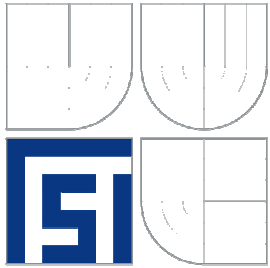


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE
FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

MODERNÍ CHLADÍCÍ KAPALINY PRO OBRÁBĚNÍ

MODERN COOLING LUBRICANT FOR METAL MACHINING

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Pavel NOVÁČEK

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. Oskar ZEMČÍK, Ph.D.

BRNO 2012

ABSTRAKT

Práce obsahuje charakteristiky různých druhů procesních kapalin používaných v třískovém obrábění, jejich rozdělení, způsoby jejich přívodu a některé provozní činnosti spojené s užíváním těchto kapalin. Dále jsou uvedeny některé moderní trendy v oblasti obrábění jako je obrábění za sucha, porovnání jejich možností s obráběním za použití procesních kapalin a možnosti nahrazení účinků procesních kapalin při těchto druzích obrábění.

Klíčová slova

procesní kapalina, obrábění, řezný proces, chladicí účinek, mazací účinek, obrábění za sucha

ABSTRACT

This work covers the characteristics of different types of processing fluids used in machining; their types, the possible ways to supply and certain operational activities associated with the use of these liquids. The following are some of the modern trends in machining including dry machining, comparing their abilities with the machining process with fluids.

Key words

processing liquid, machining, cutting process, cooling effect, lubricating effect, dry machining

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

NOVÁČEK, Pavel. *Moderní chladící kapaliny pro obrábění*. Brno 2012. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. 43, s. 2 přílohy. Vedoucí práce: Ing. Oskar ZEMČÍK, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma **Moderní chladící kapaliny pro obrábění** vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

Datum

Pavel Nováček

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto Ing. Oskaru Zemčíkovi, Ph.D. za cenné připomínky, rady a trpělivost při vypracování bakalářské práce.

OBSAH

ABSTRAKT	4
PROHLÁŠENÍ.....	5
PODĚKOVÁNÍ.....	6
OBSAH.....	7
ÚVOD.....	8
1 Charakteristiky a vlastnosti procesních kapalin.....	9
2 Rozdělení procesních kapalin	14
3 Zkoušení procesních kapalin	18
3.1 Laboratorní zkoušky	18
3.2 Provozní zkoušky.....	18
4 Přívod procesní kapaliny do místa řezu.....	20
4.1 Chlazení nástrojů se slinutými karbidy.....	21
4.2 Tlakové chlazení	21
4.3 Chlazení mlhou	21
4.4 Podchlazování procesní kapaliny.....	22
4.5 Vnitřní chlazení.....	22
4.6 Chlazení plynnými látkami.....	23
5 Provozní činnosti spojené s použitím procesních kapalin	24
5.1 Ošetřování procesních kapalin v provozu.....	24
5.2 Výměna náplně procesní kapaliny	25
5.3 Čištění procesních kapalin	25
6 Volba procesní kapaliny podle druhu práce a Pracovních podmínek.....	27
6.1 Další kritéria při volbě procesní kapaliny	27
7 Bezpečnost při práci s procesními kapalinami	29
8 Obrábění za sucha.....	30
8.1 Nahrazení účinků procesních kapalin při obrábění za sucha.....	31
8.2 Metoda minimálního množství procesní kapaliny (MQL)	34
9 Procesní kapaliny dostupné na trhu	36
ZÁVĚR	39
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	40
Seznam použitých symbolů a zkratk.....	42
SEZNAM PŘÍLOH.....	43

ÚVOD

Ve strojírenství je obrábění kovů jednou z nejdůležitějších technologií výroby součástí. Hlavní snahou při využití této technologie je zvýšení trvanlivosti řezných nástrojů a dosažení co nejlepší rozměrové přesnosti a povrchu obráběné součásti. Roli v tomto problému hraje jak volba řezného materiálu a úprava řezných podmínek, tak změna prostředí obráběcího procesu za použití procesní kapaliny.

Používání procesních kapalin se začalo objevovat již na počátku 20. století. Z počátku se využívaly jen velmi jednoduché typy vodných a olejových emulzí. Používání i těchto velmi jednoduchých procesních kapalin mělo výrazný vliv na průběh řezného procesu a díky nim se zároveň velmi snížily ekonomické náklady ve výrobě, hlavně díky zvýšení trvanlivosti řezných nástrojů. Samozřejmě se také zlepšil odvod tepla z místa řezu a snížilo tření. Všechny tyto pozitivní dopady na průběh řezného procesu způsobily, že se používání procesních kapalin velmi rychle rozšířilo do většiny oblastí třískového obrábění.

Z celé řady studií mapujících dnešní ekonomické a výrobní podmínky výroby plyne, že náklady na aplikaci procesních kapalin se pohybují mezi 7 a 17 % výrobních nákladů vztahených na jeden výrobek. To je v některých případech více, než činí náklady na řezné nástroje.

Proto je v posledních letech snaha o snížení nákladů vydaných na procesní kapaliny a jejich nahrazení obráběním za sucha. Nejnovějším trendem je pak použití metody MQL, tj. metoda minimálního množství procesní kapaliny.

V různých literaturách jsou pro tyto kapaliny používány různé názvy (například chladicí, mazné, řezné, atd.). Moderní procesní kapaliny už většinou neplní jen jednu funkci (chladicí účinek, mazací účinek, atd.), ale jsou univerzálnější a splňují většinou hned několik požadavků na podporu obráběcího procesu. Nejčastější označení těchto kapalin v nejnovější literatuře je procesní kapaliny. V dalším textu této práce je proto používáno právě toto označení.

1 CHARAKTERISTIKY A VLASTNOSTI PROCESNÍCH KAPALIN

Procesní kapaliny se dají rozdělit do dvou hlavních skupin podle účinku na proces řezání, tj. kapaliny s převažujícím chladícím účinkem a kapaliny s převažujícím mazacím účinkem.¹

Hlavním úkolem procesní kapaliny je umožnit obrábění při nejvyšší hospodárnosti, to znamená zajistit potřebnou trvanlivost nástrojů a jakost obrobenej plochy při malé spotřebě energie. Chladící a mazací účinky procesní kapaliny jsou základní (obr 1.2).¹

Z hlediska technologického a provozního je třeba uvést další požadavky na tyto kapaliny. Jedná se o tyto požadavky:

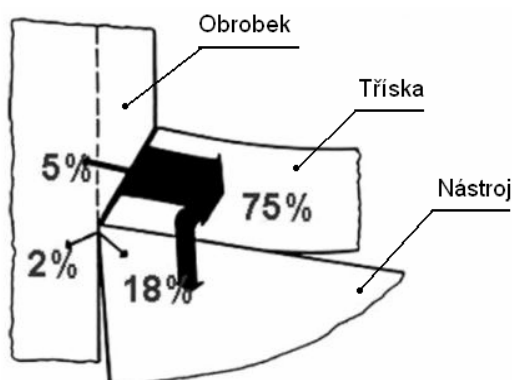
- *chladící účinek*
- *mazací účinek*
- *čisticí účinek*
- *provozní stálost*
- *ochranný účinek*
- *zdravotní nezávadnost*
- *přiměřené náklady*¹

Chladící účinek

Chladícím účinkem se rozumí schopnost procesní kapaliny odvádět teplo z místa řezu. Tuto schopnost má každá kapalina, která smáčí povrch kovu a pokud existuje tepelný spád mezi povrchem a kapalinou. Tento účinek nastává při obrábění vředycky.¹

Odvod tepla vzniklého při řezání se uskutečňuje tím, že proud řezné kapaliny oplachuje nástroj, třísky i obrobek a přejímá teplo (obr. 1.1).¹

Chladící účinek procesních kapalin bude záviset na jejich smáčecí schopnosti, na výparném teple, na rychlosti vypařování za určitých teplot, na tepelné vodivosti a na měrném teple. Čím budou tyto veličiny větší, bude i větší chladící účinek procesní kapaliny. Stejně důležité je i průtokové množství. Výparné teplo zvětšuje chladící účinek kapaliny, ale přílišné odpařování kapaliny není žádoucí. Aby byla procesní kapalina využita hospodárně z hlediska čistoty a zdraví, je nutné vznikající páry odsávat.¹



Obr. 1.1 Příklad odvodu tepla z místa řezu při soustružení³

Mazací účinek

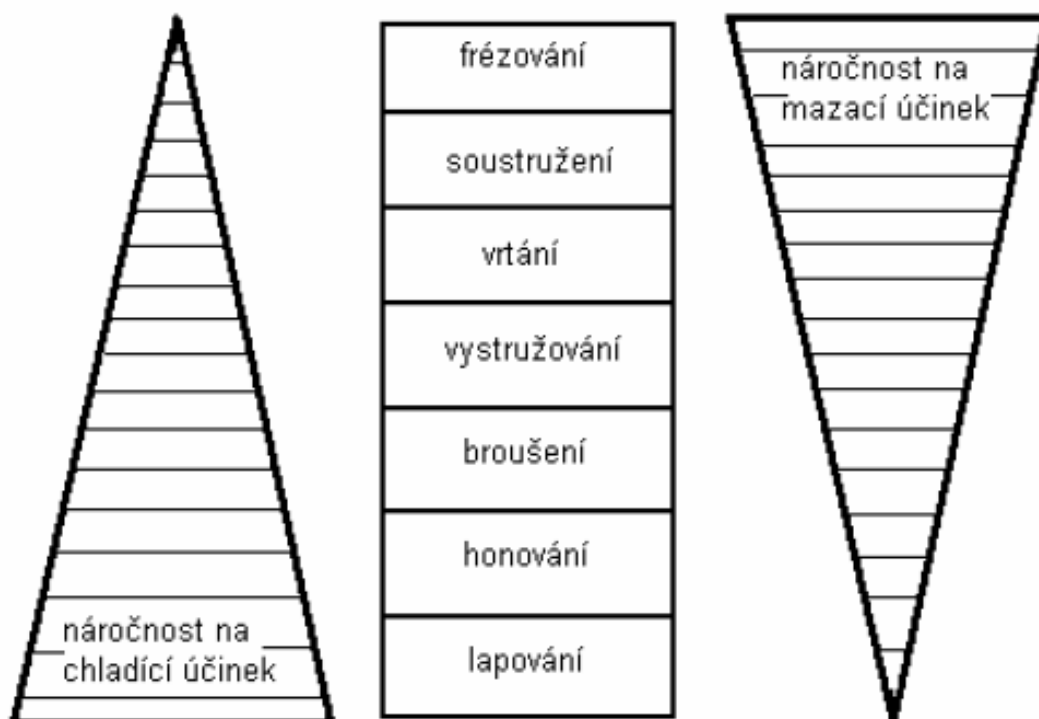
Mazací účinek je schopnost kapaliny vytvořit na povrchu kovu vrstvu, která brání přímému styku kovových povrchů a snižuje tření, ke kterému dochází mezi nástrojem a obrobkem. Vzhledem k vysokým tlakům, které vznikají při řezání, nemůže zde dojít ke kapalnému tření. Může ale vzniknout mezní tření. Má-li procesní kapalina velkou afinitu ke kovu, nebo váže-li se s materiálem obrobku chemicky v mikroskopické povrchové mezní vrstvě.¹

Mazací účinek znamená proto zmenšení řezných sil, zmenšení spotřeby energie a také zlepšení jakosti obrobeného povrchu. Mazací účinek procesní kapaliny se proto vyžaduje u dokončovacích operací obrábění a při provádění náročných operací, jako je protahování, výroba závitů, nebo výroba ozubení.¹

Mazací schopnost procesní kapaliny je závislá na její viskozitě a na pevnosti vytvořené mezní vrstvy. S rostoucí viskozitou se ale zhoršuje pronikání kapaliny mezi třecí plochy, její proudění a také odvod tepla. Viskóznější kapaliny ulpívají 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 usnadňují tak vlastní proces řezání.¹

Ověřování dobrých vlastností procesní kapaliny z různých hledisek je nejlepší při vlastních zkouškách obrábění, kdy se dají sledovat jejich vlivy na všechny charakteristiky procesu řezání (obr. 1.5).¹

Přísady dodávané do řezných kapalin mají za úkol zvyšovat pevnost mazacího filmu, a to nejen za nízkých, ale i za vysokých teplot. Mezi tyto přísady patří některé radikály a uhlovodíky – C_nH_{2n} , C_nH_{2n+2} . Jinou skupinu přísad tvoří sloučeniny fosforu, síry, chloru. Všechny uvedené přísady nelze užívat libovolně, ale jen na základě dokonalého hodnocení.¹



Obr. 1.2 Náročnost jednotlivých operací na chladicí a mazací účinek⁴

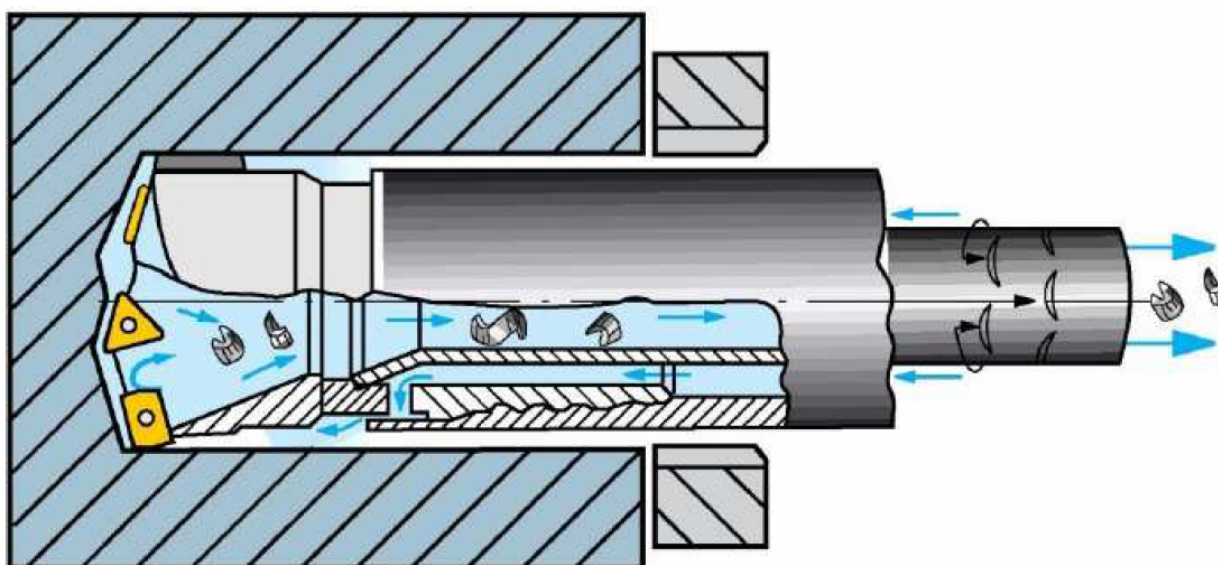
Čistící účinek

Čistící účinek procesní kapaliny znamená, že její přívod odstraňuje třísky z místa řezání a zlepšuje vlastnosti brousícího kotouče tím, že vyplavuje zanesené póry. Řezná kapalina má také bránit slepování částic, které vznikají při řezání, ale má vyvolávat jejich usazování.¹



Obr. 1.3 Vrták Chamdrill FF s vnitřním chlazením¹⁰

Jakost čištění závisí i na čistotě vlastní procesní kapaliny, to znamená na odstraňování nečistot, které kapalina odplavila. Větší nečistoty se sice usadí v nádrži, ale menší mohou být proudem vody odnášeny zpět do místa řezání, kde mohou způsobit i zhoršení jakosti obrobeneho povrchu. Velký význam má účinek čištění pro broušení a u těchto operací, kdy procesní kapalina musí odnášet třísky z místa řezu např. při řezání závitů nebo vrtání hlubokých děr (obr. 1.3, 1.4).¹



Obr. 1.4 Vyplavování třísek při hlubokém vrtání⁹

Provozní stálost

Provozní stálost je možné hodnotit dobou výměny procesní kapaliny. Dlouhodobost výměny procesní kapaliny je podmíněna zárukou, že se její vlastnosti nebudou po tuto dobu měnit.¹

Stárnutí procesní kapaliny olejového typu se projevuje tvořením pryskyřičnatých usazenin, které mohou způsobit i poruchu stroje. Produkty stárnutí mají vliv i na zhoršování funkčních vlastností procesní kapaliny, její rozklad, zmenšení mazacího účinku, ztrátě ochranných schopností, korozi a hnilobný rozklad.¹

Provozní stálost procesní kapaliny závisí na jejích fyzikálních a chemických vlastnostech a na teplotě. Čím je procesní kapalina složitější, tím větší má sklon k nestabilitě.¹

Základním předpokladem provozní stálosti je stálost při uskladnění procesní kapaliny. Příznivě ovlivňují provozní stálost dostatečně velké nádrže, opatření proti pění, odstraňování nečistot vzniklých při provozu, odstraňování kalů a pravidelná výměna náplně v přiměřených lhůtách.¹

Ochranný účinek

Ochranný účinek procesní kapaliny se projevuje tím, že nenapadá kovy a nepůsobuje korozi. Toto je důležitý požadavek proto, aby nebylo nutné výrobky mezi operacemi konzervovat a aby se také stroje chránily před rezivěním. Pro vytvoření dokonalého antikorozního účinku jsou do procesní kapaliny přidávány přísady, které pasivují kovy proti nežádoucím účinkům.¹

Dalším důležitým požadavkem je to, aby procesní kapalina nerozpouštěla nátěry obráběcích strojů a nebyla agresivní vůči gumovým těsněním.¹

Zdravotní nezávadnost

Zdravotní nezávadnost procesní kapaliny vychází z toho, že při práci na obráběcích strojích se přichází do styku s procesní kapalinou. Proto procesní kapalina nesmí být zdraví škodlivá, nesmí obsahovat látky dráždící sliznici a pokožku a nesmí být jedovatá. Kapaliny také nesmí zamořovat ovzduší nepříjemným zápachem.¹

Zdravotní nezávadnost procesních kapalin závisí také na jejich provozní stálosti a čistotě. Přitom je nutné v provozu dbát na to, aby byla zajištěna základní hygienická opatření, jako je větrání, umývání, preventivní ochrana pokožky apod.¹

Přiměřené náklady





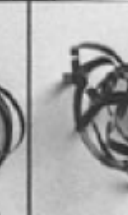










Přiměřené náklady souvisí především se spotřebou procesní kapaliny. Při rozboru nákladů na procesní kapaliny je nutné nejdříve posoudit jejich vliv na proces obrábění, tj. na trvanlivost nástroje, ostření, jakost obrobku a spotřebu energie. Po tomto rozboru musí následovat hodnocení procesní kapaliny s ohledem na její provozní stálost, spotřebu a výměnu. Je třeba zvážit i náklady na likvidaci procesní kapaliny.¹

Teprve podrobný technicko-ekonomický rozbor může rozhodnout o vhodnosti určitého druhu procesní kapaliny. Hodnocení procesní kapaliny podle cenových rozdílů je sice jednoduché, ale zcela nedostatečné, poněvadž procesní kapaliny ovlivňují parametry rozhodující o ekonomii obrábění často ve větším rozsahu, než hodnota procesních kapalin.¹

Procesní kapalina je jedním z prostředků jak ovlivňovat hospodárnost procesu obrábění. Při jejím výběru je ale nutné sledovat to, co s přívodem procesní kapaliny souvisí. Jedná se o její

působení na proces řezání, tj. na průběh plastické deformace. Jinou oblastí je sledování vlivu procesní kapaliny na opotřebování nástroje, nebo na změnu drsnosti obrobené plochy.¹

Není proto možné připravit jednu procesní kapalinu a tuto pokládat za vyhovující pro všechny operace. Vždycky bude nutné případ od případu řešit otázku výběru procesní kapaliny, její koncentraci a způsob přívodu, aby byly splněny požadavky hospodárnosti obrábění.¹

	posuv f (mm)				
	0,05	0,053	0,08	0,1	0,14
obrábění zasucha					
obrábění s procesní kapalinou					
obrábění s minimálním množstvím procesní kapaliny					

$$V_c = 80 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1} \quad a_p = 1,25 \text{ mm}$$

Obr. 1.5 Vliv procesních kapalin na tvar třísky⁵

2 ROZDĚLENÍ PROCESNÍCH KAPALIN

Procesní kapaliny se dělí do dvou následujících skupin:

- *chladící kapaliny* – s převažujícím chladícím účinkem
- *řezné oleje* – s převažujícím mazacím účinkem¹

Toto rozdělení již přesně nevystihuje sortiment procesních kapalin, které jsou na trhu. Stále se totiž projevuje snaha zvyšovat mazací účinky i u procesních kapalin s převažujícím chladícím účinkem. Výroba ale potřebuje procesní kapaliny s oběma účinky. Moderní druhy procesních kapalin tento požadavek již plní a tak je stírán rozdíl mezi oběma skupinami.¹

Do skupiny procesních kapalin s převažujícím chladícím účinkem patří kapaliny na vodní bázi a do skupiny procesních kapalin s převažujícím mazacím účinkem patří kapaliny na bázi oleje.¹

Procesní kapaliny se proto dají dělit do těchto skupin:

- *vodné roztoky*
- *emulzní kapaliny*
- *mastné oleje*
- *zušlechtěné řezné oleje*
- *syntetické kapaliny*¹

Vodné roztoky

Vodné roztoky jsou nejjednodušší procesní kapaliny, ale mají málo výhod. Voda, jako jejich základ, vyžaduje řadu úprav, jako je její změkčování, přidávání přísad proti korozi, pro zlepšení smáčivosti a proti pěnivosti. Vodný roztok musí být vždy alkalický.¹

U těchto kapalin vzniká nebezpečí rozmnožování anaerobních bakterií, které způsobuje tvorbu kalů a nepříjemný zápach.¹

Emulzní kapaliny

Emulzní kapaliny jsou disperzní soustavou dvou vzájemně nerozpustných kapalin, z nichž jedna tvoří mikroskopické kapky, rozptýlené v kapalině druhé. Obvykle se jedná o olej ve vodě. Přitom je třeba využít další složky tzv. emulgátory.¹

Tyto látky zmenšují mezipovrchové napětí emulgovaných kapalin a stabilizují emulzi. Emulzní kapaliny spojují do určité míry přednosti vody a mazacích olejů. Chladící účinek emulzní kapaliny závisí na koncentraci emulze. S rostoucí koncentrací emulgačního prostředku ubývá chladícího účinku. Velikost mazacího účinku je dána také koncentrací a vlastnostmi emulgačního prostředku. Schopnost ochrany proti korozi závisí na hodnotě pH emulze, ale v daleko menší míře než u vodných roztoků. Emulze o hodnotě pH = 8 až 9 poskytuje již dostatečnou ochranu proti rezivění slitin železa. Emulzní kapaliny zahrnují asi 80% všech používaných procesních kapalin (obr. 2.1).^{1,2}



Obr. 2.1 Chlazení emulzní kapalinou při frézování¹⁷

Emulgační prostředky musí splňovat požadavky především na jakost a spolehlivost účinku při vysokých tlacích. Dnes existuje řada těchto prostředků a jsou na trhu nabízeny různými výrobci.¹

Provozní vlastnosti emulzních kapalin závisí na jejich přípravě. Pro přípravu emulzní kapaliny je třeba zachovat určitý postup:

- pro přípravu použít vhodně upravenou vodu,
- emulgační prostředek přidávat pozvolně za stálého míchání,
- koncentraci emulze volit podle druhu operace a podle množství ochranných látek; koncentrace se obvykle pohybuje v rozmezí 2 až 10%.¹

Matné oleje a tuky

Mastné oleje a tuky jsou látky živočišného a rostlinného původu a mají prakticky stejné vlastnosti jako olej minerální. Mají ale menší povrchové napětí a tím i lepší smáčivost, což přispívá k účinnějšímu odvodu tepla.¹

Velkou nevýhodou těchto mastných látek je značný sklon ke stárnutí, tj. zvyšuje se jejich kyselost a tvoří se pryskyřičné látky. Mezi mastné látky užívané při obrábění patří řepkový olej, ricinový olej, lněný olej a další.¹



Obr. 2.2 Velkoobjemové chlazení olejem při odvalovacím frézování¹¹

Minerální oleje

Minerální oleje jsou výrobky z ropy, s dobrými mazacími vlastnostmi, ale horším chladícím účinkem. Mají ale dobrý ochranný účinek a dobrou odolnost proti stárnutí.¹

Minerální oleje mají velmi dobré provozní vlastnosti, a proto se využívají jako základ pro řezné oleje.¹

Řezné oleje

Řezné oleje (obr. 2.2, 2.3) jsou zušlechtěné minerální oleje. Přísady, které se používají, mají vyšší tlakovou únosnost a také lepší mazací vlastnosti.¹

Tyto přísady, které zlepšují mazací schopnosti řezných olejů, jsou následující:

- mastné látky,
- organické sloučeniny,
- pevná maziva.¹



Obr. 2.3 Vrtání při chlazení olejem¹²

Do první skupiny patří zmydelnitelné matné oleje, mastné kapaliny, nebo syntetické estery. Tyto přísady zvětšují přilnavost oleje ke kovu a zlepšují mazací schopnosti, ale ne za extrémních tlaků.¹

Do druhé skupiny patří organické sloučeniny určitých prvků, jako je síra, chlor, fosfor. Všechny tyto látky se osvědčily jako vysokotlaké přísady. Na povrchu vytvářejí vrstvičku kovových mýdel, která zabraňuje kovovým svarům a usnadňuje kluzný pohyb troucích se ploch. Sloučeniny s chlorem zmenšují tření, ale jeho účinnost klesá při teplotách na 400 °C. Sloučeniny s fosforem jsou proto ještě účinnější. Jako neúčinnější se projevíly kombinace sloučenin S, Cl, P.¹

Přísady musí být vybírány velmi pozorně, nesmí podporovat korozi, a nesmí být zdravotně závadné.¹

Pevná maziva, která se používají jako přísady do řezných olejů, působí při řezání mechanickým účinkem. Svou afinitou ke kovu vytvářejí mezní vrstvu odolnou proti tlakům a zlepšují mazací schopnosti oleje.¹

Mezi pevná maziva patří grafit a siřník molybdenu. Jejich nevýhodou je, že se v kapalinách nerozpouští a musí se proto udržovat v rozptýleném stavu.¹

Syntetické a polosyntetické kapaliny

Syntetické kapaliny (obr. 2.4) se vyznačují velkou provozní stálostí, ale jejich mazací a chladící účinky nejsou lepší než u minerálních olejů. Jsou většinou rozpustné ve vodě a mají také ochranné účinky.^{1,2}

Syntetické procesní kapaliny neobsahují minerální oleje, ale jsou složeny z rozpouštědel – glykolů, které ve vodě emulgují, nebo se rozpustí. Glykoly jsou průsvitné, takže umožňují sledovat průběh obráběcího procesu. Postupně se vyvinuly syntetické procesní kapaliny se zlepšenými mazacími a antikorozními vlastnostmi.¹

Aplikace syntetických procesních kapalin má proti kapalinám na bázi oleje ekonomické výhody a navíc zajišťuje rychlé odvádění tepla, má dobré čistící vlastnosti a jednoduchou přípravu. V syntetických procesních kapalinách je možné rovněž rozptýlit oleje, čímž vznikají polosyntetické procesní kapaliny, které mají příznivější mazací schopnosti. V polosyntetických kapalinách jsou olejové částice mnohem menší než v emulzích.²



Obr. 2.4 Frézování s použitím syntetické procesní kapaliny¹²

3 ZKOUŠENÍ PROCESNÍCH KAPALIN

Požadavky na procesní kapaliny jsou značně rozdílné. Každá požadovaná vlastnost by měla být ověřena zkouškou, a to za podmínek jakým bude procesní kapalina vystavena v provozu. Tyto podmínky se ale různí, a tak je těžké provést krátkodobé zkoušky, které by ověřily jejich vlastnosti.¹

Zkoušky procesních kapalin je možné rozdělit do dvou skupin:

- *zkoušky laboratorní*
- *zkoušky provozní*¹

3.1 Laboratorní zkoušky

Laboratorní zkoušky se týkají ověřování jakosti a druhu procesní kapaliny před jejím použitím v provozu. Většina těchto zkoušek je normována a jsou známy předpisy a technické podmínky pro přijetí příslušného výrobku.¹

Při laboratorních zkouškách je pozornost soustředěna hlavně na ověřování vlastností, které jsou důležité z hlediska jejich provozu, tj. např. provozní stálost, antikorozi vlastnosti apod. Pokud je procesní kapalina používána v daném stavu, jako např. řezný olej, je ověřován její stav. Prostředky, které se používají k přípravě procesní kapaliny, se zkouší již v připraveném stavu.¹

3.2 Provozní zkoušky

Provozní zkoušky se provádí při řezání. Výsledky těchto zkoušek prokazují jak zkoušená procesní kapalina ovlivňuje:

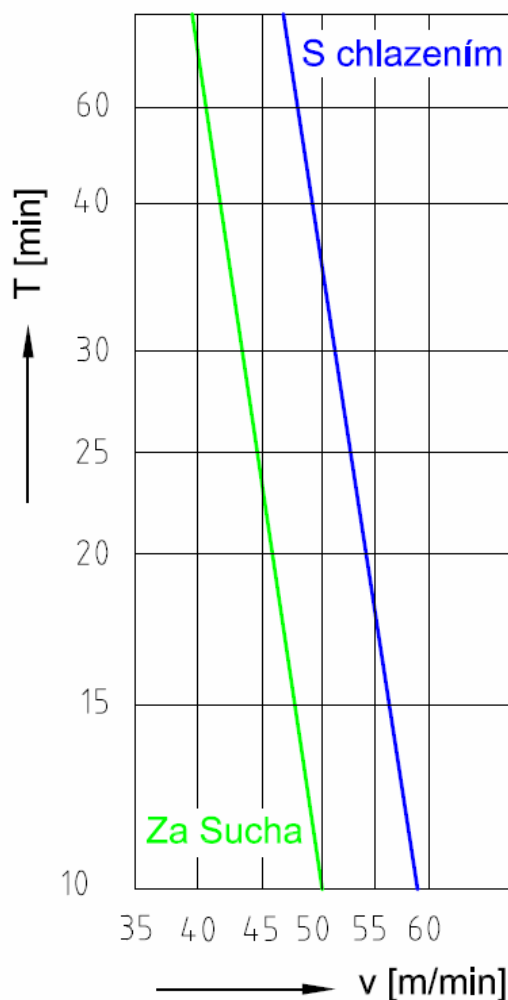
- *opotřeбенý nástroj*
- *řezné síly*
- *drsnost obrobene plochy*
- *teplotu řezání*¹

Každá z uvedených metod má své výhody a nevýhody. Při její volbě je nutné mít na mysli to, aby zvolená metoda zaručovala požadovanou přesnost a byla dostatečně rychlá. Zkoušky mohou být provedeny jako krátkodobé nebo dlouhodobé. Výhodnější jsou zkoušky dlouhodobé, při kterých lze porovnávat procesní kapaliny mezi sebou, nebo srovnávat zkoušky s chlazením a bez chlazení.¹

Volba pracovní metody pro provozní zkoušku vychází především z druhu procesní kapaliny. Procesní kapaliny se dají zkoušet soustružením, vrtáním, frézováním a broušením. U těchto metod obrábění lze ještě rozlišit, zda procesní kapalina je vhodná pro hrubování, nebo dokončování. Jako zkušební zařízení se používají stroje s dostatečnou tuhostí soustavy stroj-nástroj-obrobenek. Velmi se osvědčili stroje s plynulou regulací otáček.¹

Obráběný materiál může být zvolen jakýkoliv. Obvykle se volí ocel 12 050.1 normalizačně žíhaná. Výsledky zkoušek se zpracovávají v diagramech závislosti T-v (viz. obr. 3.1). Zkoušky procesních kapalin broušením mají svá určitá úskalí především pro některé zvláštnosti řezného pochodu. Jsou to: různá velikost brousícího zrna, ne dost tuhé uchycení

obrobku, zrna brousícího kotouče apod. Hlavní funkce procesní kapaliny při broušení je dokonalé chlazení a odvod tepla z obrobku.¹



Obr. 3.1 T-v závislosti pro soustružení oceli 12 050.1¹

Významným požadavkem na procesní kapalinu je odstraňování brousícího odpadu, aby se zabránilo zanášení pracovní plochy brousícího kotouče a znečišťování obrobeného povrchu. Při zkouškách procesních kapalin při broušení se hodnotí struktura povrchu, vyhřátí povrchu a příkon elektromotoru.¹

4 PŘÍVOD PROCESNÍ KAPALINY DO MÍSTA ŘEZU

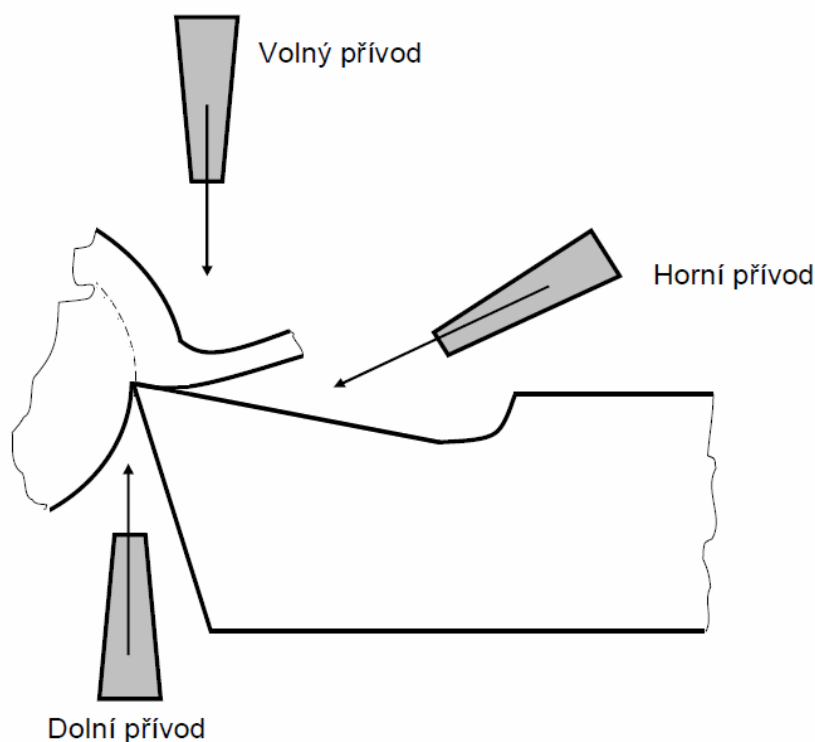
Praktické zkušenosti ukazují, že způsob přívodu procesní kapaliny do místa řezu významně ovlivňuje jak trvanlivost nástroje, tak i jakost obrobeneé plochy.¹

V posledních letech se objevuje na trhu mnoho nových způsobů přívodu procesní kapaliny. Jedná se především o tlakové chlazení, podchlazování procesní kapaliny, chlazení mlhou, chlazení vzduchem, chlazení kyslíčnickem uhličitým, vnitřní chlazení, chlazení dvěma kapalinami při broušení apod. Podstatou všech těchto metod je zvětšení chladícího a mazacího účinku procesní kapaliny.¹

Zavádění nových způsobů chlazení a jejich využívání dává možnosti zvyšovat výkon obrábění i jeho hospodárnost. Při ekonomickém hodnocení nových způsobů chlazení je třeba mít na mysli to, že tyto způsoby by měly být využívány hlavně tam, kde přívod procesní kapaliny běžným způsobem nezabezpečuje požadovanou trvanlivost nástroje, nebo tam, kde se běžný způsob chlazení nedá použít. U většiny způsobů obrábění se procesní kapalina přivádí do míst řezání za strany povrchu obrobku.¹

Procesní kapalina zasahuje svým účinkem nejdříve třísku a obrobek a potom nástroj. Tento způsob přívodu procesní kapaliny nevyžaduje žádnou úpravu přívodního potrubí a vystačí s úpravou dodávanou výrobcem ke každému obráběcímu stroji. Toto zařízení je tvořeno nádrží na řeznou kapalinu, čerpadlem a rozvodovým potrubím. Množství dodávané procesní kapaliny je dáno typem čerpadla a škrcením průtoku výstupním kohoutem.¹

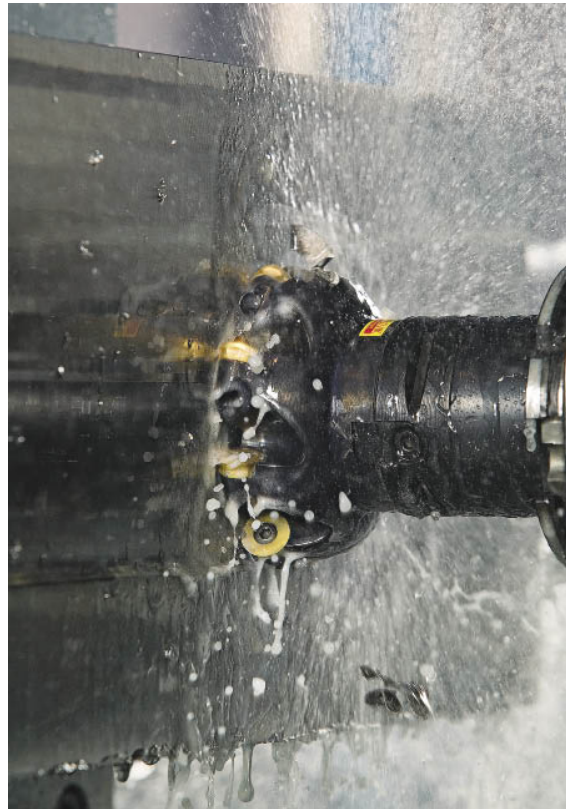
Variantně se upravuje poloha výstupu procesní kapaliny z výstupní trysky, jak je naznačeno na obr. 4.1.



Obr. 4.1 Varianty přívodu procesní kapaliny do místa řezu²

4.1 Chlazení nástrojů se slinutými karbidy

Slinuté karbidy špatně snášejí rychlé změny teploty. Tyto změny způsobují trhliny na řezné části slinutého karbidu. Při dostatečném přívodu procesní kapaliny ale toto nebezpečí nehrozí a opotřebení slinutých karbidů probíhá stejně jako bez chlazení. Dnes se obrábí nástroji ze slinutých karbidů bez chlazení, ale na obráběcích centrech, kde pracují současně nástroje z rychlořezné oceli, se používá chlazení i u nástrojů se slinutými karbidy (viz. obr. 4.2).¹



Obr. 4.2 Chlazení nástroje s destičkami ze SK¹⁸

4.2 Tlakové chlazení

Při tlakovém chlazení je procesní kapalina přiváděna do místa řezu pod vysokým tlakem. Průměr výstupní trysky bývá 0,3 až 0,5 až 1mm a tlak 0,3 až 3 MPa. Procesní kapalina je přiváděna zespodu na bořit nástroje přímo do místa řezu. Tento způsob chlazení je vhodný tam, kde vzniklé teplo má prokazatelně špatný vliv na trvanlivost nástroje. Množství přiváděné kapaliny se pohybuje v rozmezí 0,5 až 2 l/min.¹

Jedním z nedostatků této metody je to, že se procesní kapalina rozstříkuje a tvoří mlhu. Je třeba řešit otázku krytů, aby se zabránilo znečišťování pracovního prostředí.¹

4.3 Chlazení mlhou

K tlakovému chlazení je možno přiřadit i chlazení mlhou. Velmi dobrého odvodu tepla z místa řezání se dosáhne tím, že rozpínající se vzduch obsahuje částičky procesní kapaliny a tím má větší schopnost přejímat vzniklé teplo. Výsledky publikovaných zkoušek ukazují na podstatné zvýšení výkonu obrábění a úsporu procesní kapaliny.¹

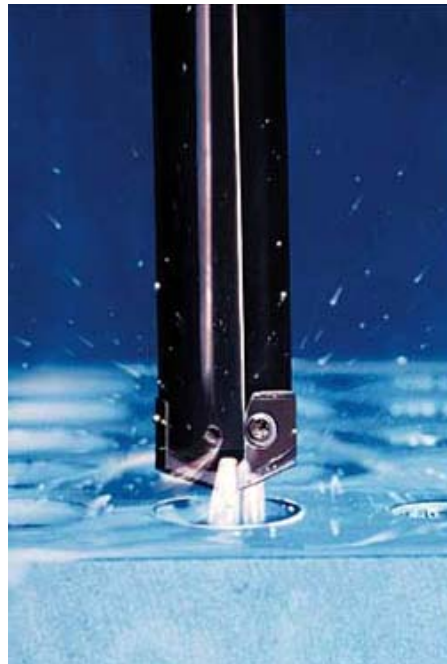
4.4 Podchlazování procesní kapaliny

Podchlazování procesní kapaliny na teplotu nižší než je teplota okolí také přispívá ke zvýšení trvanlivosti nástrojů. Běžné druhy procesních kapalin mohou být při zachování mazacích vlastností podchlazeny na 5 až 7 °C, oleje potom na 15 až 20 °C. Podchlazení na nižší teploty je omezeno stálostí procesní kapaliny u emulzí a houstnutím u řezných olejů.¹

Snížení teploty procesní kapaliny na teploty pod bodem mrazu znamená, že je nutné použít jiné složení procesní kapaliny. Takováto úprava může přinést zvýšení výkonu obrábění.¹

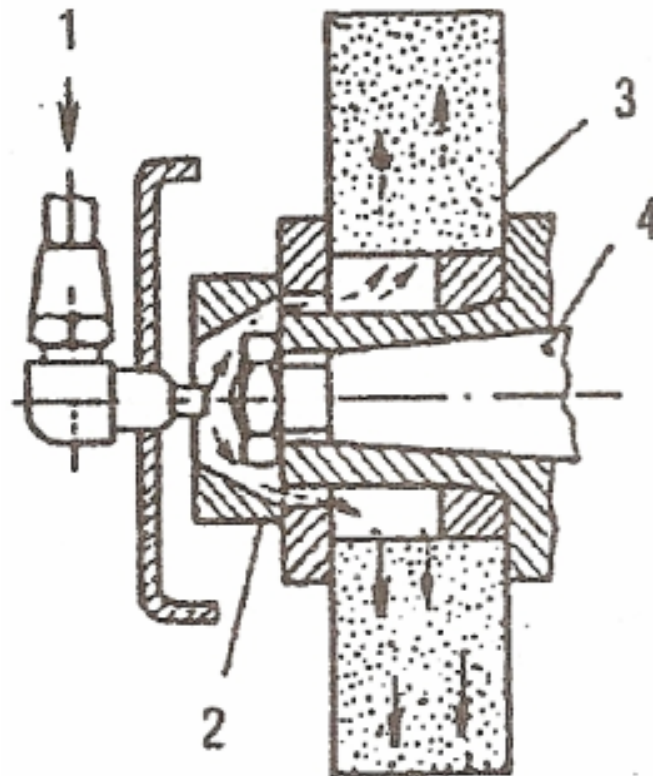
4.5 Vnitřní chlazení

Vnitřní chlazení je metodou, která také přináší zvýšení výkonu obrábění. Při soustružení je tato metoda vhodná pro nástroje se slinutými karbidy. Tím se dá zvýšit řezná rychlost o 5 až 15 %. U vrtáku je vnitřní chlazení upraveno tak, že procesní kapalina je přiváděna až do místa řezu. Tohoto způsobu chlazení se využívá při vrtání hlubokých děr (viz. obr. 4.3) a při vrtání těžkoobrobitelných materiálů. Také zvýšení tlaku procesní kapaliny přiváděné do místa řezu vede ke zvýšení výkonu obrábění a případně k lepšímu odvodu třísek.¹



Obr. 4.3 Vnitřní chlazení při hlubokém vrtání¹³

Vnitřní chlazení se dá využít i při broušení. Procesní kapalina je přiváděna do příruby brousícího kotouče a odstředivou silou postupuje přes póry v kotouči až do míst styku brousícího kotouče s obrobkem (viz. obr. 4.4). Vnitřní chlazení zlepšuje strukturu povrchu obrobené plochy a zvětšuje i trvanlivost kotouče. Při tomto způsobu chlazení je nutné zajistit dokonalé čištění procesní kapaliny.¹

Obr. 4.4 Vnitřní chlazení brousícího kotouče²

1 – přívod emulze, 2 – příruba, 3 – brusný kotouč, 4 - vřeteno

Pro toto chlazení se doporučuje trojí filtrace: usazování, čištění běžným filtrem a čištění filtrem k odstranění mikročástic. Bez této filtrace dochází k zanášení brousícího kotouče. Doporučení chladit dvěma kapalinami znamená, že vnějškem je přiváděna jedna procesní kapalina (emulze) a vnitřkem je přiváděn olej. Výhodou tohoto uspořádání je dobrý chladicí účinek emulze se současným dobrým mazacím účinkem oleje.¹

4.6 Chlazení plynnými látkami

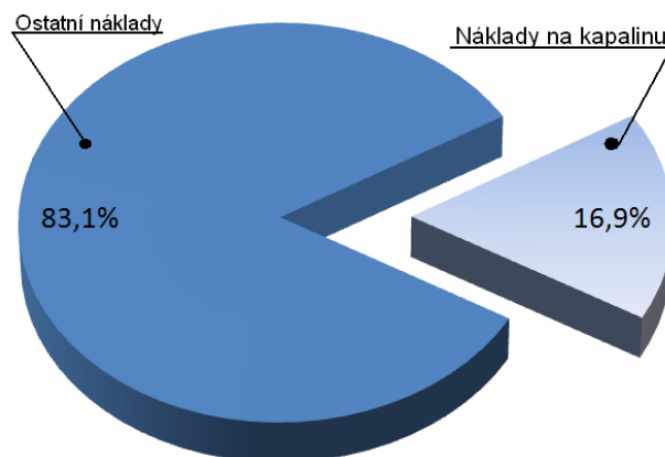
Chlazení plynnými látkami jako chladivem se dnes běžně nevyužívá. U některých obráběných materiálů se chladí vzduchem. Podchlazování vzduchem nepřineslo velké úspory. Všechny plynné látky mají mnohem menší chladicí účinek.¹

Jedním z účinných způsobů chlazení plynem je chlazení stlačeným CO₂. Tento způsob je doporučován jako vhodný při obrábění těžkoobrobitelných materiálů. Tenký paprsek plynu se přivádí do místa řezu pod tlakem 0,5 až 0,7 MPa.¹

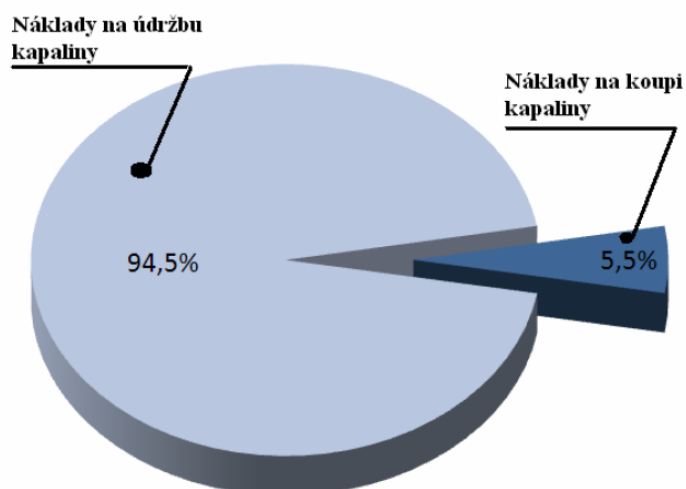
Tato metoda, i když přináší možnost zvýšení výkonu obrábění, má řadu nevýhod. Vysoké náklady na CO₂ a jisté nebezpečí při jeho používání. Vyžaduje se totiž dokonalé odsávání a větrání pracoviště.¹

5 PROVOZNÍ ČINNOSTI SPOJENÉ S POUŽITÍM PROCESNÍCH KAPALIN

Náklady spojené s provozní činností za použití procesních kapalin jsou mnohem větší než samotná pořizovací cena procesních kapalin (viz. obr. 5.1, 5.2).



Obr. 5.1 Náklady na provoz kapalin ve výrobě ⁴



Obr. 5.2 Související náklady kapalin ⁴

5.1 Ošetřování procesních kapalin v provozu

Optimální účinek procesní kapaliny je dosažitelný jen za předpokladu, že vlastnosti procesní kapaliny se nezmění po dobu jejího využívání. V provozu jsou ale procesní kapaliny vystaveny různým vlivům, které se projeví tak, že procesní kapalina stárne. Přestane-li mít procesní kapalina požadované vlastnosti, je nutné ji vyměnit. ¹

Výměna náplně procesní kapaliny ale znamená zatížení výroby dalšími náklady. Tyto nově představují náklady na čištění, náklady na výměnu, náklady na likvidaci. Obecnou snahou je, co nejvíce prodloužit dobu výměny procesní kapaliny. K tomu slouží její pravidelná kontrola, ošetřování a čištění. ¹

Stárnutí procesních kapalin znamená změny jejich vlastností, způsobené okysličováním, účinkem tepla, tlakovým zatížením v čerpadle, nečistotami, vniknutím jiných kapalin apod.¹

Nejrychlejší změnám podléhají v provozu kapaliny připravené na vodní bázi. Voda se totiž snadno odpařuje a také snadno podléhá napadení anaerobními bakteriemi. Tento proces vede k nestabilitě a rozvrstvení emulze, což má za následek ztrátu mazacích a ochranných vlastností. Také napadení bakteriemi způsobí rozpad emulze velmi rychle. Procesní kapaliny na bázi oleje jsou v provozu daleko stářejší. Průběh stárnutí je pomalý a projevuje se zvětšováním kyselosti oleje, později tvorbou pryskyřičných látek. U čistě minerálních olejů se tento jev neobjevuje.¹

Provozní kontrola stárnutí procesní kapaliny musí být jednoduchá. To se omezuje na posouzení vzhledu, pachu a vzhledu povrchu omývaného procesní kapalinou. Nestačí-li toto posouzení, následuje zkouška na zjištění korozivnosti kapaliny.¹

Nejsnadněji se pozná změna jakosti kapalin u emulzních typů. 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. Kritickým stavem, kterého by samozřejmě nemělo být dosaženo, jsou skvrny rzi na plochách stroje. Kontrola se provádí indikačními papírky. Klesne-li hodnota pH na 7,5, je nutné procesní kapalinu upravit přidáním základní emulze.¹

Problémem zůstávají procesní kapaliny napadené bakteriemi. Tomu lze zabránit baktericidními přísadami, které ale nemusí mít příznivý vliv na stabilitu procesní kapaliny. Nejúčinnějším postupem je čištění emulze, dezinfekce nádrže, provzdušňování emulze, nebo její sterilizace ohřátém nad 70 °C. Množení bakterií lze zabránit i zvýšením alkality emulze na hodnotu pH 9 až 9,5. Pro řezné oleje neexistuje jednoduchá provozní kontrola. Vniknutím vody do oleje se projeví hustou emulzí.¹

Stupeň stárnutí řezného oleje se musí provést laboratorní zkouškou vzorku oleje. Řezné oleje stárnou velmi pozvolna. Stálým doplňováním úbytku procesní kapaliny je tato plynule obcerstvována.¹

5.2 Výměna náplně procesní kapaliny

Za provozu dochází k poměrně velkému úbytku procesní kapaliny v důsledku odpařování, rozprašování a odvodem na třískách. Tento úbytek činí na jednu pracovní směnu 8 až 9 % u vodních roztoků, 5 až 7 % u emulzí a 0,5 až 0,7 % u olejů. Nejčastější výměnu vyžadují roztoky a emulze.¹

U soustruhů, vrtaček, frézek je výměna nutná po 6 až 8 týdnech, u brusek po 2 až 4 týdnech. Delší doba přísluší jednosměnnému provozu, kratší doba pak provozu několikasměnnému. Při centrálním rozvodu, kdy se provádí dokonalejší čištění je doba výměny až dvojnásobná. Při obrábění litiny a mosazi se tato doba výměny zkracuje. Lhůta pro výměnu olejových náplní je delší. Při jednosměnném provozu postačí výměna po jednom roce, při vícesměnném provozu po 6 měsících.¹

5.3 Čištění procesních kapalin

Nečistoty, které se dostávají do procesní kapaliny, negativně ovlivňují výslednou strukturu obrobené plochy a mají vliv i na trvanlivost nástroje. To se výrazně projevuje především u dokončovacích operací. Nečistoty lze odstranit pouze dokonalou filtrací a čištěním procesní kapaliny. Dokonalé čištění se kladně projeví hlavně při broušení.¹

Dokonalé čištění je nutné také tam, kde je procesní kapalina přiváděna do místa řezání malým průměrem vstupního otvoru a také při vnitřním chlazení brousících kotoučů. U těchto způsobů přívodu procesní kapaliny již 0,05 % obsahu nečistot způsobuje zanášení porů brousícího kotouče, nebo zmenšuje průtok kapaliny brousícím kotoučem.¹

Procesní kapaliny se čistí dvojitým způsobem: dlouhodobým usazováním, nebo filtrací. Usazování procesní kapaliny v nádrži po jejím odvodu z místa řezu je nejjednodušším způsobem čištění procesní kapaliny. Usazování ale probíhá nerovnoměrně a pomalu. Pro dokonalé usazení procesní kapaliny je nutný jeden den. V prvních minutách se sice usadí hrubé nečistoty, ale potom se celý proces velmi zpomaluje.¹

Většího účinku při usazování se dá dosáhnout uplatněním odstředivek. Tím se dají odstranit nečistoty a do 0,5 %.¹

Magnetické filtry zaručují odstranění všech kovových nečistot a vyrábí se jako průtokové nebo rotační.¹

Elektromagnetické rotační filtry mají výkon 40 až 50 l/min. Tyto filtry nezaručují vyčištění procesní kapaliny od uvolněných zrn brousícího materiálu, a proto jsou často spojovány s filtry mechanickými.¹

U povrchových mechanických filtrů se nečistoty zachycují na povrchu filtračního materiálu, kterým je filtrační papír, plátno nebo sítko. Výkon těchto filtrů je až 100 l/min. Filtrační papír zachycuje nečistoty větší než 1 μm . Účinnější jsou plátna vyráběná z umělých látek.¹

Centrální rozvod procesní kapaliny a její čištění se uplatňuje tam, kde pracuje větší počet obráběcích strojů se stejným druhem procesní kapaliny. Úprava centrálního čištění je snazší a jednodušší pro provoz i obsluhu. Procesní kapalina se dá také snáze kontrolovat. S centrálním rozvodem a čištěním procesní kapaliny je možné se setkat v provozech s velkým počtem brousících strojů¹

Příklad moderního stroje pro čištění procesních kapalin je na obr. 5.3.



Obr. 5.3 Systém čištění procesních kapalin od firmy Mayfran⁶

6 VOLBA PROCESNÍ KAPALINY PODLE DRUHU PRÁCE A PRACOVNÍCH PODMÍNEK

Výběr procesních kapalin se provádí s ohledem na obráběný materiál, způsob obrábění a pracovní podmínky. Protože je možné volit nejružnější druhy procesních kapalin v různé koncentraci a nelze odzkoušet všechny existující druhy, je to úkol velmi obtížný. Je ale možné stanovit obecné zásady a směry, kterými je třeba se řídit při výběru určitého druhu procesní kapaliny.¹

První skupina charakteristik podmiňující výběr procesní kapaliny tvoří vlastnosti, které mají přímý vliv na trvanlivost nástroje, na jakost obrobené plochy, na rozměrovou a tvarovou přesnost, na řezný odpor, na příkon stroje a ekonomii výroby.¹

Druhou skupinu tvoří provozní vlastnosti, a to z hlediska jejich použití přímo na stroji. Jsou to: stálost, vliv na nátěr stroje, snadná příprava apod. Vlastnosti obou skupin musí být posuzovány společně. Jen tak se dá posoudit vhodnost každé procesní kapaliny.¹

6.1 Další kritéria při volbě procesní kapaliny

Při hrubování a polohrubování má procesní kapalina především prodloužit trvanlivost nástroje a zmenšit i příkon stroje snížením řezných sil. Příkon stroje snižují nejvíce řezné oleje, ale mají zase malý vliv na trvanlivost nástroje.¹

Běžné emulze při těchto operacích nemají výrazný vliv na snížení řezných sil. Pokud by se měl projevit jejich vliv na snížení řezných sil, musela by být jejich koncentrace 10 až 15 %. Z hlediska trvanlivosti se ale vystačí s koncentrací do 5 %. Daleko významnější je funkce procesní kapaliny při dokončovacích operacích, kdy ani tak nejde o dodržení trvanlivosti nástroje, ale především o dosažení vysoké jakosti obrobené plochy.¹

Při malých řezných rychlostech je výhodné použít řezný olej, nebo vysoce aditivované emulze. Při vyšších řezných rychlostech je výhodnější použít emulze v koncentraci 3 až 5 %.¹

Při volbě procesní kapaliny z hlediska materiálu platí následující pravidla. Zvětšuje-li se pevnost obráběného materiálu, dochází k většímu namáhání břitu nástroje a je proto nutné volit takovou procesní kapalinu, která má vyšší koncentraci nebo přísady, které zaručují vyšší pevnost mazací vrstvy. U materiálů s horší tepelnou vodivostí je třeba volit procesní kapalinu, která zaručuje pevnost mazací vrstvy i za vyšších teplot.¹

Při volbě procesní kapaliny podle metody obrábění je nutné přihlížet k požadavkům na trvanlivost nástroje nebo jakost obrobené plochy.¹

Při *soustružení* jde zejména o dodržení trvanlivosti nástroje. Tomuto požadavku nejlépe vyhovují emulze. Při tvarovém soustružení, kdy tvarový nůž má vedle tvaru zabezpečit i dokonalou jakost obrobené plochy, je vhodné volit procesní kapalinu s dobrými mazacími účinky, tj. řezný olej nebo emulze o vyšší koncentraci, případně emulze s přísadami.¹

Při *vrtání* se využívá účinku procesní kapaliny jednak k prodloužení trvanlivosti vrtáku především u běžného vrtání, a jednak k vyplavování třísek po vrtání hlubokých děr. Pro tyto operace se používá řezný olej.¹

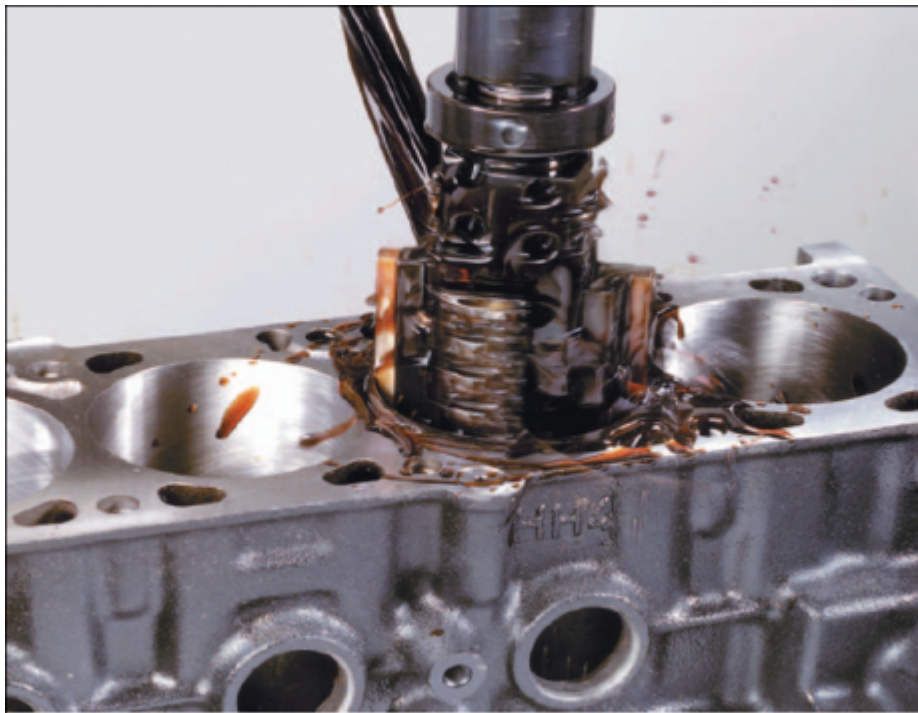
Při *frézování* půjde především o prodloužení trvanlivosti fréz a zmenšení tření. Doporučují se proto emulze.¹

Při *protahování* je nástroj silně namáhán a navíc se požaduje dokonalá jakost opracované plochy. Při malých rychlostech se vystačí s emulzí o koncentraci 5 až 10 %, ale většinou se používají řezné oleje.¹

Řezání závitů je náročná operace, při které se vyžaduje dodržení profilu závitu i jakost povrchu. Proto je volba procesní kapaliny velmi důležitá. U běžných materiálů se dá použít emulze s přísadou aktivních látek, nebo řezný olej. Při řezání závitů do nesnadno obrobitelných materiálů se používají oleje s přísadami, nebo oleje rostlinné.¹

Při *broušení* vzniká vysoká teplota, která přechází do obrobku. Proto procesní kapalina použitá při broušení musí mít dobrý chladicí účinek. Pro běžné broušení se používají emulze o koncentraci do 5 %. Pro broušení speciálních tvarů, jako jsou závity nebo ozubená kola, se jako procesní kapalina používají řezné oleje.¹

Při *honování* (obr. 6.1) má procesní kapalina dvě funkce. Jedna odvádět teplo, které vzniká při pohybu honovací hlavy, jednak vyplachovat z brousících kamenů částičky obráběného materiálu. Při honování ocelí se doporučuje směs oleje, nebo také emulze o koncentraci 5 až 10 %.¹



Obr. 6.1 Chlazení řezným olejem při honování¹⁹

Pro *superfinašování* se používá směs oleje. Snahou je její náhrada vodnými roztoky vhodně upravenými pro superfinašování.¹

Přehled doporučených procesních kapalin pro různé metody obrábění je uveden v *Příloze 1*. V *Příloze 2* jsou uvedena množství procesní kapaliny pro různé metody obrábění.¹

7 BEZPEČNOST PŘI PRÁCI S PROCESNÍMI KAPALINAMI

Většina procesních kapalin není zdravotně a požárně zabezpečena. Tyto skutečnosti často vedou k přehlížení opatření, která jsou nutná pro dokonalý a nezávadný provoz.¹

Protipožární bezpečnost pro procesní kapaliny je nejméně náročná. Řezné oleje sice hoří, ale za podmínek, za kterých se v provozu používají, netvoří zápalné nebo výbušné směsi. Nevznítí se ani při krátkodobém styku s otevřeným plamenem.¹

K jejich vznícení dochází až při teplotách kolem 400 °C. Výjimkou jsou jen velmi lehké oleje, které mají bod vzplanutí kolem 125 °C. Velmi nebezpečné je používání petroleje. K jeho samovznícení dochází asi při 255 °C, ale velmi snadno vzplanou jeho páry.¹

Ze zdravotního hlediska je k práci s procesními kapalinami daleko více připomínek. Možnost škodlivého účinku je dána tím, že při práci s procesní kapalinou se dostává do styku pokožka pracovníků, nebo se mohou rozprášené kapičky procesní kapaliny dostat i do dýchacího ústrojí obsluhovatele.¹

Nejmenší nebezpečí ze zdravotních závad je při používání minerálních olejů. Při hrubovacích operacích se mohou ale výpary olejů s některými přísadami, které se uvolňují teplem, působit nepříznivě na dýchání.¹

Při práci s emulzí může, ale jen zřídka, vzniknout kožní onemocnění. Nejlepší ochranou proti onemocnění pokožky je její preventivní ochrana. Touto ochranou je udržování pokožky v čistotě a zabránění přímému styku s dráždivými látkami. K preventivní ochraně přispívá také pravidelná kontrola procesní kapaliny a výměna znečištěných, nebo vadných náplní stroje.¹

Na obr. 7.1 je obráběcí centrum od firmy Yamazaki Mazak.



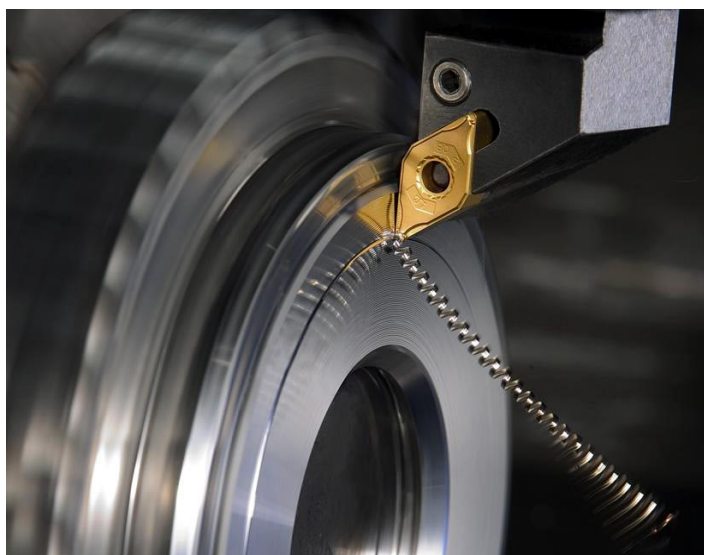
Obr. 7.1 Multifunkční obráběcí centrum²¹

8 OBRÁBĚNÍ ZA SUCHA

Většina obráběcích operací se provádí při dokonalém chlazení a mazání, tj. s přívodem procesní kapaliny. Náklady na likvidaci těchto kapalin po jejich využití rostou, a tak se objevuje nová strategie, zaměřená na snižování množství procesních kapalin na výrobních linkách. Snaha vyrovnat se s touto skutečností a omezit problémy s likvidací procesních kapalin vede k uplatňování obrábění za sucha – bez chlazení (obr. 8.1). Takovéto tendence se mohou uplatnit jen tehdy, bude-li zaručeno, že obrábění bez chlazení zabezpečí stejnou jakost obrobků a stejný čas na jejich opracování jako při chlazení.¹

Při obrábění se používá procesních kapalin naprosto běžně. To umožňuje dosahovat potřebné výsledky v trvanlivosti nástrojů, v jakosti obrobku, tj. v jeho rozměru, tvaru i struktuře povrchu. Přívod procesní kapaliny současně přispívá i k lámání a odvodu třísky.¹

Procesní kapaliny a jejich využívání a likvidace vyvolávají velké ekologické problémy a také problémy zdravotní i bezpečnosti práce a ochrany pracovního prostředí. To samozřejmě vede k vyšším ekonomickým nákladům.¹



Obr. 8.1 Soustružení za sucha¹⁴

Náklady na aplikaci procesních kapalin

K objasnění problematiky používání procesních kapalin za současných ekonomických a výrobních podmínek byla provedena řada studií, jejichž výsledky byly např. publikovány v odborném časopisu *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 euro. Z koncentrátů se navíc připravují další stovky tisíc tun procesních emulzí. Jaká ekologická nebezpečí a jaké další nepřímé náklady pro výrobu jsou za tímto faktem skryty, si lze již snadno domyslet. Analýzy rovněž ukázaly, že jen málo firem si vede přesné záznamy o nákladech (investice, náklady na zařízení 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 procesních kapalin na transferových obráběcích linkách se často pohybují mezi 7 a dokonce až 17 % výrobních nákladů vztažených 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 %. V běžných provozech však náklady na procesní kapaliny obvykle nepřekračují 5 %. Rovněž nelze zanedbat ani další zvýšení nákladů spojené se zpracováním třísek obsahujících zbytky procesních kapalin a s čištěním hotových obrobků od nich.⁷

Uvedené skutečnosti signalizují nárůst negativních stránek používání umělých procesních prostředí a tím potřebu jejich vyloučení. Rovněž z hlediska přímých i nepřímých nákladů na obrábění se ukazuje, že aplikace obrábění za sucha je již za současných podmínek v řadě případů výhodnější než obrábění s používáním umělých procesních prostředí. Technické předpoklady pro takové podmínky obrábění již existují.⁷

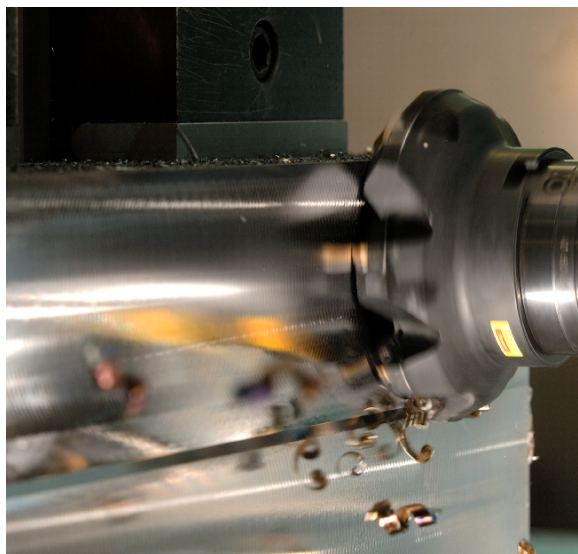
Podmínky obrábění

Pro možnost uplatnění obrábění za sucha v určitém výrobním případě je vždy nezbytné podrobně analyzovat všechny důsledky z toho vyplývající. Je třeba si uvědomit, jaké pozitivní účinky vlastně procesní kapaliny přinášejí do řezného procesu a že je pak nutné při obrábění za sucha je více či méně nahradit nějakými jinými opatřeními.⁷

8.1 Nahrazení účinků procesních kapalin při obrábění za sucha

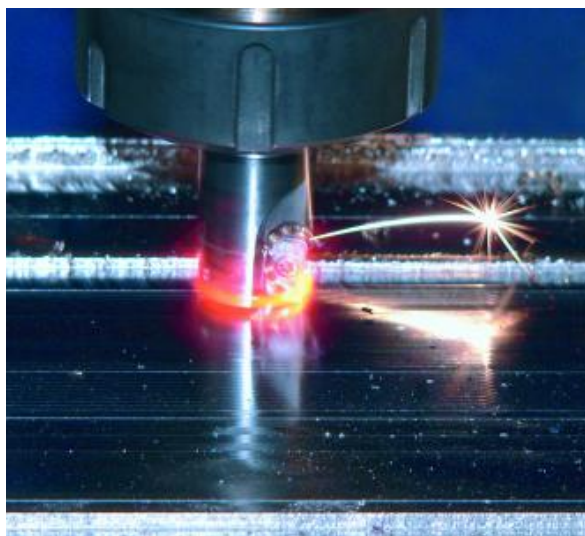
Minimalizace množství tepla

Absence temperování obrobku procesní kapalinou při obrábění za sucha, zvláště u dokončovacích operací, při nichž je nutné zabránit tepelným 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/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 čelem 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 procesní 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 v podstatě současný sortiment řezných materiálů.⁷

Obr. 8.2 Frézování za sucha¹⁵

Ochlazování třísek

Zmínka o ochlazování třísek v předchozím obrázku, které jsou vlastně odpadem již při jejich vzniku, vzbudí na první pohled úsměv. Avšak 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 za sucha je přímé ochlazování třísek okolním vzduchem (přirozeným procesním 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 tak, aby nedocházelo při obrábění za sucha k jejich zahlcování třískami.⁷

Obr. 8.3 Obrábění titanové slitiny Ti6Al4V v režimu HSC²⁰

Nízký koeficient tření

Zajištění nízkého koeficientu tření mezi obrobkem (třískou, plochou řezu) a břitem i při nepoužití procesních kapalin, a tím i zmenšení objemu tepla vznikajícího ze tření, lze dosáhnout např. vhodným typem ochranné vrstvy nanesené na břit. Chybějící antiadhezní a antidifuzní ochranné účinky procesních kapalin se při obrábění za sucha nahrazují adhezně a difuzně vhodnějšími a odolnějšími řeznými materiály nebo vrstvami, o kterých bude pojednáno dále.⁷

Odplavování třísek

Chybějící čistící účinek procesní 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 poškození 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 odfukováním třísek tlakovým vzduchem. Při odfukování však vzniká nebezpečí v zafukování kovového prachu např. do ložisek, vodicích 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 za sucha 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.⁷

Vyšší trvanlivost břítu

Používání procesních kapalin však může mít z hlediska řezného procesu i negativní účinky, které se tak při obrábění za sucha vyloučí. Vlivem přerušovaného řezu, např. při frézování, vzniká velmi intenzivní střídavé tepelné zatěžování břítu 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 břítu. Použitím obrábění za sucha lze proto v těchto případech dosáhnout i vyšší trvanlivosti břítu. Mimo jiné se z tohoto důvodu např. vysokorychlostní (HS) frézování provádí téměř vždy za sucha (obr. 8.2, 8.3). Možnosti uplatnění obrábění za sucha a tím i specifikace požadavků na proces, jsou závislé také na konkrétní kombinaci obráběcího 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 ořez břítu. 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 obráběcího materiálu se proto vyskytují zřetelné rozdíly v trvanlivosti břítu mezi obráběním s procesní kapalinou a za sucha.

U většiny materiálů se při frézování za sucha dosahují vyšší trvanlivosti břítu než při obrábění s procesní kapalinou z výše popsaných důvodů. Pouze při frézování hliníku může být trvanlivost břítu výrazně nižší vlivem vysoké adheze materiálu obrobku (třísky) na břit. Při soustružení a vrtání za sucha se zpravidla dosahují nižší trvanlivosti břítu než při použití procesních 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. Procesní kapalina tak mění pouze teplotní pole nástroje, ale samotný břit prudce neochlazuje.⁷

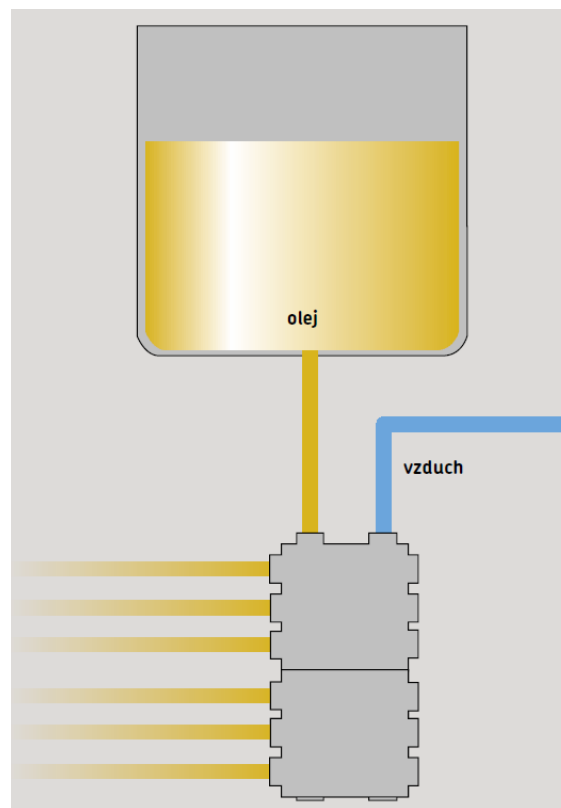
Zlepšení obrobiteľnosti

Vytvoření jistých pozitivních předpokladů pro nasazení obrábění za sucha lze docílit i na straně obráběných materiálů, např. zlepšením jejich obrobiteľnosti. Jednou ze známých metod jejího zlepšení je používání např. vhodných dezoxidáčnických 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 břitu se tím může zvýšit až o 400 %.⁷

Tvarově přesné polotovary

Snížení množství vznikajícího tepla a tím i tepelného zatížení obrobku se však může dosáhnout i dalšími opatřeními z oblastí mimo vlastní řezný proces. Nejčastěji je to používáním polotovarů tvarově podobnějších hotovému obrobku, tj. přesných výkovek, odlitků apod. Taková technologie se nazývá "Near-Net-Shape-Technology". Zmenší se tím objem obráběného materiálu a logicky i celkově vzniklé množství tepla.⁷

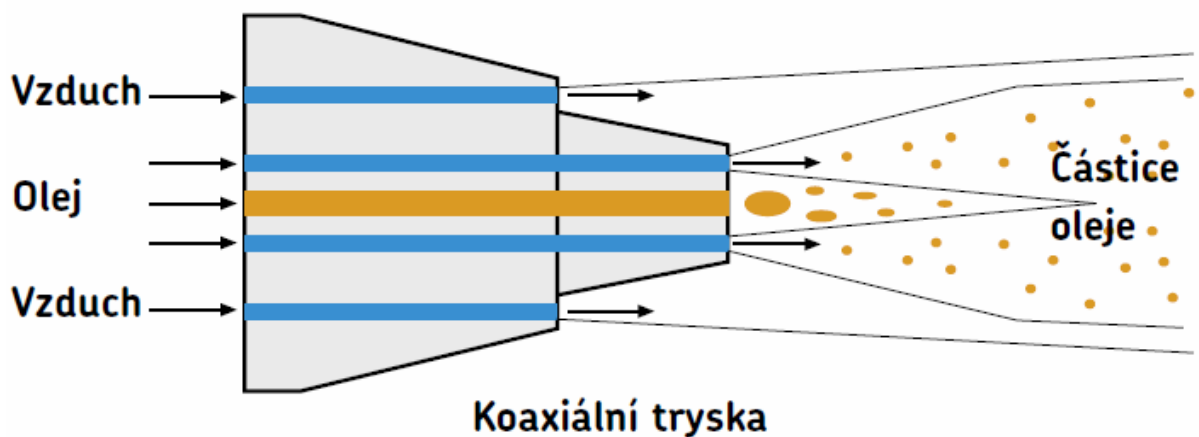
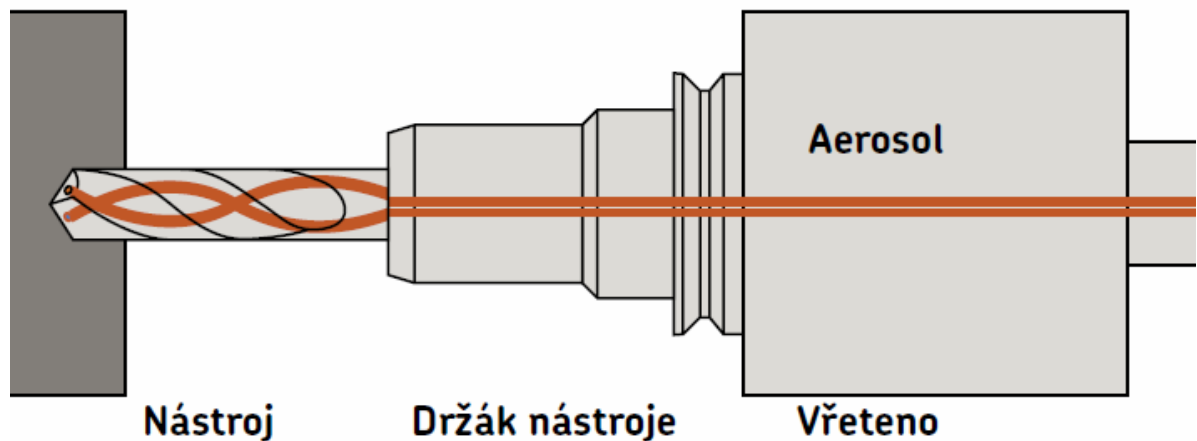
8.2 Metoda minimálního množství procesní kapaliny (MQL)



Obr. 8.3 Základní princip metody MQL⁸

Tam, kde není možné obrábět zcela za sucha z dříve uvedených důvodů, např. u hliníku a jeho slitin, je výhodné aplikovat metodu používání minimálního množství procesní kapaliny, tj. MQL (Minimal Quantities of Lubricant). Je to nová varianta u nás již dříve známého mazání mlhou (obr. 8.3). Existuje řada případů obrábění, které by nebyly ekonomicky proveditelné bez MQL metody. Je-li přístroj pro MQL optimálně seřízen, spotřebuje se méně než 50 ml média na hodinu obrábění. Proto nástroje, obrobky i třísky zůstávají prakticky suché, tudíž nejsou nutné další technologické pochody pro odstranění procesních kapalin z

třísek nebo z obrobků. Metoda MQL sice může být rovněž považována za obrábění za sucha, přesto však vznikající aerosol může vyvolat problémy s hygienou pracovního prostředí. Proto se většinou vyžaduje dobré utěsnění pracovního prostoru obráběcího stroje od okolí a odsávání vzniklého aerosolu přes účinné filtry. Samozřejmě to zapříčiní zvýšení investičních nákladů. Metoda se používá zvláště při vrtání, vystružování a řezání závitů do šedé litiny, oceli a slitin hliníku, dále také při čelním frézování především slitin hliníku a při hlubokém vrtání (obr. 8.4, 8.5). Je možno ji aplikovat i v takových případech soustružení oceli, kdy břit nože je dobře přístupný z boku (ortogonální řezání) a použitím MQL se sníží koeficient tření i teplota řezání oproti čistému obrábění za sucha nebo konvenčnímu chlazení.⁷

Obr. 8.4 Externí mazání MQL⁸Obr. 8.5 Mazání MQL vnitřkem nástroje⁸

9 PROCESNÍ KAPALINY DOSTUPNÉ NA TRHU

V této kapitole následuje výčet některých procesních kapalin od firmy Chesterton. Ke každému typu kapaliny jsou uvedeny základní vlastnosti a vhodnost použití.

386 BRUSNÁ KAPALINA

Popis

Kapalina pro broušení Chesterton 386 Grinding Fluid je plně syntetická chladicí kapalina nejvyšší kvality určená pro zajištění maximální produktivity a nejvyššího gyromagnetického poměru s minimálními prostoji díky zátěži kotouče, výměně jímky a selektivnímu vynášení klíčových výkonnostních přísad.²²

Málo pěnicí výrobek bez obsahu oleje se ideálně hodí pro všechny brusné aplikace, včetně vysokotlakých požadavků bezhrotého broušení.²²

Jsou-li všude v dílně využívány klasické rozpustné olejové emulze, jsou často aplikovány i pro broušení. To vede k daleko větší zátěži kotouče, než je nutné, z důvodu zachycení třísek v částicích olejové emulze. Kotouče pak musí být častěji měněny, aby zajistily požadovaný výkon.²²

Kromě toho, jelikož tření vznikající při broušení značně překračuje tření při běžných řezných aplikacích, je mnohem důležitější než kdykoliv jindy, aby byl zajištěn co možná nejúčinnější odvod tepla. Plně syntetická kapalina toho dosahuje mnohem lépe, než kterýkoli výrobek s obsahem oleje.²²

Složení

Kapalina pro broušení 386 se vyznačuje maximální kompatibilitou s vysoce výkonnými brusnými kotouči a pracovními materiály obsahujícími významná množství posilujících mikrosložek, jako je kobalt. U mnoha řezných kapalin se může kobalt z řezného kotouče nebo odřezávaných kovů vyluhovat a způsobovat tak nežádoucí úroveň tohoto potenciálně alergenního a nezdravého prvku. Kapalina 386 je koncipována tak, aby tento potenciál pasivovala a nezpůsobovala vyluhování ani při nejextrémnějších tlacích a teplotách, kterým bude kotouč pravděpodobně vystaven.²²

Vlastnosti:

- Plně syntetická
- Lze docílit vysoké gyromagnetické poměry (odběr kovu/ztráta kotouče)
- Maximální odlučitelnost oleje; vynikající odloučení zbytkového oleje
- Čirá, průhledná kapalina
- Vynikající odvod tepla
- Vysoký detergentní účinek; minimalizuje zátěž kotouče
- Vynikající usazení jemných částic; poskytuje nejlepší úpravy povrchu
- Biologicky rozložitelná
- Neobsahuje žádné minerální oleje; nemlží
- Dlouhá životnost jímky; odolává růstu bakterií a plísní
- Snadno se filtruje; recyklovatelná.²²

970 SYNTETICKÁ KAPALINA

Popis

Opticool 970 je vysoce účinná syntetická kapalina s minimálními nároky na údržbu. Přípravek Opticool 970 neobsahuje dietanolamin a bór a nabízí vynikající mazání, inhibici koroze, odolnost vůči extrémním tlakům, regulaci žluklosti a stabilitu v tvrdé vodě. Opticool 970 lze používat v celé řadě obráběcích operací od nízko až po vysokorychlostní a je doporučován pro legované oceli, litiny a vzácné kovy. Vlastnosti odvodu tepla snižují tvorbu tepla a třísek, poskytují rychlé chlazení nástroje a obráběného kusu a prodlužují životnost nástroje ve srovnání s klasickými rozpustnými oleji a polosyntetickými kapalinami.²²

Složení

Opticool 970 nabízí maximální mazání a nejúčinnější vysokotlaké přísady a přísady odolné proti svařování. Tyto přísady spolu se základovým mazivem poskytují jak hydrodynamické (bariérový film), tak i mezní mazání a účinně tím prodlužují životnost nástrojů a skvěle zlepšují povrchovou úpravu. Balíček bio-rezistentních přísad omezuje zápachy spojené s emulzními chladivy.²²

Opticool 970 neobsahuje minerální olej, chlór, síru, dusitany nebo rtuťové sloučeniny.²²

Opticool 970 obsahuje přísady s vysokotlakými vlastnostmi a mazivostí pro takové extrémní činnosti, jež vyžadují ještě větší odolnost proti tlakům.²²

Vlastnosti:

- Vynikající mazivost
- Výborný odvod tepla
- Základové syntetické mazivo
- Schopnost zvládnutí extrémních tlaků
- Vynikající stabilita v tvrdé vodě
- Netvoří mlhu
- Není kompatibilní s oleji – zadržuje vysoké procento nežádoucího oleje
- Vynikající odlučitelnost brání recirkulaci jemných částic
- Vynikající filtrovatelnost
- Odolný vůči mikrobiálnímu působení
- Vynikající antikorozi ochrana

Doporučené aplikace:

- Frézování
- Soustružení
- Broušení
- Tepování
- Tažení
- Protahování
- Vrtání
- Vystružování
- Odřezávání
- Řezání vnitřních závitů
- Řezání jemných vnějších závitů.²²

351 EMULZNÍ KAPALINA

Popis

Opticool 351 je osvědčená, univerzální, ve vodě rozpustná pracovní kapalina vhodná při obrábění kovů. Také tam, kde hrají důležitou roli mazací vlastnosti a kde jde o těžké provozy, je Opticool 351 ideální volbou. Kapalina 351 je vhodná pro širokou škálu operací při obrábění kovů.²²

Při smíchání s vodou vytváří kapalina 351 stabilní emulzi zajišťující účinný průběh obráběcích operací. Opticool 351 zlepšuje produktivitu tím, že zkracuje dobu nutnou ke zpracování kovů, zvyšuje kvalitu opracování a zvyšuje životnost nástrojů. Kapalina 351 nabízí nákladově efektivní ředící poměry s vodou, kvalitní antikorozi ochranu, komplex extrémně odolných vysokotlakých přísad a vynikající stabilitu v tvrdé vodě.²²

Složení

Kapalina Opticool 351 je složena z nejúčinnějších vysokotlakých přísad a přísad odolných proti svařování. Tyto přísady v kombinaci se základovým mazivem zajišťují jak hydrodynamické (bariérový film), tak i mezní mazání a účinně prodlužují životnost nástrojů a zlepšují povrchovou úpravu. Biologický ochranný balíček poskytuje mikrobiální ochranu a tím prakticky eliminuje veškeré nepříznivé účinky na kůži.²²

Vlastnosti:

- Stabilní mikroemulze pro dlouhodobé použití
- Jedinečná technologie základového oleje
- Schopnost zvládnání extrémních tlaků
- Minimalizuje žluknutí a zápach
- Snižuje náklady na likvidaci a prostoje
- Antikorozi ochrana
- Prakticky eliminuje nepříznivé účinky na kůži.²²

Doporučené aplikace:

- Protahování
- Hluboké vrtání
- Vystružování
- Odřezávání
- Řezání vnitřních závitů
- Jemné řezání vnějších závitů
- Frézování
- Soustružení
- Broušení
- Ražení, lisování
- Tažení.²²

ZÁVĚR

Procesní kapaliny se při rozvoji moderního obrábění staly jeho nedílnou součástí. Setkáme se s nimi u většiny strojních obráběcích operací. Z počátku se procesní kapaliny používaly zejména pro zvýšení trvanlivosti rezných nástrojů, ale v dnešní době se výrazně podílejí na zlepšení celého obráběcího procesu i na jakosti výrobků.

- Použití procesních kapalin se projevuje zlepšením kvality obrobeného povrchu a rozměrové přesnosti. Jejich využití je proto nezbytné u velmi přesných výrobků.
- Další oblastí která se bez procesních kapalin neobejde je broušení. V tomto obráběcím procesu je nejdůležitější vlastností procesních kapalin jejich chladící účinek, jelikož při broušení vzniká velké množství tepla.
- Procesní kapaliny dále například zlepšují odvod třísky z místa řezu, redukují velikost rezných sil a v některých případech zvyšují celkovou výkonnost obráběcího procesu.

Optimální využívání procesních kapalin se týká převážně větších a modernějších strojírenských podniků, které jsou vybaveny automatizovanými obráběcími stroji, které často využívají velkoobjemové chlazení.

Menší podniky se spíše snaží pracovat za sucha, nebo využívají procesní kapaliny jen v nutné míře a to i bez ohledu na jejich vlastnosti, nebo hygienické nevýhody.

Moderní trendy v obrábění jako je obrábění za sucha, nebo obrábění metodou MQL se s ohledem na menší provozní náklady snaží obrábění s využitím procesních kapalin nahradit, ale podle zjištěných informací je používání procesních kapalin v mnoha obráběcích operacích dosud nezbytné.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. KOCMAN, Karel. *Aktuální příručka pro technický úsek :Svazek 7. Obrábění*. Praha :Dashöfer,2001. ISBN 80-902247-2-5
2. KOCMAN, Karel, *Technologie obrábění*. Brno :CERM, 2005. 2. vyd. 270 s. ISBN 80-214-3068-0
3. *MM Průmyslové spektrum*. Kapaliny pro obrábění. KREJČÍK, L. [online]. [cit. 5.5.2012]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/kapaliny-pro-obrabeni.html>
4. MANG, T; DRESEL, W. *Lubricant and lubrication*. 2007. Weinheim : Wiley-vch, January 2007. 848 s. ISBN 978-3-527-31497-3.
5. VARADARAJAN, A.S.; PHILIP, P.K. ; RAMAMOORTHY, B. Investigations on hard turning with minimal cutting fluid application (HTMF) and its comparison with dry and wet turning. *International Journal of Machine Tools & Manufacture*. 2002, 42, s. 193-200.
6. *Chip Conveyor features coolant filtration and separation*. [online]. [cit. 5.5.2012]. Dostupné z: <http://news.thomasnet.com/fullstory/Chip-Conveyor-features-coolant-filtration-and-separation-493863>
7. *MM Průmyslové spektrum*. Obrábění za sucha – ano, či ne? [online]. [cit. 5.5.2012]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/obrabeni-zasucha-ano-ci-ne.html>
8. *Přehled výrobků pro průmyslové aplikace*. [online]. [citováno 5. 5. 2012]. Dostupné z: <http://www.skf.com/files/347989.pdf>
9. MŠMT. *Volba a optimalizace řezných podmínek pro progresivní výrobní technologie. Moderní metody testování řezných nástrojů*.6. výukový modul Inovované učební texty – přednášky.
10. *MM Průmyslové spektrum*. Inovace řezných nástrojů [online]. [cit. 5.5.2012]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/inovace-reznych-nastroju-2-2.html>
11. *MM Průmyslové spektrum*. Současné trendy v oblasti kapalin pro obrábění [online]. [cit. 5.5.2012]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/soucasne-trendy-v-oblasti-kapalin-pro-obrabeni.html>
12. SECO GROUP, *Třískové obrábění* [online]. [cit. 5.5.2012]. Dostupné z: <http://www.secogroup.cz/strojirna/triskove-obrabeni/>
13. STELLRAM, *Drilling products* [online]. [cit. 5.5.2012]. Dostupné z: <http://www.atimetals.com/businesses/business-units/stellram/stellram-cutting-tools/products/Pages/Drilling-Products.aspx>

14. THOMASNET, *New Sandvik Coromant Insert Geometry Improves Productivity in Low Carbon Steels* [online]. [cit. 8.5.2012]. Dostupné z: <http://news.thomasnet.com/companystory/New-Sandvik-Coromant-Insert-Geometry-Improves-Productivity-in-Low-Carbon-Steels-500737>
15. SANDVIK COROMANT, *Dry or with fluid* [online]. [cit. 10.5.2012]. Dostupné z: http://www.sandvik.coromant.com/en-gb/technical_guide/milling/getting_started/general_guidelines/dry_or_with_fluid/pages/default.aspx
16. *MM Průmyslové spektrum*. Moderní řezné oleje na bázi hydrokrakových molekul [online]. [cit. 12.5.2012]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/moderni-vezne-oleje-na-bazi-hydrokrakovych-molekul.html>
17. *Metal Cutting Technologies*. Technologické možnosti [online]. [cit. 12.5.2012]. Dostupné z: <http://www.tumlikovo.cz/rubriky/technologicke-moznosti/page/2/>
18. SANDVIK COROMANT, *Facemilling Titanium Alloys: Productivity Calculations* [online]. [cit. 12.5.2012]. Dostupné z: <http://www.myyellowcoat.com/smart-ideas/facemilling-titanium-alloys/>
19. Dokončovací metody obrábění [online]. [cit. 12.5.2012]. Dostupné z: <http://www.technologie1.estranky.cz/fotoalbum/honovani/honovani/honovani.png.html>
20. *MM Průmyslové spektrum*. Suché frézování materiálu Ti6Al4V vysokými rychlostmi. [online]. [cit. 12.5.2012]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/suche-frezovani-materialu-ti6al4v-vysokymi-rychlostmi.html>
21. Techmagazín, *Multifunkční centra Integrex zvládnou komplexní obrábění* [online]. [cit. 12.5.2012]. Dostupné z: <http://www.techmagazin.cz/109>
22. CHESTERTON, *Obráběcí kapaliny* [online]. [cit. 15.5.2012]. Dostupné z: <http://www.chesterton.cz/176-351-opticool.html>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Zkratka	Jednotka	Popis
Cl	[-]	chlor
CO₂	[-]	oxid uhličitý
HS	[-]	high speed
HSC	[-]	high speed cutting
MQL	[-]	minimal quantities of lubricant
P	[-]	fosfor
pH	[-]	vodíkový exponent
SK	[-]	slinutý karbid
S	[-]	síra

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1 Přehled doporučených procesních kapalin pro různé metody obrábění

Příloha 2 Množství procesní kapaliny pro různé metody obrábění

