky nebo chemicky mořením - při kování a válcování hluk a vibrace, hlavně při práci bucharů	- odlučovače plyných a prašných škodlivin - čistírny odpadních vod a jejich recirkulace - dodržování bezpečnostních opatření - změna konstrukce strojů (odhlučnění) - automatizace procesů (PRaM) - náhradní technologie
ZMĚNA FYZIKÁLNĚ MECH. A CHEMICKÝCH VLASTNOSTÍ MATERIÁLŮ <u>Žihání:</u> - normalizační - izotermické <u>Kalení:</u> - objemové - povrchové Popouštění Disperzní zpevňování Chem.tepelné zpracování - cementace - nitridování - sírování Termomech. Opracování <u>Difúzní pokovování:</u> - chromování - silicování - boridování <u>Galvanizace:</u> - oxidování - fosfátování - kadmínování - niklování	- na ovzduší okujemi a plyny z tepelného ohřevu kovů - na vodu a půdu, voda a olej po kalení - výrazně na vodu při odstraňování nečistot z povrchu kovů, oplachování - při elektrolytickém a emulzním odmašťování různými rozpouštědly na bázi benzínů, petrolejů, trichlóretylénů a tetrachlór-etylenu - na vodu při moření v různých kyselinách - při samotném pokovování, stříkání, galvanizaci koncentrace problematických látek v odpadních vodách - škodlivé výpary v pracovním prostředí	- čištění, neutralizace a recirkulace odpadních vod - dodržování bezpečnostních předpisů - vhodná lokalizace provozu (zónování) - řešení odpadového hospodářství - automatizace procesů (PRaM)

Dělení materiálů <u>Stříhání:</u> - strojní <u>Řezání:</u> - pily - brousící kotouče - frikční pily - plamen - anodomechanické	- hluk a vibrace zejména stříháním hydraulickými nůžkami - při řezání pilami a brusnými kotouči hluk a prach - frikční pily jsou velkým zdrojem hluku - při chlazení strojních pil olejem možnost znečištění prostředí	- změna konstrukce strojů - osazování strojů na pevné základy - použití krytů, protihluková úprava prostoru - pily odizolovat od ostatního prostoru zejména frikční - zachytávání úniků oleje
Spojování polotovarů <u>Svařování:</u> - plamenem - obloukové - elektrotryskové - odporové - elektron. paprskem - difúzně <u>Natavení</u> <u>Pájení</u> <u>Slinování</u> <u>Nýtování</u> <u>Lepení</u>	- v malém rozsahu na ovzduší, hlavně svařování v ochranné atmosféře - ozařování okolí - hluk ze svařecích agregátů - na ovzduší při pájení (kyselina boritá, borax v tavidle) - emise z ochranné atmosféry ve slinovacích pecích - při nýtování v malém rozsahu hluk a otřesy - na vodu při povrchové úpravě ploch před lepením - výpary a plyny z lepeného spoje	- důsledné dodržování bezpečnostních předpisů - azbestové plachty proti silnému záření - automatizace procesů (PraM) - kryty, protihluková úprava prostoru - používání ochranných pomůcek (brýle, rukavice)
Rozměrové obrábění Třískové obrábění - soustružení - vyvrtávání - frézování - vrtání - řezání závitů - výroba ozubení - protahování - hoblování - obrážení Elektrofyzikální metody - elektroimpulzní - elektrojiskrové - elektron. paprskem Elektrochemické metody	- všechny druhy obrábění velký zdroj hluku - na půdu, spodní a povrchovou vodu chladicími emulzemi a oleji - zápach z dlouhodobě neměnné chladicí kapaliny - velké množství odpadu a nebezpečné třísky - při odmašťování a čištění součástek znečištění půdy a vody používáním různých rozpouštědel s perchlóretylény, benzínem, trichlóretylény apod.	- protihlukové řešení, kryty, zástěny - vhodné rozmístění provozů - konstrukční úprava strojů - zavádění ekologicky nezávadných chladicích kapalin na rostlinném základě - použití vhodných mazacích technologií např. ACCU Lube - bezpečnostní předpisy - automatizace procesů - nové odmašťovací a čisticí prostředky na bázi vodních roztoků - náhradní technologie
Dokončovací opracování <u>Broušení:</u> - jemné broušení - honování - superfinišování <u>Dokončování:</u> - lapování - chem. mechanické - elektromechanické <u>Leštění:</u> - mechanické - chemické - elektrochemické Ševingování	- na ovzduší prach hlavně v okolí pracoviště - na vodu a půdu prachem odplavovaným chladicí kapalinou - brusky jsou velkým zdrojem hluku - při chemických operacích znečištění i různými chemickými látkami	- odvěšče prachu - bezpečnostní opatření - ochranné pomůcky - protihluková opatření - zachytávání částic kovu, brusiva a chemických látek před únikem do prostředí

Číslo faktoru	Název faktoru	Ukazatel kvantifikace faktoru	
		Definice	měrná jednotka
1	Využitelnost procesu	$\frac{\text{skutečná doba využívání}}{\text{normativní doba využívání}}$	%
2	Využitelnost základních a pomocných materiálů	$\frac{\text{domácí a dovážené prvotní a druhotné suroviny}}{\text{hlavní výrobek}}$	t.t ⁻¹
3	spotřeba základních a pomocných materiálů	$\frac{\text{základní, příp.pomocné materiály}}{\text{hlavní výrobek}}$	t.t ⁻¹
4	Vznikající druhotné suroviny	$\frac{\text{druhotná surovina}}{\text{hlavní výrobek}}$	t.t ⁻¹
5	vznikající odpadové teplo	$\frac{\text{odpadní teplo}}{\text{hlavní výrobek}}$	J.t ⁻¹
6	Kvalita výrobku	$\frac{\text{nároky na obal}}{\text{hlavní výrobek}}$	hmotnostní jednotka t
		$\frac{\text{skutečná životnost}}{\text{normativní životnost}}$	%
		ztráty při dopravě, nakládání a vykládání	%
7	Investiční náklady	$\frac{\text{celkový náklad na investici}}{\text{hlavní výrobek}}$	Sk.t ⁻¹
8	Provozní náklady	$\frac{\text{provozní náklady za rok}}{\text{hlavní výrobek}}$	Sk.t ⁻¹
9	Produktivita	$\frac{\text{hlavní výrobek}}{\text{počet pracovních sil}}$	t na pracovníka
10	Čistá výroba	výroba ve finančním vyjádření ± změny zásoby – spotřeba materiálu – spotřeba služby – spotřeba výrobních prostředků	Sk za rok.t ⁻¹
11	Znečištění ovzduší	$\frac{\text{koncentrace škodlivin v ovzduší}}{\text{přípustná koncentrace}}$	g.m ³
12	Znečištění vody	$\frac{\text{koncentrace škodlivin v ovzduší}}{\text{přípustná koncentrace}}$	g.m ³
		$\frac{\text{množství škodlivin}}{\text{hlavní výrobek}}$	t.t ⁻¹
13	produkce tuhých odpadů	$\frac{\text{množství odpadu}}{\text{hlavní výrobek}}$	t.t ⁻¹
14	vliv na životní prostředí	popis vlivu hlavního výrobku na ŽP při používání a po využití: spotřeba materiálů a energií, vznik odpadů, odpadní teplo, znečišťování ovzduší a vody, hluchost	dle zvolených vlivů
15	emise hluku v ŽP	emise hluku	dB
16	Podmínky pracoviště	klima, hluk, jednotvárnost práce, světlo, výška, teplota, koncentrace škodlivin	slovní popis
17	Sociální vlivy	nemocnost, úmrtnost, choroby z povolání, vytváření pracovních příležitostí, požadavky na vzdělání, veřejné mínění	slovní popis

Soubor faktorů minimálního programu hodnocení technologických procesů z hlediska vlivu na životní prostředí