



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

PROCESNÍ KAPALINY POUŽÍVANÉ PŘI OBRÁBĚNÍ

PROCESS FLUIDS USING DURING MACHINING

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Jakub Paučo

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Lukáš Gregor

BRNO 2022

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav strojírenské technologie
Student: **Jakub Paučo**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Strojírenská technologie
Vedoucí práce: **Ing. Lukáš Gregor**
Akademický rok: 2021/22

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

Procesní kapaliny používané při obrábění

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Celosvětový vývoj v oblasti obráběcích procesů směřuje k omezování používání procesních kapalin při obrábění. Směr je označován DM (suché obrábění). Je dán ochranou přírodního prostředí naší planety, kdy procesní kapalina jako tekuté médium vyžaduje dodržování specifických podmínek. Některé způsoby obrábění ovšem s procesní kapalinou nutně probíhají. Téma rozebírá související zákonitosti a podmínky.

Cíle bakalářské práce:

Obecné zákonitosti obráběcích procesů.
Vývojové tendence v oblasti DM.
Výběrový přehled procesních kapalin na světovém trhu.
Rozbor podmínek v konkrétních případech průmyslové výroby.
Protichůdné podmínky versus vztah k přírodnímu prostředí.
Zhodnocení.

Seznam doporučené literatury:

FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. Teorie obrábění, tváření a nástroje. 1. vyd. Brno: CERM, s. r. o., 2006. 225 s. ISBN 80-214-2374-9.

FREIBAUER, Martin, Hana VLÁČILOVÁ a Milena VILÍMKOVÁ. Základy práce v CAD systému SolidWorks. 2. vyd. Brno: Computer Press, a. s., 2010. 326 s. ISBN 978-80-251-2504-5.

IMAI, Masaaki. Kaizen. 1. vyd. Brno: Computer Press, a. s., 2004. 272 s. ISBN 80-251-0461-3.

KARPÍŠEK, Zdeněk. Matematika IV: Statistika a pravděpodobnost. 3. vyd. Olomučany: CERM, s. r. o., 2007. 170 s. ISBN 978-80-241-3380-9.

LEINVEBER, Jan a Pavel VÁVRA. Strojnické tabulky. 3. vyd. Úvaly: ALBRA, 2006. 914 s. ISBN80-7361-033-7.

PERNIKÁŘ, Jiří a Miroslav TYKAL. Strojírenská metrologie II. 1. vyd. Brno: CERM, s. r. o., 2006. 180 s. ISBN 80-214-3338-8.

PIŠKA, Miroslav et al. Speciální technologie obrábění. 1. vyd. Brno: CERM, s. r. o., 2009. 252 s. ISBN 978-80-214-4025-8.

Příručka obrábění, kniha pro praktiky. 1. vyd. Praha: Sandvik CZ, s. r. o. a Scientia, s. r. o., 1997. 857 s. ISBN 91-972299-4-6.

PTÁČEK, Luděk et al. Nauka o materiálu I. 2. vyd. Brno: CERM, s. r. o., 2003. 516 s. ISBN 80-720-4283-1.

PTÁČEK, Luděk et al. Nauka o materiálu II. 2. vyd. Brno: CERM, s. r. o., 2003. 516 s. ISBN 80-720-4283-1.

SUCHY, Ivana. Handbook of die design. 2nd edition. New York: McGRAW-HILL, 2006. P. 730. ISBN 0-07-146271-6.

ZEMČÍK, Oskar. Nástroje a přípravky pro obrábění. 1. vyd. Brno: CERM, s. r. o., 2003. 193 s. ISBN 80-214-2336-6.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2021/22

V Brně, dne

L. S.

Ing. Jan Zouhar, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Táto bakalárska práca sa zaoberá tematikou procesných kvapalín používaných pri obrábaní. V prvej kapitole práce je rozobraté rezné prostredie a funkcie procesných kvapalín. V druhej kapitole sú uvedené dôležité vlastnosti procesných kvapalín a v tretej kapitole sú opísané jednotlivé druhy kvapalín, a iné spôsoby chladenia a mazania obrábacích procesov. V štvrtej kapitole je rozobraté použitie procesných kvapalín pri konkrétnych metódach obrábania. Jedná sa o vrtanie hlbokých dier a brúsenie. V nasledujúcej piatej kapitole je opísané suché obrábanie a všetky jeho metódy. Šiesta kapitola je venovaná vplyvu procesných kvapalín na životné prostredie, a taktiež sú v nej uvedené ekologické alternatívy ku bežnému spôsobu chladenia a mazania obrábacieho procesu, ako sú využitie rastlinných olejov alebo metóda MQL/MQCL. Posledná siedma kapitola obsahuje porovnanie suchého obrábania a metódy MQL/MQCL, a taktiež zhodnotenie budúceho vývoja v oblasti procesných kvapalín.

Kľúčové slová

procesná kvapalina, funkcie, vlastnosti, obrábanie, suché obrábanie, ekológia

ABSTRACT

This bachelor thesis deals with the topic of process fluids used in machining. The first chapter deals with the cutting environment and the functions of process fluids. The second chapter describes the important properties of process fluids and the third chapter describes the various types of fluids and other methods of cooling and lubrication of machining processes. The fourth chapter discusses the use of process fluids in specific machining methods. This involves drilling deep holes and grinding. The following fifth chapter describes dry machining and all its methods. The sixth chapter is devoted to the impact of process fluids on the environment and also lists ecological alternatives to the conventional method of cooling and lubrication of the machining process, such as the use of vegetable oils or the MQL/MQCL method. The last seventh chapter contains a comparison of dry machining and the MQL / MQCL method, as well as an evaluation of future developments in the field of process fluids.

Key words

process fluid, functions, properties, machining, dry machining, ecology

BIBLIOGRAFICKÁ CITÁCIA

PAUČO, Jakub. *Procesní kapaliny používané při obrábění* [online]. Brno, 2022 [cit. 2022-05-18]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/140330>.
Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. Vedoucí práce Lukáš Gregor.

PREHLÁSENIE

Prehlasujem, že som bakalársku prácu na téma *Procesní kapaliny používané při obrábění* vypracoval samostatne s využitím uvedenej literatúry a podkladov, na základe konzultácií a pod vedením vedúceho práce.

miesto, dátum

Jakub Paučo

POĎAKOVANIE

Ďakujem týmto Ing. Lukášovi Gregorovi a Ing. Milanovi Kalivodovi za cenné pripomienky a rady, ktoré mi poskytli pri vypracovávaní bakalárskej práce.

OBSAH

ÚVOD	9
1 REZNÉ PROSTREDIE PRI OBRÁBANÍ	10
1.1 Funkcie procesných kvapalín	10
1.2 Prívod procesnej kvapaliny do miesta rezu	11
1.2.1 Štandardné chladenie	11
1.2.2 Tlakové chladenie	12
1.2.3 Vnútorne chladenie	12
2 VLASTNOSTI PROCESNÝCH KVAPALÍN	14
2.1 Chladiaci účinok	14
2.2 Mazací účinok	15
2.3 Čistiaci účinok	15
2.4 Prevádzková stálosť	15
2.5 Ochranný účinok	16
2.6 Zdravotná nezávadnosť	16
2.7 Prevádzkové náklady	16
3 DRUHY PROCESNÝCH KVAPALÍN	17
3.1 Vodné roztoky	17
3.2 Emulzie	17
3.3 Syntetické a polysyntetické roztoky	18
3.3.1 Polysyntetické kvapaliny	19
3.4 Rezné oleje a ich zušľachtenie	19
3.4.1 Druhy rezných olejov	20
3.4.2 Zušľachtené oleje	20
3.5 Ropné oleje	20
3.6 Chladenie plynom	21
3.7 Chladenie hmlou	21
3.8 Mazanie pomocou pevných látok	22
3.9 Nanokvapaliny	22
3.10 Rozbor podmienok v konkrétnych prípadoch priemyselnej výroby	22
4 PROCESNÉ KVAPALINY PRI RÔZNYCH METÓDACH OBRÁBANIA	24
4.1 Vrtanie hlbokých dier	24
4.1.1 Hlavňové vrtanie	25
4.1.2 BTA/STS vrtanie	26
4.1.3 Ejektorové vrtanie (DTS)	26
4.2 Brúsenie	26
4.2.1 Prívod procesnej kvapaliny	27
5 SUCHÉ OBRÁBANIE	28
5.1 HSC	28
5.2 HFC	29
5.3 HPC	30
5.4 HSPC	31
5.5 Vývojové trendy v suchom obrábaní	32

6	EKOLÓGIA	33
6.1	Životný cyklus procesnej kvapaliny a jeho vplyv na ekológiu	33
6.2	Čistenie procesných kvapalín	34
6.2.1	Fyzikálne metódy	34
6.2.2	Chemické metódy	35
6.2.3	Biologické metódy	35
6.3	Ekologické procesné kvapaliny	36
6.4	MQL/MQCL obrábanie	36
7	DISKUSIA	37
	ZÁVER	38
	ZOZNAM POUŽITÝCH ZDROJOV	39
	ZOZNAM POUŽITÝCH SYMBOLOV A SKRATIEK	42
	ZOZNAM PRÍLOH	43

ÚVOD

Trieskové obrábanie je jednou z najbežnejších metód výroby v strojárskom priemysle. Výroba potrebného výrobku je vykonávaná postupným oddel'ovaním materiálu z polotovaru vo forme triesok, za vzniku veľkého množstva tepla. Toto vzniknuté teplo a oddelenú triesku je potrebné nejakým spôsobom odvádzať. O to sa starajú procesné kvapaliny, ktoré nie len že odvádzajú vzniknuté teplo a triesku z miesta rezu, ale tvoria aj takzvané rezné prostredie. Toto prostredie výrazne ovplyvňuje obrábací proces a aj výslednú kvalitu obrobku. Z tohto dôvodu je veľmi dôležité vybrať pre danú operáciu najvhodnejšiu procesnú kvapalinu, ktorá zaistí bezproblémový priebeh obrábacej operácie a zároveň nebude mať negatívne vplyvy na materiál obrobku, zdravotný stav pracovníkov a samotný obrábací stroj. Existuje niekoľko druhov procesných kvapalín, pričom každý druh má rozdielne vlastnosti a svoje výhody a nevýhody. Rezné prostredie však nemusí byť tvorené len kvapalinami. Môže byť tvorené aj plynmi, hmlami alebo pevnými látkami.

Existuje aj snaha o úplne odstránenie alebo obmedzenie používania procesných kvapalín. Táto snaha vychádza zo stále silnejúceho trendu ochrany životného prostredia, na ktoré môžu mať procesné kvapaliny, vďaka svojmu zloženiu, škodlivé účinky. Najrozšírenejšou metódou obrábania, ktorá sa snaží o úplne odstránenie procesných kvapalín z výrobného procesu, je suché obrábanie. Táto metóda však má veľmi obmedzené použitie. Ďalšou metódou je metóda MQL/MQCL. Táto metóda sa nesnaží o úplné odstránenie procesných kvapalín, ale len o ich obmedzenie.

Táto bakalárska práca je rešeršného typu a zaoberá sa vlastnosťami, spôsobmi prívodu a jednotlivými druhmi procesných kvapalín. Taktiež je v nej opísané použitie procesných kvapalín v rôznych metódach obrábania, konkrétne pri vŕtaní hlbokých dier a brúsení. Ďalej je opísané už spomínané suché obrábanie, vplyv procesných kvapalín na životné prostredie a ekologické alternatívy.

1 REZNÉ PROSTREDIE PRI OBRÁBANÍ

Vlastnosti rezného prostredia pri obrábacom procese majú významný vplyv na mechanizmus utvárania triesky, teplotu rezania, trvanlivosť nástroja, a taktiež na výslednú kvalitu a presnosť obrobenej plochy. Využitím vhodného rezného prostredia je možné zvýšiť kvalitu obrobeného povrchu, životnosť nástroja, bezpečnosť procesu, produktivitu a taktiež umožňuje odvádzanie tepla a triesky. Rezné prostredie je najčastejšie vytvárané kvapalinami, plynmi, procesnými pastami alebo olejovými hmlami, avšak existujú obrábacie operácie, pri ktorých sa procesné kvapaliny nepoužívajú. Ako napríklad sústruženie s použitím nástrojov s povlakovanými spekanými karbidmi alebo pri obrábaní liatiny, keďže obsahuje karbid, ktorý pôsobí ako pevné mazivo. [1]

1.1 Funkcie procesných kvapalín

Medzi základné funkcie procesných kvapalín patrí [1]:

- odvod vzniknutého tepla z miesta vzniku a zníženie tepelného zaťaženia nástroja,
- mazanie – zníženie súčiniteľa trenia,
- čistenie – výplach a odvod triesok,
- ochrana obrobku pred koróziou,
- zníženie vibrácií stroja.

Tieto funkcie sú podmienené rôznymi chemickými a fyzikálnymi vlastnosťami, ako napr.: vysokým merným teplom, vysokým výparným teplom, vysokou zmáčavosťou, príľnavosťou, penetračnou schopnosťou, malou penivosťou a schopnosťou dostatočne rýchlo vytvárať vhodné chemické zlúčeniny s kovmi obrobku a nástroja. Taktiež sa od procesných kvapalín požaduje aby boli chemicky stále a schopné regenerácie, zdravotne nezávadné, lacné a mali schopnosť aspoň krátkodobo chrániť obrobky proti korózii. [1; 2]

Keďže neexistuje univerzálna procesná kvapalina, využíva sa viac druhov, ktoré je možné rozdeliť na kvapaliny s prevládajúcim chladiacim účinkom a kvapaliny s prevládajúcim mazacím účinkom. Voľba kvapaliny závisí na druhu obrábacej operácie a pracovných podmienkach a ich účinok je ovplyvnený privedeným množstvom, tlakom a spôsobom prívodu. Doporučené procesné kvapaliny pre rôzne obrábacie operácie a materiály sú uvedené v tabuľke 1. [1; 2]

Tab. 1 Doporučené procesné kvapaliny pre rôzne obrábacie operácie [1].

Technológia	Materiál obrobku			
	Nízkouhlíkové ocele	Uhlíkové ocele	Legované ocele	Korozivzdorné a žiaruvzdorné ocele
SÚSTRUŽENIE	emulzie, syntetické kvapaliny		emulzie s EP prísadami, syntetické kvapaliny	
FRÉZOVANIE	emulzie, tuky, polysyntetické alebo syntetické kvapaliny	emulzie s EP prísadami, polysyntetické alebo syntetické kvapaliny	emulzie s EP prísadami, syntetické kvapaliny (rezné oleje)	emulzie s EP prísadami
VRTANIE	emulzie s EP prísadami, syntetické kvapaliny		emulzie s EP prísadami, rezné oleje	
OBRAŽANIE OZUBENÝCH KOLIES	emulzie pre vysoké tlaky, syntetické kvapaliny		rezné oleje	
VÝROBA OZUBENIA ODVALOVANÍM, FRÉZOVANÍM	emulzie s EP prísadami, syntetické kvapaliny alebo rezné oleje			rezné oleje
PREŤAHOVANIE	emulzie s EP prísadami, syntetické kvapaliny alebo rezné oleje			
REZANIE ZÁVITOV	emulzie s EP prísadami, syntetické kvapaliny alebo rezné oleje		rezné oleje	
BRÚSENIE	syntetické alebo chemické kvapaliny, emulzie, rezné oleje			
Pozn. EP prísady - tzv. extreme pressures additives - prísady, vytvárajúce veľmi odolný mazací film aj pri vysokých hodnotách kontaktných napätí				

1.2 Prívod procesnej kvapaliny do miesta rezu

Spôsob akým je procesná kvapalina privádzaná do miesta rezu výrazne ovplyvňuje kvalitu obrobeného povrchu a životnosť nástroja. Správny spôsob prívodu kvapaliny do miesta rezu môže viesť ku efektívnejšiemu a ekonomickejšiemu obrábaniu väčšiny materiálov. Rozlišujú sa tri druhy prívodu procesnej kvapaliny do miesta rezu a to: štandardné chladenie, tlakové chladenie a vnútorné chladenie. [1]

1.2.1 Štandardné chladenie

Prívod kvapaliny je zabezpečený štandardným zariadením, ktoré je dodávané výrobcom obrábacieho stroja. Zariadenie je tvorené nádržou pre procesnú kvapalinu, čerpadlom a rozvodným potrubím. Množstvo prúdiacej kvapaliny závisí na čerpadle a škrtení prietoku pomocou kohútiku alebo ventilu. Štandardné chladenie je zobrazené na obrázku 1. [1]



Obr. 1 Štandardné chladenie [21].

1.2.2 Tlakové chladenie

Kvapalina je privádzaná na brit nástroja zospodu priamo do miesta rezu pod vysokým tlakom (obr. 2). Priemer výstupnej trysky býva 0,3 až 1,0 mm a tlak 3 až 20 MPa, výnimočne až 100 MPa. Tento spôsob prívodu kvapaliny sa využíva v prípadoch, kedy má vzniknuté teplo nepriaznivý vplyv na trvanlivosť nástroja. Nevýhodou tohto spôsobu je rozstrek kvapaliny, vďaka čomu vzniká hmla a preto je potrebné pracovný priestor stroja uzavrieť, aby nedochádzalo ku znečisťovaniu okolitého pracovného prostredia. [1]



Obr. 2 Tlakové chladenie [22].

1.2.3 Vnútorne chladenie

Procesná kvapalina je privádzaná do miesta rezu cez nástroj a využitie tejto metódy umožňuje zvýšenie reznej rýchlosti o 5 až 25 %. Kvapalina prúdi pod zvýšeným tlakom, bežne 6 až 8 MPa, čo zlepšuje výkon obrábania a odvod triesky. Táto metóda je vhodná najmä pri sústružení s využitím nástroja s vymeniteľnými britovými doštičkami a vrtaní hlbokých dier, či vrtaní do ťažkoobrobiteľných materiálov. Je možné použiť vrtáky s vymeniteľnými britovými doštičkami a aj monolitné vrtáky z rýchloreznej ocele, pri ktorých je kvapalina privádzaná centrálnymi otvormi v nástroji (obr. 3). Toto chladenie je taktiež bežné u frézovania stopkovými frézami. [1; 3]



Obr. 3 Monolitný vrták s otvorom pre prívod kvapaliny [23].

2 VLASTNOSTI PROCESNÝCH KVAPALÍN

Za najdôležitejšie vlastnosti procesných kvapalín sa považujú ich chladiaci účinok a mazací účinok. Pri správnom výbere kvapaliny je však potrebné zvážiť aj ich ďalšie vlastnosti, ktoré môžu výrazne ovplyvňovať proces obrábania, jeho cenu, zdravotný stav obsluhy stroja alebo dokonca samotný obrobok či obrábací stroj. Medzi ďalšie dôležité vlastnosti procesných kvapalín patria napríklad čistiaci účinok, prevádzková stálosť, zdravotná nezávadnosť a iné.

2.1 Chladiaci účinok

Jedná sa o odvod vzniknutého tepla z miesta rezu procesnou kvapalinou. Odvod tepla prebieha oplachovaním nástroja, obrobku a triesky. Odvedené teplo sa rozvádza kondukciou do nádrže stroja, ale aj do ďalších častí stroja a taktiež vyžaruje do okolitého prostredia. Čím väčšie teplo v mieste rezu vznikne, tým sú väčšie nároky na správny odvod tepla. Pri nedostatočnom odvode tepla sa teplo akumuluje do obrobku, čo má nepriaznivý vplyv na požadovanú presnosť obrobku, a do nástroja (prevažne nástroje z rýchloreznej ocele), čo môže viesť ku prekročeniu popúšťacej teploty a následnej strate vlastností nástroja, ako napríklad tvrdosť. Taktiež dochádza ku veľkému opotrebeniu nástroja. [1; 4]

Vlastnosti ovplyvňujúce chladiaci účinok procesnej kvapaliny [1; 4]:

- merné a výparné teplo reznej kvapaliny,
- súčiniteľ tepelnej vodivosti $\lambda [W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}]$,
- súčiniteľ teplotnej vodivosti $a [m^2 \cdot s^{-1}]$,
- súčiniteľ prestupu tepla medzi obrobkom a nástrojom, resp. kvapalinou $\alpha [J \cdot m^{-2} \cdot s^{-1} \cdot K^{-1}]$,
- prietokové množstvo $[m^3 \cdot s^{-1}]$,
- zmáčavosť procesnej kvapaliny $\sigma [mm^2 \cdot s^{-1}]$.

Čím väčšie hodnoty tieto veličiny nadobúdajú, tým lepší je chladiaci účinok kvapaliny.

Obrábacie operácie sa podľa energetickej náročnosti delia do troch skupín. Na tejto energetickej náročnosti závisí aj voľba procesnej kvapaliny (tab. 2). Pri trieskovom obrábaní s vysokým zaťažením britu a pri nízkych rezných rýchlostiach je vyžadované obzvlášť dobré mazanie a pri obrábaní s vyššími reznými rýchlosťami je požadované intenzívnejšie chladenie. [1]

Tab. 2 Voľba procesnej kvapaliny s ohľadom na energetickú náročnosť obrábania [1].

Skupina	Technológia obrábania	Doporučená procesná kvapalina
I.	brúsenie bezhroté, rovinné, medzi hroty, rezanie strojnými pílamí, jemné vyvrtávanie	kvapaliny prevažne s chladiacim účinkom (miesiteľné z vodou)
II.	honovanie, lapovanie, superfiniš, frézovanie, vrtanie, vyhrubovanie, sústruženie, tvarové sústruženie, obrážanie, frézovanie ozubenia	kvapaliny s chladiacim aj mazacim účinkom, emulzie, ropné oleje s prísadou polárnych látok, chemicky aktívnymi prísadami
III.	brúsenie otvorov, tvarové brúsenie, vystružovanie, rezanie vonkajších závitov, hlboké vrtanie, rezanie vnútorných závitov, vonkajšie preťahovanie, vnútorné preťahovanie	prevažne ropné oleje s vyšším obsahom chemicky aktívnych prísad

2.2 Mazací účinok

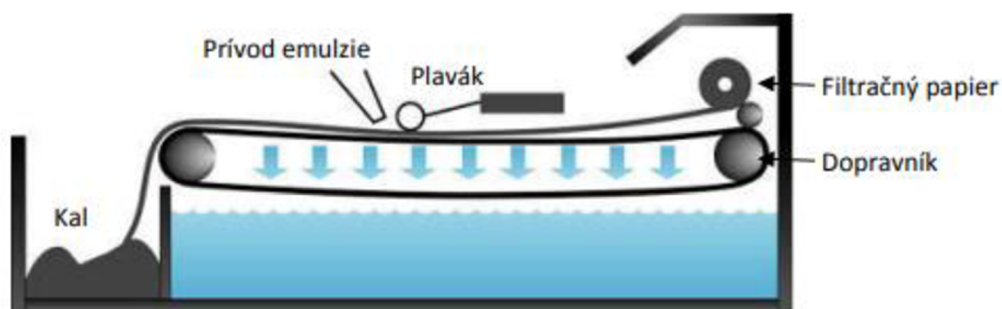
Jedná sa o schopnosť procesnej kvapaliny vytvárať ucelenú vrstvu na povrchu kovu. Vzniknutá vrstva bráni priamemu styku materiálu obrobku a materiálu nástroja. Tým sa zníži trenie a rezná sila, čo má za následok menší požadovaný výkon potrebný k obrábaniu a taktiež pokojnejší chod stroja. Mazací účinok procesnej kvapaliny má vplyv taktiež na drsnosť obrábanej plochy, čo je požadované najmä pri dokončovacích operáciách a technologicky náročných operáciách, pri ktorých dochádza ku veľkým tlakom a vysokým teplotám, ako sú napríklad preťahovanie, výroba ozubenia a závitov. [1; 4]

Mazacia schopnosť kvapaliny je závislá na pevnosti vzniknutej medznej vrstvy a viskozite. Pri nízkej viskozite môže dochádzať ku nevyhovujúcemu prenikaniu kvapaliny medzi plochy nástroja a obrobku a taktiež nástroja a triesky. Naopak pri vysokej viskozite môže dochádzať ku priľnutiu kvapaliny ku trieske, čo spôsobuje stratu kvapaliny, a tým aj rast nákladov. [4]

2.3 Čistiaci účinok

Jedná sa o odvod triesok, pilín, drobných častočiek rezného materiálu a kontaminujúcich nečistôt z ovzdušia z miesta rezu pri procese obrábania. Triesky a piliny sa v odvodovej drážke môžu zhlukovať a spájať, čo má negatívny vplyv na nástroj a drsnosť povrchu obrobku. Správnym použitím vhodnej procesnej kvapaliny je možné tomuto zhlukovaniu a zlepeniu nečistôt zabrániť a zabezpečiť tak bezproblémový odvod nečistôt z miesta rezu. [1; 4]

Kvalita kvapaliny závisí na jej čistote, preto je potrebné procesnú kvapalinu filtrovať cez radu filtrov alebo priamo priechodom cez filtračné zariadenie (obr. 4) s následným návratom do zásobníku. Privedenie znečistenej kvapaliny do miesta rezu môže mať za následok zhoršenie kvality povrchu a zníženie životnosti nástroja. Dobré čistiace vlastnosti majú najmä kvapaliny s nízkou viskozitou bez aktívnych prísad. Tieto kvapaliny obalia triesky a nečistoty, a tým zabránia ich spájaniu. Čistiaci účinok je dôležitý u všetkých technológiách obrábania no najmä pri vŕtaní hlbokých dier, rezaní závitov a brúsení, kde kvapalina odplaví opotrebované brusné zrná. [4]



Obr. 4 Filtračné zariadenie – povrchový mechanický filter [3].

2.4 Prevádzková stálosť

Jedná sa o dobu od začatia používania procesnej kvapaliny až po dobu zmeny jej vlastností a teda jej výmeny. Doba medzi výmenami je podmienená tým, aby sa fyzikálne a chemické vlastnosti nezmenili. Zmena fyzikálnych a chemických vlastností má za následok, hlavne u procesných kvapalín olejového typu, vznik živcových usadenín. Tieto usadeniny sú nežiadúce a môžu spôsobiť poruchu stroja. Fyzikálne a chemické vlastnosti procesnej kvapaliny je potrebné udržiavať na požadovanej úrovni, aby sa zabezpečila jej správna funkcia. [4]

2.5 Ochranný účinok

Jednou z úloh procesných kvapalín je taktiež ochrana obrobku a obrábacieho stroja pred koróziou. Vďaka ochranným účinkom kvapaliny nie je potrebné obrobok medzi jednotlivými operáciami konzervovať, a teda sa znižujú náklady na výrobu. Ochranný účinok sa zabezpečí pridaním antikorózných prísad do procesnej kvapaliny, ktoré poskytujú ochranu pred účinkami oxidácie. [4]

Kvapalina je v kontakte, okrem samotného obrobku, aj s gumovými tesneniami, prípravkami, meradlami či ochranným náterom stroja, a preto je potrebné, aby voči nim procesná kvapalina nebola agresívna, a aby vytvárala konzervačnú ochrannú vrstvu. Za týmto účelom sa vykonávajú korózne skúšky, pri ktorých sa napríklad kovová drvina namáča do procesnej kvapaliny, následne je vystavená atmosférickej vlhkosti a sušená na filtračnom papieri, kde je možné vidieť hrdzavé stopy zoxidovaných povrchov. Pri inej skúške sa kvapne vzorka procesnej kvapaliny na liatinovú dosku a pozoruje sa jej sfarbenie. [4]

2.6 Zdravotná nezávadnosť

Pri procese obrábania je často obsluha obrábacích strojov v priamom kontakte s procesnými kvapalinami, z čoho plynie požiadavka na zdravotnú nezávadnosť týchto kvapalín. Nesmú obsahovať škodlivé ani jedovaté látky, spôsobujúce zdravotné problémy, ako sú poškodenie sliznice či pokožky a taktiež nesmú znečisťovať ovzdušie. Náklady na liečenie týchto ochorení bývajú vysoké a často nevedú k úplnému vyliečeniu. Na nezávadnosť kvapalín majú veľký vplyv základné hygienické opatrenia, ako sú dostatočné vetranie (z dôvodu vzniku výparov a aerosolov) či čistota na pracovisku. Pri nedostatočnom vetraní musí byť na pracovisku zabezpečené odsávanie. [1; 4]

2.7 Prevádzkové náklady

Prevádzkové náklady súvisia so spotrebou procesnej kvapaliny pri obrábaní. Pri posúdení vplyvu kvapaliny na proces obrábania je potrebné brať do úvahy trvanlivosť nástroja, náklady na jeho preostrenie, jeho výmenu, deformáciu pri rezaní, kvalitu obrobku a taktiež spotrebu energie. Po tomto zhodnotení sa procesná kvapalina klasifikuje na prevádzkovú stálosť, spotrebu, výmenu a likvidáciu. Je potrebné vykonať dôkladný technicko-ekonomický rozbor pre správne určenie vhodnej procesnej kvapaliny. [4]

3 DRUHY PROCESNÝCH KVAPALÍN

Procesné kvapaliny je možno rozdeliť do dvoch hlavných skupín, a to na kvapaliny s prevládajúcim chladiacim účinkom a kvapaliny s prevládajúcim mazacím účinkom. V dnešnej dobe sa u výrobcov procesných kvapalín prejavuje snaha zvýšiť mazací účinok u kvapalín s prevládajúcim chladiacim účinkom, vďaka čomu niektoré kvapaliny disponujú oboma vlastnosťami. [4]

Medzi základné druhy procesných médií patria [4]:

- vodný roztok,
- emulzie,
- syntetické a polysyntetické roztoky,
- rezné oleje a zušľachtené rezné oleje,
- ropné oleje,
- chladenie plynom,
- chladenie hmlou,
- mazanie pomocou pevných látok,
- nanokvapaliny.

Medzi výrobcov procesných kvapalín patrí napríklad firma Cogelsa a firma Houghton. Príklad sortimentu procesných kvapalín od firmy Cogelsa je uvedený v prílohe 1 a príklady procesných kvapalín od firmy Houghton sú uvedené v prílohe 2 a 3.

3.1 Vodné roztoky

Toto procesné médium je najlacnejšie, najjednoduchšie a jeho základ tvorí voda. Keďže voda obsahuje rôzne nečistoty, ako prach alebo mikroorganizmy, a je tvrdá, je vyžadovaná jej chemická úprava. Do vody sa pridávajú rôzne prísady ako zmäkčovadlá, prísady proti korózii (trinatriumfosfát, triethanolamin), pre zlepšenie zmáčavosti a proti penivosti. Vodné roztoky musia byť vždy alkalické. Najvyššia dovolená hodnota pH je 9 (určuje sa z koncentrácie vodíkových iónov vo vodnom roztoku), aby nedošlo k narušeniu ochranného náteru stroja a nedošlo k poškodeniu tesnenia stroja. Preto je potrebné hodnotu pH pravidelne kontrolovať. [1; 4]

Výhody vodného roztoku [5]:

- dobrý odvod tepla a chladenie,
- nízke náklady,
- ľahká údržba.

Nevýhody vodného roztoku [5]:

- takmer žiadny mazací účinok,
- možné problémy s koróziou,
- nízky bod varu,
- nízka kvalita povrchu obrobku,
- slabá zmáčavosť.

3.2 Emulzie

Emulzie sú najčastejšie využívané procesné kvapaliny. Skladajú sa z dvoch vzájomne nerozpustiteľných kvapalín, najčastejšie oleja a vody, a tzv. emulgátoru. Kvapaliny tvoria disperznú sústavu, kedy jedna fáza (disperzná fáza) tvorí mikroskopické kvapky v druhej fáze (disperzné prostredie). Disperzná fáza je olej a disperzné prostredie je voda. Emulgátor

zmenšuje povrchové napätie emulgovaných kvapalín, stabilizuje emulziu a zabraňuje koagulácii jemne rozptýlených častíc vo vode. Z hľadiska zaručenia stability emulzie a zabráneniu zrazeniu sa vždy pridáva olej do vody a nikdy nie naopak. [1; 4]

Emulzia oleja vo vode vo forme kvapiek s priemerom 0,2 až 0,8 mm znižuje trenie na rozhraní nástroj-obrobok a vodná fáza zabezpečuje čistenie a odvod tepla. Emulzie spájajú výhody oleja a vody. Množstvo oleja vo vode sa volí podľa požiadaviek na výkon rezania a udáva sa v percentách, pričom sa najčastejšie volí medzi 2 až 10 % podľa obrábacej technológie. Napríklad pri frézovaní sa najčastejšie používa koncentrácia 4 až 5 % a pri hlbokom vrtaní sa môže použiť dokonca 10 až 15 %. So zväčšujúcou sa koncentráciou oleja vo vode, klesá chladiaci účinok, ale rastie mazací účinok, zmáčavosť a ochrana proti korózii. S rastúcou koncentráciou taktiež rastie hodnota pH pričom maximálna hodnota môže byť 9. [1; 4]

Vďaka tomu, že emulzie kombinujú výhody oleja a vody, je možné ich využitie aj u automatizovaných strojoch, linkách a obrábacích centrách, pretože môžu súčasne pracovať nástroje zo spekaných karbidov a nástroje z rýchloreznej ocele. Pri obrábaní ťažkoobrobiteľných materiálov ako sú titánové zliatiny, nehrdzavejúce ocele alebo žiaruvzdorné materiály, je možné zvýšiť výkon obrábania podchladením emulzie na teplotu 5 až 10 °C, pričom sa životnosť nástroja zvýši až o 200 %. Je to však limitované zhutnutím olejovej fázy. [1]

Emulzie okrem emulgátoru môžu obsahovať aj ďalšie prísady ako napríklad [1]:

- vysokotlakové prísady – pre zvýšenie nosnosti olejového filmu,
- biocidy (bakteriocidy alebo fungicidy) – pre elimináciu mikroorganizmov,
- antikoročné prísady – ochranné prostriedky proti korózii (boráty, zlúčeniny karbonových kyselín, amidy, aminy, atď.),
- antipeniace prísady – napríklad silikónové oleje.

Emulzie majú veľa výhod, ale aj nevýhod. Medzi najväčšiu nevýhodu emulzie patrí je starnutie a strata fyzikálno-chemických vlastností, čo je zapríčinené okysličujúcim účinkom vzduchu, pôsobením tepla, katalytickým účinkom kovových materiálov a kontamináciou nečistotami. [1]

Výhody emulzií [5]:

- dobré mazanie a odvod tepla,
- nízka viskozita,
- nehorľavosť,
- dobrá zmáčavosť,
- všeobecné použitie.

Nevýhody emulzií [5]:

- straty odparovaním,
- zatuchnosť,
- slabá stabilita,
- náklady na údržbu,
- bakteriálny rast,
- problémy s kontamináciou.

3.3 Syntetické a polysyntetické roztoky

Jedná sa o jedny z najnovších druhov procesných kvapalín. Neobsahujú minerálne oleje, ale sú zložené z rozpúšťadiel (polyglykoly a estery) ľahko rozpustných alebo emulgujúcich vo vode. Keďže nie sú závislé na kvalite vody a ich chemické zloženie a molekulárna štruktúra je viac homogénna než v prírodných alebo minerálnych olejoch, vyznačujú sa tieto kvapaliny vyššou stabilitou fáz a fyzikálno-chemických vlastností. Vďaka dobrej prevádzkovej stálosti je možné

ich použiť pri obrábaní vysokými rýchlosťami a taktiež ich je možné s výhodou použiť pri brúsení, keďže zabezpečujú dobrý odvod tepla a nezanášajú brúsny kotúč. [1; 4]

Syntetické a polysyntetické kvapaliny prispievajú k zlepšeniu životného prostredia. Voda v syntetických kvapalinách sa ľahko odparuje, čo zvyšuje koncentráciu chladiacej kvapaliny v priebehu obrábacieho procesu. Tieto kvapaliny taktiež vykazujú silné čistiace a alkalické vlastnosti (sú to rozpúšťadla s pH 9 až 9,5), takže je potrebné kontrolovať ich koncentráciu, aby zvýšenie pH nevyvolalo u obsluhy podráždenie pokožky alebo alergie. [1]

Výhody syntetických kvapalín [5]:

- ekonomickejšie oproti kvapalinám na báze oleja,
- dobré odvádzanie tepla,
- jednoduché na prípravu,
- dobrá ochrana proti korózii,
- dobrá mikrobiálna kontrola,
- vysoký bod vzplanutia,
- kompatibilita s inými prísadami,
- dobrá čistiaca schopnosť,
- životnosť.

Nevýhody syntetických kvapalín [5]:

- problémy s kontamináciou,
- zlý mazací účinok,
- problém s likvidáciou,
- môžu spôsobovať kožné problémy.

3.3.1 Polysyntetické kvapaliny

Vznikajú rozptýlením oleja v syntetických kvapalinách (obsah oleja do 40 %). Tieto kvapaliny spájajú výhody emulzií a syntetických kvapalín. Olejové častice sú menšie než častice v emulziách, čo spôsobuje lepšie mazacie vlastnosti. Často sa využívajú pri brúsení, keďže rovnako ako syntetické kvapaliny nezanášajú kotúč. [1]

Výhody polysyntetických kvapalín [5]:

- dobrá chladiaca schopnosť,
- dobrá ochrana proti korózii,
- relatívne netoxické,
- použiteľné pri rôznych obrábacích procesoch,
- lepšia mazacia schopnosť než u syntetických kvapalín.

Nevýhody polysyntetických kvapalín [5]:

- penenie,
- nestabilita pri riedení,
- ľahko sa znečistia,
- môžu spôsobovať kožné problémy.

3.4 Rezné oleje a ich zušľachtenie

Jedná sa o procesné kvapaliny na báze minerálnych, rastlinných alebo živočíšnych olejov. Do týchto olejov sa pridávajú rôzne prísady za účelom zvýšenia tlakovej účinnosti, mazacej schopnosti a príľnavosti. Medzi tieto prísady patria: mastné látky, organické mazivá, pevné mazivá. Z mastných látok sa používajú mastné oleje, mastné kvapaliny a syntetické estery. Organické zlúčeniny sú zložené uhlíkovodíky, do ktorých sa riedi síra, chlór a fosfor. Vďaka nim vzniká na povrchu obrobku tenká vrstva ochranných mydiel, ktorá znižuje trenie a zabraňuje zvaraniu. Pevné mazivá vďaka svojej afinite ku kovu vytvárajú medznú vrstvu, ktorá je odolná voči tlaku a zvyšuje mazaciu schopnosť. Ako pevné mazivá sa používajú grafit a sírnik molybdénu. [1; 4]

Rezné oleje môžu mať rôznu viskozitu, čo ovplyvňuje ich vlastnosti, a tým obmedzuje ich použitie. Oleje s nízkou viskozitou majú tendenciu k rozprašovaniu, vyparovaniu a dokonca ku vzplanutiu. Oleje s vysokou viskozitou majú horšiu tekutosť, a tým aj horší odvod tepla, ale spolu s olejmi s veľmi vysokou viskozitou majú dobrý čistiaci a vyplachovací účinok. Významným faktorom obmedzujúcim ich použitie je rezná rýchlosť pri obrábaní ocelových materiálov, keďže pri reznej rýchlosti presahujúcej $80 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$ vzniká dym. Z tohto dôvodu sa oleje používajú predovšetkým na ľahké obrábanie na automatoch, preŕahovacích strojoch alebo pri brúsení. [1]

Výhody rezných olejov [1]:

- dobrá zmáčavosť,
- dobrý mazací účinok.

Nevýhody rezných olejov [1]:

- malý chladiaci účinok,
- nebezpečenstvo vzplanutia,
- obmedzené využitie.

3.4.1 Druhy rezných olejov

Existuje niekoľko druhov rezných olejov [1]:

- Minerálne oleje bez prísad – nepodliehajú bakteriálnemu rozpadu, majú dobrý mazací a antikoročný účinok, je možné ich obohacovať ďalšími prísadami.
- Masťné oleje z rastlinných a živočíšnych tukov – dobré mazacie schopnosti, je možné vytvárať iba tenkú vrstvu olejového filmu, ktorý poskytuje malú ochranu proti adheznému oteru nástroja.
- Zmiešané masťné a minerálne oleje – vytvárajú tenkú vrstvu o vysokej nosnosti, znižujú trenie a zabraňujú adheznému zväraníu.
- Aditívne (zušľachtené) zmiešané masťné a minerálne oleje.

3.4.2 Zušľachtené oleje

V minulosti bolo zušľachtenie olejov založené na pridávaní masťných prísad (rastlinné a živočíšne oleje, masťné kyseliny), ktoré zvyšovali tlakovú únosnosť a zlepšovali trecie vlastnosti. Tieto prísady však skracovali životnosť oleja. V dnešnej dobe sa využívajú takzvané EP prísady (vysokotlakové prísady) rozpustné v oleji, ktoré neskracujú životnosť oleja. Tieto prísady sú síra, chlór a fosfor. Účinok prísad je založený na ich chemickej reakcii s čistým kovovým povrchom obrobku. Pri vysokých teplotách prísady reagujú s materiálom obrobku a vytvárajú vrstvu kovových mydiel (sulfidy, chloridy, fosfidy), ktorá zabraňuje mikrozvarom a znižuje trenie. Jedná sa o typ obmedzenej korózie. Zušľachtené oleje môžu odstrániť zvláštne tepelné spracovanie za účelom zlepšenia obrábiteľnosti alebo prekryť rozptyly spôsobené nedodržaním presných technologických podmienok pri normalizačnom žíhaní. [1; 4]

Zlúčeniny na báze chlóru majú lepšie účinky na trenie než zlúčeniny na báze síry do teploty $400 \text{ }^\circ\text{C}$, avšak zlúčeniny síry si svoju účinnosť zachovávajú až do teploty $800 \text{ }^\circ\text{C}$. Ešte vyšší účinok majú zlúčeniny fosforu, ale niektoré sú jedovaté. Najúčinnějšía je však kombinácia všetkých troch prvkov. Napriek svojim účinkom je však snaha tieto prvky eliminovať a zvyšuje sa tlak na používanie olejov na báze rastlinných produktov, ktoré sú šetrnejšie ku životnému prostrediu. [1]

3.5 Ropné oleje

Jedná sa o oleje vyrobené z ropy. Majú výborný mazací účinok, dobrú priľnavosť a poskytujú dobrú ochranu proti korózii a starnutiu. Avšak ich malá tepelná vodivosť je príčinou ich malej

chladiacej schopnosti. Medzi ich ďalšie nevýhody patrí nízky bod vzplanutia, tvorba hmly, vysoké náklady na likvidáciu a sú nebezpečné pre životné prostredie. Taktiež sú obmedzené na nízke rezné rýchlosti. Využívajú sa najmä na obrábanie nízko uhlíkových ocelí, mäkkých neželezných kovov a ich zliatin. [4]

3.6 Chladienie plynom

Pri tomto type chladienia sa používa niekoľko plynov ako na príklad oxid uhličitý, dusík, argón alebo freón. Plyny jednoduchšie prenikajú do miesta rezania než kvapalina a vytvárajú ochranné povlaky na obrobku, trieske a nástroji. Niektoré obrábané materiály a nástrojové materiály sú chladené obyčajným vzduchom, ktorý však musí byť zbavený vody. Vzduch je najbežnejšie používané plynné médium, avšak bežne sa používa aj oxid uhličitý. Ten sa pri chladiení obrábacieho procesu expanziou hlboko podchladí až na teplotu $-73\text{ }^{\circ}\text{C}$, pričom vzniká suchý sneh. Ten podchladzuje obrobok a znižuje teplotu rezania. Pri chladiení oxidom uhličitým je možné obrábať o 70 % rýchlejšie oproti suchému obrábaniu a taktiež pokiaľ sa nezvýšia rezné podmienky, je životnosť nástroja dvojnásobná. Táto metóda má však niekoľko nevýhod, a to vysoké náklady, veľkú hlučnosť a nebezpečenstvo pri použití v bežných výrobných podmienkach, čo sa prejaví nutnosťou dokonalého odsávania. Z tohto dôvodu je vzduch bežnejšie plynné médium. [1; 4; 6]

3.7 Chladienie hmlou

Chladienie hmlou je progresívna metóda, ktorá je prechodom medzi plynným a kvapalným prostredím. Chladienie prebieha pomocou olejových emulzií rozptýlených tlakom vzduchu. Rýchlosť pri výstupe z trysky je až $300\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Rozptýlením kvapaliny na drobné čiastočky sa zväčšuje chladiaci účinok. Tento účinok sa ďalej ešte zväčšuje vďaka expanzii, čo spôsobuje podchladienie hmly. Trysky sú smerované na reznú časť nástroja a pri tejto metóde je požadovaný krytý stroj (obr. 5) a odsávanie aerosólových častíc, aby sa zabránilo rozstreku do okolitého prostredia. [1]



Obr. 5 Kryté obrábacie centrum BASICTURN [24].

3.8 Mazanie pomocou pevných látok

Pevné mazivá sú predovšetkým tuhé látky s nízkou tvrdosťou, vysokou priľnavosťou ku povrchom kovov a vrstvenou štruktúrou, ktorá zaručuje malú pevnosť v šmyku. Používajú sa v ťažkých pracovných podmienkach ako sú veľké medzné tlaky. Ako pevné mazivá sa používajú pasty, napríklad sírnik molybdeničitý (používaný vo forme koloidnej suspenzie v procesnom oleji) a grafit rozptýlený v oleji alebo tuku. Tieto pasty však podporujú vznik usadenín v nádrži, a preto je ich použitie obmedzené. Taktiež sa používajú pasty s obsahom fosforu a síry, ktoré, podobne ako pri zušľachtených olejoch, s kovom vytvárajú vrstvu kovových mydiel. Moderné mazacie pasty sú rozpustné vo vode a vytvárajú účinný mazací film. [1; 6]

Výhody pevných mazív [5]:

- vysoká nosnosť,
- dobrá korózna odolnosť,
- rôznorodá forma aplikácie,
- tepelná stabilita,
- životnosť,
- možnosť práce pri vysokých rýchlostiach.

Nevýhody pevných mazív [5]:

- vysoký koeficient trenia,
- náročnejšia aplikácia.

3.9 Nanokvapaliny

Nanokvapaliny sú považované, vďaka svojim vlastnostiam, za sľubnú chladiacu kvapalinu v rôznych odvetviach ako napríklad v obrábaní, energetike alebo biomedicíne. Jedná sa o koloidnú zmes nanočastíc v tekutom základe. Ako nanočastice sa používajú kovy, oxidy, karbidy alebo polyméry. Najbežnejším tekutým základom sú voda, olej a etylenglykol. Pridanie nanočastíc do kvapaliny výrazne zlepšuje ich tepelnú vodivosť, a z toho dôvodu sa v obrábaní používajú najmä na odvod tepla z miesta rezu, no pridaním nanočastíc grafitu sa môže výrazne zlepšiť aj ich mazací účinok. [7; 8]

Pomer medzi plochou nanočastíc a ich objemom je hlavnou príčinou dobrej tepelnej vodivosti nanokvapalín. Zlepšenie tepelnej vodivosti kvapalín závisí na množstve pridaných nanočastíc a taktiež na ich veľkosti. Čím viac nanočastíc sa v kvapaline nachádza a čím sú menšie, tým lepšiu tepelnú vodivosť bude kvapalina mať. [8]

Výhody nanokvapalín [5]:

- lepšia stálosť,
- vyššia tepelná vodivosť,
- dobré reologické vlastnosti.

Nevýhody nanokvapalín [5]:

- náročnejšie skladovanie,
- potrebné extra príslušenstvo,
- vplyv na životné prostredie,
- problémy so spracovaním a likvidáciou.

3.10 Rozbor podmienok v konkrétnych prípadoch priemyselnej výroby

Pre efektívne využitie procesnej kvapaliny je potrebné brať do úvahy niekoľko pravidiel ako napríklad optimálny prietok kvapaliny, ktorý by mal byť 10 až 15 l.min⁻¹, alebo smer prúdu procesnej kvapaliny, ktorý by mal smerovať na miesto vzniku maximálneho množstva tepla, čo je pri trieskovom obrábaní miesto, kde sú triesky oddeľované od obrobku. Taktiež jednou

z podmienok je okamžité aplikovanie procesnej kvapaliny v momente, keď sa nástroj zanorí do materiálu. Už v tomto momente sa nástroj začne aktívne zahrievať a pri neskoršom aplikovaní procesnej kvapaliny by došlo ku prudkému ochladeniu nástroja, čo by mohlo viesť ku vzniku prasklín a nakoniec k jeho poškodeniu. [31]

Pre efektívne využitie procesnej kvapaliny je však najdôležitejší jej výber. Efektivita obrábacieho procesu je prirodzene výrazne ovplyvnená aj samotným obrábaným materiálom. Napríklad obrábanie hliníkových zliatin je spojené so značnými ťažkosťami, ktoré spôsobuje ich vysoká viskozita. Tá vedie ku tvorbe nánosov, prehrievaniu a zníženiu trvanlivosti rezného nástroja a taktiež ku zníženiu kvality obrobku. Avšak široký sortiment nástrojov a výsledky mnohých štúdií umožňujú výber takých nástrojov, s ktorými je možné dosiahnuť vysokú produktivitu a požadovanú kvalitu. Naopak napriek veľkému sortimentu rôznych procesných kvapalín od rôznych výrobcov, neexistuje spôsob výberu najefektívnejšej kvapaliny. Výber efektívnej procesnej kvapaliny však môže znížiť potrebnú reznú silu až o 20 %. Procesné kvapaliny majú rôzne vlastnosti, ktoré sú opísané v kapitole 2. Jednou z ich najdôležitejších vlastností je ich mazací účinok. Znížením trenia v mieste rezu dochádza ku zníženiu intenzity opotrebenia nástroja, potrebnej reznej sily, vzniknutého tepla a menšej drsnosti povrchu obrobku. Z tohto dôvodu je potrebné pri výbere kvapaliny pre obrábanie hliníkových zliatin preskúmať ich mazací účinok, aby bolo možné dosiahnuť požadovanú kvalitu spracovania. Najlepší spôsob, ako nájsť najvhodnejšiu procesnú kvapalinu, je otestovanie rôznych druhov priamo pri obrábaní. Pre správny výber je dôležité pochopiť vzťah medzi reznou rýchlosťou, opotrebením nástroja, rezným výkonom a tým, ako môže procesná kvapalina ovplyvňovať tieto faktory. [31]

4 PROCESNÉ KVAPALINY PRI RÔZNYCH METÓDACH OBRÁBANIA

Výber procesnej kvapaliny je rovnako dôležitý ako správny výber stroja či nástroja. Pri výbere je podstatné poznať funkciu procesných kvapalín, ich vlastnosti a taktiež výhody a nevýhody. Sú volené orientačne na základe rozboru ich vplyvu na trvanlivosť, drsnosť povrchu a rezné odpory. Zoznam používaných rezných kvapalín pre jednotlivé metódy obrábania je uvedený v tabuľke 1. V rámci tejto kapitoly bude rozobraté použitie procesných kvapalín pri vrtaní hlbokých dier a brúsení. [3]

Rovnako ako samotná voľba procesnej kvapaliny je dôležité aj jej množstvo privedené do miesta rezu. Toto množstvo výrazne ovplyvňuje ich účinok a taktiež hospodárnosť výroby. Množstvo pritekajúcej kvapaliny závisí aj na konkrétnych podmienkach obrábania. Doporučené množstvo reznej kvapaliny je uvedené v tabuľke 3. [3]

Tab. 3 Doporučené množstvo procesných kvapalín pre rôzne metódy obrábanie [3].

Metóda obrábania		Množstvo reznej kvapaliny l.min ⁻¹
Sústruženie	hrubovanie	10 až 15
	dokončovanie	8 až 10
	rýchlostné sústruženie	15 až 20
Vrtanie		4 až 10
Zahlbovanie		5 až 6
Vystužovanie		6 až 10
Rezanie závitov		2 až 3
Preťahovanie	dokončovanie	8 až 15
	vonkajšie	8 až 12
Výroba ozubenia	hrubovanie	8 až 10
	dokončovanie	2 až 3
Brúsenie	hrubovanie	do 30
	dokončovanie	30 až 60

4.1 Vrtanie hlbokých dier

Hlboké vrtanie je vrtanie do plného materiálu, kde pomer medzi hĺbkou diery L a priemerom diery D je $L/D > 4:1$. Prevládajúce technológie sú hlavňové vrtanie, BTA/STS vrtanie a ejektorové vrtanie (DTS). Tieto technológie sa líšia nástrojovým vybavením, prívodom reznej kvapaliny a odvodom triesok. Správny výber procesnej kvapaliny závisí od materiálu obrobku. Pre vrtanie do ocele je požadovaná kvapalina s chladiacou schopnosťou, zatiaľ čo pri vrtaní napríklad do hliníku je požadovaná kvapalina s prevládajúcou mazacou schopnosťou. [9; 12]

Doporučený minimálny prietok procesnej kvapaliny závisí aj na použítom vrtáku [9]:

Celokarbidový vrták [9]:

$$\dot{Q}_{SKC} = 3 \cdot D, \quad (4.1)$$

kde: \dot{Q}_{SKC} - prietok kvapaliny [$l \cdot min^{-1}$]

D - priemer vrtanej diery [mm]

Vrták s vymeniteľnými britovými doštičkami [9]:

$$\dot{Q}_{VBD} = 10 + 0,2 \cdot D + 0,004 \cdot D^2, \quad (4.2)$$

kde: \dot{Q}_{VBD} - prietok kvapaliny [$l \cdot min^{-1}$]

D - priemer vrtanej diery [mm]

Vrták s spájkovanými britovými doštičkami [9]:

$$\dot{Q}_{páj} = 0,4 \cdot D + 26, \quad (4.3)$$

kde: $\dot{Q}_{páj}$ - prietok kvapaliny [$l \cdot min^{-1}$]

D - priemer vrtanej diery [mm]

Doporučený minimálny tlak procesnej kvapaliny [9]:

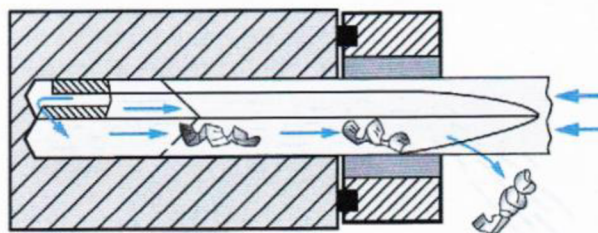
$$p = 125 \cdot D^{-0,52}, \quad (4.4)$$

kde: p - Tlak procesnej kvapaliny [bar]

D - priemer vrtanej diery [mm]

4.1.1 Hlavňové vrtanie

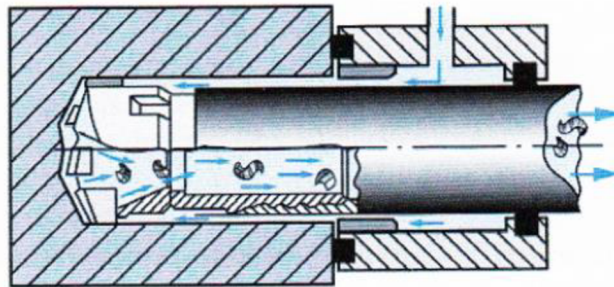
Pomocou tejto metódy sa vrtajú diery s menším priemerom (6 až 60 mm) až do hĺbky 200 až 10 000 mm, výnimočne 25 000 mm. Vrtanie je možné na prestavaných konvenčných strojoch a obrábacích centrách. Diery je nutné predvrtáť do hĺbky $1,5 \cdot D$ a priemer predvrtanej diery musí byť nepatrne väčší než je priemer hlavňového vrtáku, pretože ten nemá symetrické ostrie. Je nutné použiť veľké množstvo procesnej kvapaliny a to až $100 l \cdot min^{-1}$. Kvapalina je privádzaná pod tlakom 10 MPa vnútom vrtáku (obr. 6), pričom chladí rezné hrany nástroja a následne spolu s trieskou odchádza cez drážku tvaru V pozdĺž celého nástroja von. U väčších priemerov (do 80 mm) je možné privod kvapaliny a odvod triesky realizovať aj naopak, kedy sa kvapalina privádza pod tlakom medzerou medzi nástrojom a vrtanou dierou a odvádza sa spolu s trieskou výrezom v hlave vrtáku a vrtacou tyčou. Touto metódou dochádza ku ochrane opracovaného povrchu. Ako procesná kvapalina sa najčastejšie používajú oleje a emulzie. [9; 12]



Obr. 6 Privod procesnej kvapaliny pri hlavňovom vrtaní [12].

4.1.2 BTA/STS vrátanie

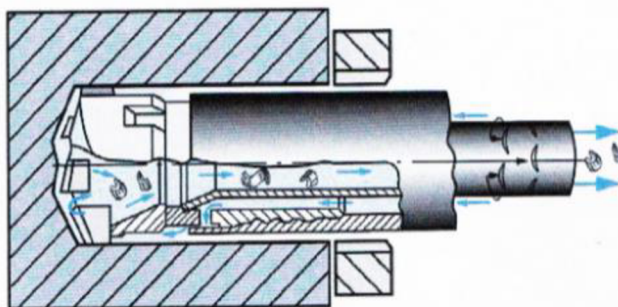
Metóda vhodná pre vrátanie dier hlbších ako 200 mm do ťažkoobrobiteľných materiálov ako napríklad korozivzdorné ocele, nízkouhlíkové ocele, materiály s heterogénnou štruktúrou a zhoršenou lámavosťou triesky. Používajú sa vrtacie hlavice s jedným alebo niekoľkými bitmi (spájkovanými alebo vymeniteľnými), ktoré sa upínajú pomocou štvorchodého závitú k vrtacej tyči. Táto metóda je výkonnejšia a spoľahlivejšia než hlavňové vrátanie, môžu sa použiť vyššie posunové rýchlosti, výsledná kvalita povrchu je veľmi dobrá ($Ra\ 0,1\ \mu\text{m}$) a dosiahnuteľná hĺbka vrátania je až $300.D$, ale je pre ňu potrebný špeciálny stroj a príslušenstvo. Ako chladiaca kvapalina je používaný najmä olej. Ten je privádzaný priestorom medzi vrtákom a dierou a následne spolu s trieskou odvádzaný dierou vo vrtáku, pozdĺž celého vrtáku (obr. 7). [9; 12]



Obr. 7 Prívod procesnej kvapaliny pri STS systéme [12].

4.1.3 Ejektorové vrátanie (DTS)

Táto metóda je využívaná najmä pre vrátanie menej kvalitných dier. Jej veľkou výhodou je jej realizovateľnosť na prestavaných konvenčných strojoch. Systém upínania nástroja je podobný ako pri metóde STS, no na rozdiel od tejto metódy nie je požadované zvláštne tesnenie medzi obrobkom a vrtacím puzdrom ani tlaková hlava. Sú však potrebné vonkajšie a vnútorné potrubia. DTS metódu je vhodné použiť všade tam, kde by mohli nastať problémy s tesnením. Na prívod procesnej kvapaliny sa používa dvojica potrubí vo vnútri vrtáku, medzi ktorými je tlačaná privádzaná kvapalina. Hlavná časť kvapaliny je tlačaná vpred do vrtacej hlavy a zvyšok je tlačný cez drážku do zadnej časti vnútorného potrubia. Vďaka tomuto vzniká podtlak v prednej časti vnútorného potrubia, ktorý tlačí chladiacu kvapalinu a triesku do hlavy nástroja a pozdĺž celého nástroja vo vnútornom potrubí von. Toto sa nazýva Venturiho ejektorový efekt. Vďaka tomuto efektu nie je potrebný veľký tlak kvapaliny. [9; 12]



Obr. 8 Prívod kvapaliny pri ejektorovom vrátaní [12].

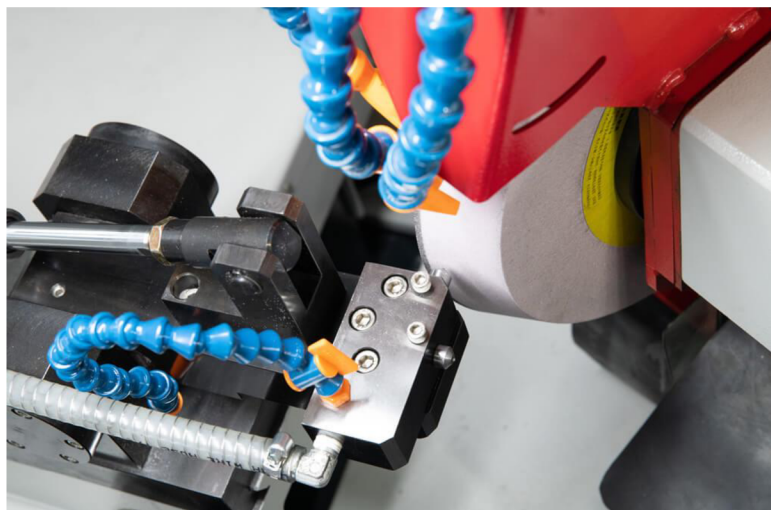
4.2 Brúsenie

Brúsenie je významnou dokončovacou operáciou a na jeho parametre má vplyv obrábaný materiál, stroj, nástroj, rezné podmienky a z veľkej časti aj procesná kvapalina a jej účinky. Tá ovplyvňuje najmä produktivitu a ekonomickosť, ale aj drsnosť výsledného povrchu. Materiály brúsiacich zŕn a ich spojivá majú väčšinou nízku tepelnú vodivosť, čo spôsobuje

odlišnú tepelnú bilanciu v porovnaní s inými technológiami obrábania. Pri brúsení vzniká nadmerné teplo, ktoré má na proces nepriaznivé účinky ako napríklad: deformácia obrobku, popustenie kaleného obrobku (strata tvrdosti), nežiadúce sfarbenie obrobku, nadmerné opotrebenie brúsneho kotúča, vznik trhlín atď. Najdôležitejšou úlohou procesných kvapalín pri brúsení je odvádzať vzniknuté teplo a triesku. Čím viac tepla sa odvedie, tým je výkonnosť brúsneho kotúča väčšia. Ako procesné kvapaliny sa pri brúsení najčastejšie používajú mydlové roztoky, sodné roztoky, čisté minerálne oleje a emulzie. [13; 14]

4.2.1 Prívod procesnej kvapaliny

Spôsob prívodu procesnej kvapaliny závisí na technologických požiadavkách a možnosti výroby. Najbežnejším spôsobom je pomocou hubice pripevnenej na kryte brúsneho kotúča (obr. 9). Pri tomto spôsobe kvapalina prúdi v zmysle otáčania kotúča k miestu rezu. Pokiaľ je dráha styku brúsnych zŕn s brúseným obrobkom väčšia, privádza sa kvapalina z dvoch strán. Toto zabezpečuje intenzívnejšie vyplavovanie triesok, čo zlepšuje životnosť brúsneho kotúča. Pri brúsení vyššími reznými rýchlosťami sa táto metóda môže ešte zlepšiť použitím prídavnej trubice, ktorá privádza kvapalinu pod tlakom cca 1 MPa. Taktiež je možný prívod procesnej kvapaliny cez brúsny kotúč priamo do miesta brúsenia. Táto metóda je najspoľahlivejšia ale má množstvo nevýhod. Medzi tie patrí požiadavka na dokonalo čistú kvapalinu, vznik hmly odstrekokaním a požiadavka na dokonalú homogenitu kotúča. Najmenšie opotrebenie brúsneho kotúča dosiahneme pri prívode kvapaliny zhora do miesta brúsenia a najmenšiu hodnotu drsnosti povrchu dosiahneme prívodom kvapaliny zhora priamo na kotúč. [13]



Obr. 9 Hubice pripevnéné na kryte brusného kotúča na CNC brúske EGM 450 [25].

5 SUCHÉ OBRÁBANIE

Vzhľadom na to, že existuje neustála snaha o znižovanie výrobných nákladov a taktiež znižovanie ekologického dopadu výrobných procesov na životné prostredie, boli vyvinuté obrábacie technológie, ktoré vylúčili nutnosť použitia procesných kvapalín. Tieto kvapaliny často tvoria značnú časť výrobných nákladov. Napríklad v automobilovom priemysle môžu náklady na procesnú kvapalinu tvoriť až 16 % z celkových nákladov na obrábanie. Veľký dopad na životné prostredie majú taktiež procesné kvapaliny. Hlavné kvapaliny na báze ropy, s prísadami ako sú chlór, fosfor a síra sú náročné na zlikvidovanie. [9]

Medzi technológie, pri ktorých sa procesné kvapaliny nepoužívajú patrí [9; 11]:

- HSC (high speed cutting) – vysokorýchlostné obrábanie,
- HFC (high feed cutting) – vysokoposuvové obrábanie,
- HPC (high performance cutting, high productive cutting) – vysokovýkonné obrábanie,
- HSPP (high speed precision cutting) – vysokorýchlostné presné obrábanie.

5.1 HSC

Podstatou HSC obrábania je značné zvýšenie reznej rýchlosti pri zníženom priereze odobranej vrstvy a zníženej reznej sile. Po dosiahnutí požadovanej reznej rýchlosti dochádza ku podstatným zmenám metalurgických, mechanických a chemických vlastností triesky. Tá nadobúda v celom priereze zmenu teploty a zmenu farby na červeno (obr. 10). Vysoká relatívna rýchlosť triesky vzhľadom k ploche čela rezného klinu nástroja spolu s kvalitou reznej hrany zvyšuje podiel tepla obrábacieho procesu, ktoré je odvedené trieskou. Tento podiel je až 98 % vzniknutého tepla. Vďaka tomuto sa výrazne zníži tepelné a mechanické namáhanie nástroja, čo má za následok zvýšenie jeho životnosti. Taktiež dochádza ku redukcii tepelného toku do stroja a obrobku, čo spôsobuje zvýšenie presnosti obrobku a kvality obrobenej plochy. [10; 11]



Obr. 10 Odoberanie triesok pri HSC obrábaní [26].

Pri HSC obrábaní sa v závislosti na materiálu obrobku, používajú na nástroje rôzne materiály. Pre obrábanie neželezných kovov sa používa predovšetkým polykryštalický diamant,

pre kalenú oceľ a liatinu kubický nitrid bóru, pre oceľ cermety a pre všeobecné použitie sa môžu použiť mikrozrnné spekané karbidy. Na materiálu obrobku taktiež závisí aj rezná rýchlosť. Prehľad rezných rýchlostí pre rôzne materiály je uvedený v tabuľke 5. [10]

Tab. 5 Rezné rýchlosti pre rôzne materiály [9].

Materiál	Rezná rýchlosť [m.min ⁻¹]
Oceľ	800 až 1 100
Zliatiny Ti	150 až 100
Zliatiny Ni	160 až 280
Šedá liatina	900 až 1 600
Zliatiny Al	3 000 až 6 000
Plasty spevnené vláknami	2 800 až 8 000
Bronze, mosadze	1 100 až 3 000

Tak ako iné metódy aj táto metóda má rôzne výhody a nevýhody.

Výhody HSC obrábania [11]:

- zníženie pracovných časov,
- vysoká kvalita obrábaného materiálu umožňuje obrábať bez dokončovacích operácií,
- vytvára sa krátka trieska,
- môžu sa obrábať aj materiály náchylné na teplo,
- nie sú nutné procesné kvapaliny.

Nevýhody HSC obrábania [9]:

- táto technológia nie je dostatočne otestovaná na všetkých materiáloch,
- vyššie investičné a prevádzkové náklady,
- potrebné nákladné zaistenie bezpečnosti obsluhy obrábacích centier.

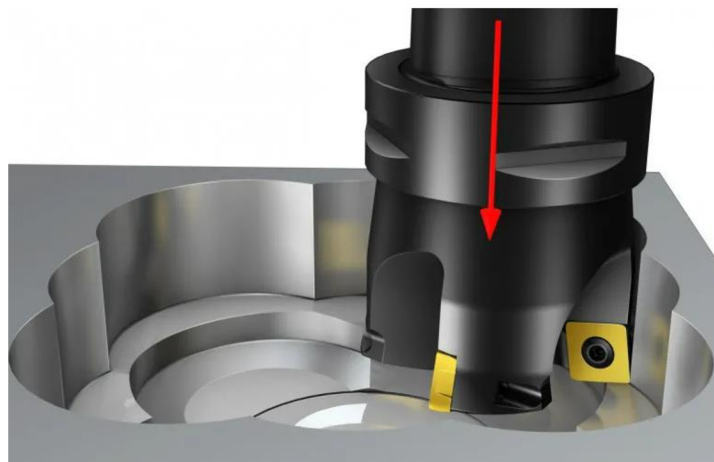
5.2 HFC

Tento typ obrábania je najčastejšie spájaný s frézovaním, preto je taktiež známy ako HFM (high feed milling) – vysokoposuvové frézovanie (obr. 11). Jedná sa o produktívnu metódu vyžadujúcu špeciálne nástrojové a strojné vybavenie. Taktiež je nutné dodržiavať určité pravidlá NC programovania a sledovať maximálne použiteľné pracovné otáčky hlavného vretena stroje, parametre maximálnej aplikovateľnej pracovnej rýchlosti a hrúbku triesky. [9]



Obr. 11 Vysokoposuvové frézovanie frézou s VBD [27].

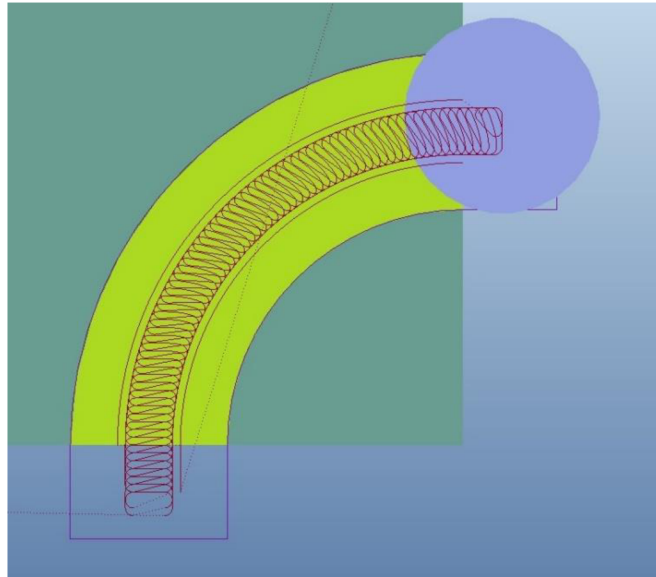
HFC umožňuje uber materiálu s malou hĺbkou rezu (do cca 2 mm) a s vysokým posuvom na zub frézy (2,5 až 3,5 mm). Nástroj je konštruovaný tak, aby bola možná aplikácia vymeniteľných doštičiek, ktoré vďaka svojej konštrukcii a vhodne stanoveným rezným podmienkam umožňujú, v porovnaní s bežným obrábaním, odoberanie veľkého množstva materiálu za časovú jednotku a taktiež zlepšujú stabilitu a spoľahlivosť procesu rezania zmenou smeru výsledného silového zaťaženia rezného nástroja v operácii. Tým, že sa zmenší radiálna zložka silového zaťaženia, je možné konštruovať frézy s dĺžkou až 7.D a odľahčenou upínacou časťou nástroja. To je dôležité pre zabránenie častému nežiadúcemu kontaktu stopky a obrobku pri hrubovacích operáciách. Tieto nástroje sú taktiež vhodné pre frézovanie s axiálnym prísunom a teda ponorné obrábanie (obr. 12). [9]



Obr. 12 Ponorné frézovanie [28].

5.3 HPC

Pri tomto type obrábania dochádza ku veľkému úberu triesky. Je to proces typický pre hrubovacie operácie a obrábanie ťažkoobrobiteľných materiálov. Hĺbka rezu je približne 1,5.D. Veľkou výhodou tohto procesu sú jeho ekonomické a ekologické prednosti hlavne v sériovej výrobe. Často sa využíva tzv. trochoidné frézovanie (obr. 13), ktoré je dané rotačným a translačným pohybom, čo má za následok prerušovaný rez, čím sa zabráňuje vzniku vibrácií. Trochoidné frézovanie je opísané v prílohe 4. Na rozdiel od HSC obrábania sa HPC obrábanie využíva najmä na obrábanie dvojrozmerných tvarov alebo k predhrubovaniu súčasti. [9]



Obr. 13 Trajektória trochoidného frézovania [29].

HPC obrábaním sa obrábajú ocele až do tvrdosti 67 HRC, čiže pre zvýšenú stabilitu je potrebné zrazenie alebo zaoblenie bitu. Medzi typické nástroje využívané pri tejto metóde patria frézovacie hlavy s VBD, špeciálne čelné stopkové frézy, vrtáky, vyvrtávacie hlavy a nástroje pre špeciálne trieskové obrábanie. Taktiež sú potrebné povlaky s vysokou tepelnou odolnosťou ako napríklad (Ti, Al)N, (Al, Ti)N alebo moderné nanokompozitné povlaky (Al, Cr, Si)N. [9]

5.4 HSPC

Táto metóda je vykonávaná pomocou mikrofrézovacích centier (obr. 14), na ktoré je kladený veľký dôraz na presnosť obrábania. Typické je obrábanie veľmi malých plôch. Svoje využitie našla v hodinárskom priemysle a tam, kde je potrebné presne obrobiť malé plochy. [11]



Obr. 14 MICRO-frézka Proxxon MF 70 27110 [30].

5.5 Vývojové trendy v suchom obrábání

Medzi vývojové trendy v suchom obrábání patří [9]:

- Vývoj nových tvarov vymeniteľných britových doštičiek s efektívnymi utváračmi triesok.
- Vývoj rezných nástrojov so spekaných karbidov s veľmi jemnou štruktúrou karbidov, čo vedie k zvýšeniu tvrdosti a húževnatosti.
- Vývoj špeciálnych povlakov, ktoré umožnia suché obrábanie pri zachovaní efektívnej životnosti nástroja.
- Vývoj špecializovaných softwarov pre optimalizáciu voľby rezných podmienok.
- Zlúčenie výrobných operácií (hrubovanie, dokončovanie, brúsenie otvorov a obrysov, meranie) do jednej operácie (na jednom stroji a jednom upnutí).
- Zvýšenie rozsahu otáčok a výkonu pracovných vretien.
- Zvýšenie tuhosti sústavy stroj-nástroj-obrobok.
- Vývoj obrábacích stratégií CAD a CAM softwarov.
- Vývoj funkcií a kontrolných prvkov riadiacich systémov CNC strojov, ktoré musia monitorovať a reagovať na rýchle zmeny.

6 EKOLÓGIA

So stále silnejúcim trendom ochrany životného prostredia, je prirodzené, že sa tento trend prejaví vo všetkých oblastiach či už bežného života alebo aj v priemyselnej výrobe. Procesné kvapaliny sú komplexnou zmesou rôznych chemických látok (tab. 6), ktoré sa do kvapalín pridávajú za účelom zlepšenia ich vlastností. Použitie týchto kvapalín predstavuje veľké riziko, ako pre životné prostredie, tak aj pre zdravotný stav ľudí, u ktorých môže priamy kontakt s procesnými kvapalinami vyústiť až do rakoviny kože, rakoviny pľúc alebo iných kožných či respiračných ochorení. Z tohto dôvodu sa v dnešnej dobe usiluje o obmedzenie ich dopadu na životné prostredie a zdravotný stav ľudí, napríklad použitím metódy MQL (Minimum quantity lubrication) – minimálne množstvo maziva, použitím kvapalín na báze rastlinných olejov (napr. palmový olej alebo kokosový olej) alebo úplným odstránením procesných kvapalín pomocou suchého obrábania. [15; 18]

Tab. 6 Prídavné látky v procesných kvapalinách [15].

Prídavné látky	Funkcia	Chemické zloženie
emulgátory	zabezpečenie stability procesnej kvapaliny	sulfonáty, trietanolamín, polyglykol etylér
inhibítory korózie	ochrana obrobku a rezného nástroja pred koróziou	nitridy, amíny, boritany
biocídy	redukcia vývinu mikroorganizmov	formaldehydy, fenoly, triazíny
protioderové prísady	zvýšenie lubrikačného účinku procesnej kvapaliny a redukcia opotrebovania rezného nástroja	chlórované parafíny, siričitany, fosforečnany, minerálne oleje, alkoholy
stabilizátory	stabilizácia koncentrácie	alkoholy, fosfáty, polyglykoly
protipenivé prísady	zabránenie vzniku peny	silikóny, mastné estery, ťažké uhl'ovodíky

6.1 Životný cyklus procesnej kvapaliny a jeho vplyv na ekológiu

Pri posúdení vplyvu procesnej kvapaliny na životné prostredie je potrebné zohľadniť nie len jej zloženie, ale aj jednotlivé etapy jej životného cyklu od výroby, cez skladovanie a použitie až po jej likvidáciu alebo prípadnú recykláciu. [15]

- Výroba procesných kvapalín – Táto etapa má výrazný vplyv na životné prostredie predovšetkým vďaka využívaniu neobnoviteľných surovinových zdrojov ako napríklad ropa, ktorá tvorí pri niektorých procesných kvapalinách primárnu zložku. [15]
- Doprava a skladovanie – Za hlavné environmentálne aspekty sú považované emisie vypustené do ovzdušia pri preprave, spotreba energií a úniky spôsobené haváriami, avšak z celkového hľadiska životného cyklu procesnej kvapaliny je ich vplyv menej významný. [15]
- Použitie procesných kvapalín – Táto etapa má výrazný vplyv na životné prostredie, avšak tento vplyv môže byť negatívny ale aj pozitívny. Medzi negatívne vplyvy patrí vysoká spotreba vody, emisie unikajúce do ovzdušia vo forme pár alebo aerosólov, úniky kvapaliny spôsobené neodbornou manipuláciou či strojom s nevyhovujúcim technickým stavom. Medzi pozitívne vplyvy patrí redukcia vzniku odpadného tepla, redukcia spotreby elektrickej energie a redukcia opotrebovania nástrojov. [15]
- Likvidácia a recyklácia – Pri používaní sa časom mení chemické zloženie a vlastnosti procesných kvapalín. Sú kontaminované napríklad hydraulickými olejmi

z hydraulických mechanizmov strojov, mazacími látkami, čistiacimi prostriedkami a materiálom z obrábaných obrobkov. Tieto znečisťujúce látky je možné odfiltrovať, čím sa predĺži životnosť kvapalín a znížia sa náklady na ich výmenu a likvidáciu. Pri používaní procesných kvapalín dochádza aj ku ich stratám v dôsledku odparovania, rozprašovania a odvodu na trieskach. Za jednu pracovnú smenu môže dôjsť ku 8 až 9 % stratám vodných roztokov, 5 až 7 % stratám emulzií a 0,5 až 0,7 % stratám olejov. Napriek filtrácii použitých procesných kvapalín je po určitej dobe nutná ich výmena. Pre vodné roztoky a emulzie to je 6 až 8 týždňov pri sústruhoch, frézkach a vrtačkách, a 2 až 4 týždne pri brúskach. Pri olejoch je nutnosť výmeny menej častá. Pri jednozmennej prevádzke prebieha výmena po jednom roku a pri viaczmennej prevádzke prebieha výmena po 6 mesiacoch. [15; 3]

6.2 Čistenie procesných kvapalín

Odpadové procesné kvapaliny obsahujú veľké množstvo nečistôt, ako sú triesky obrábaného materiálu alebo organické hmoty a taktiež obsahujú veľkú koncentráciu olejov. Tieto nečistoty je potrebné odstrániť. Pokiaľ sa to nevykoná, hrozí veľké riziko znečistenia vodných tokov a podzemných vôd, čo môže mať vážne následky pre životné prostredie a pre zdravotný stav ľudí. Škodlivé prísady a malé triesky obrábaného materiálu sa pomocou potravinového reťazca môžu dostať do ľudského tela, kde sa ukladajú a spôsobujú vážne zdravotné komplikácie. [16]

Odpadová rezná kvapalina vytvára veľmi stabilnú štruktúru olej-voda. Pri zneškodnení znečistených kvapalín je potrebné tieto dve zložky oddeliť. Olej v kvapaline môže byť rozpustený, emulgovaný, dispergovaný alebo plávajúci. Existuje niekoľko princípov separácie oleja ako napríklad fyzikálne, chemické a biologické. Niektoré kvapaliny sú svojim zložením náročnejšie na vyčistenie. Z tohto dôvodu sa taktiež využívajú rôzne kombinácie jednotlivých metód čistenia odpadových procesných kvapalín. [16]

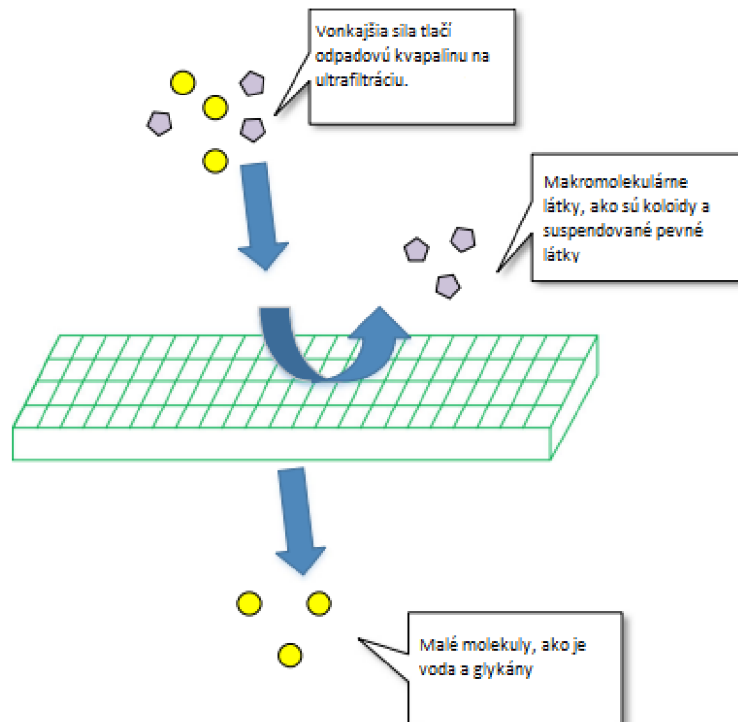
6.2.1 Fyzikálne metódy

Gravitačná separácia – Metóda využíva rozdielne hustoty vody a oleja na separáciu oleja a nerozpustených látok od vody. Kvapky oleja vo vode pomaly stúpajú a vrstvia sa pôsobením vztlaku. Táto metóda je používaná prevažne na separáciu plávajúceho oleja a je nevhodná pre odpadové kvapaliny s emulgovaným olejom. [16]

Adsorpčná metóda – Založená na prechode kvapaliny cez porézny adsorbent alebo filtračné lôžko z adsorbentu. Pomocou chemických a fyzikálnych pôsobení adsorbent odstráni z odpadnej procesnej kvapaliny olej a znečisťujúce látky. Ako bežné adsorbenty sa používajú aktívne uhlie, živica, popolček a bentonit. [16]

Vzduchová flotácia – Do procesnej kvapaliny sú vstrekané drobné bublinky vzduchu. Bublinky priľnú ku kvapôčkam oleja vo vode a vytvoria sa vločky, ktoré majú menšiu hustotu než voda. Tieto vločky vyplávajú na hladinu a vytvoria masťnú vrstvu, ktorá sa následne odoberie. Táto metóda separácie je vhodná pre separáciu emulgovaného oleja. [16]

Membránová separácia – Táto metóda využíva selektívnu priepustnosť membrán na separáciu oleja a iných látok v odpadovej procesnej kvapaline. Do tejto metódy patrí mikrofiltrácia, ultrafiltrácia, nanofiltrácia, reverzná osmóza a dopredná osmóza. Veľkosť častíc emulgovaného oleja je menšia než 10 μm , a teda je možné ho odfiltrovať ultrafiltráciou (obr. 15) a mikrofiltráciou. Medzi výhody membránovej filtrácie patrí vysoká účinnosť odstraňovania oleja, stabilná kvalita odpadovej kvapaliny, nízka spotreba energie a žiadne sekundárne znečistenie. Taktiež ide o veľmi ekologický spôsob čistenia procesných kvapalín. [16]



Obr. 15 Ultrafiltrácia [16].

6.2.2 Chemické metódy

Metóda zrážania kyselinou – Povrchovo aktívne látky nabíjajú kvapôčky oleja v odpadovej procesnej kvapaline. Emulgované olejové častice sa nemôžu dostať do kontaktu a agregovať kvôli existencii ζ potenciálu (príloha 5) a elektrickej dvoj vrstvy. Pridaním kyseliny dochádza ku zvýšeniu vodíkových kationov v systéme, čo má za následok neutralizáciu negatívneho náboja na povrchu emulgovaných olejových častíc. Týmto sa zníži ζ potenciál a dosiahne sa deemulgácia. Táto metóda je vhodná len na jednoduchú separáciu vody a oleja a často sa kombinuje s inými technológiami na čistenie odpadových procesných kvapalín. [16]

Koagulačná metóda – Pri tejto metóde sa hydrolyzuje soľ hliníku a soľ železa v koagulačnom činidle. Výsledkom je vznik hydroxilových polymérnych produktov, ktoré majú flokulačný účinok na koloidné častice vo vode. [16]

Oxidačná metóda – Táto metóda zahŕňa Fentonovú oxidáciu a elektrochemickú oxidáciu. Fentonová oxidácia využíva Fe^{2+} a peroxid vodíka na generovanie hydroxilových radikálov $\cdot\text{OH}$, ktoré sú vysoko oxidačné a degradujú organické znečisťujúce látky prostredníctvom silnej oxidácie. Táto oxidácia efektívne prebieha iba pri pH 2 až 5, čo zvyšuje náklady a taktiež má určité korózne účinky na zariadenie. [16]

Pri elektrochemickej oxidácii sa oxidanty na oxidáciu znečisťujúcich látok v kvapaline generujú elektrochemicky. Degradácia znečisťujúcich látok prebieha dvoma mechanizmami a to priamou oxidáciou a nepriamou oxidáciou. [16]

6.2.3 Biologické metódy

Pri biologickom čistení odpadových kvapalín sa využíva metabolizmus mikroorganizmov na degradáciu oleja a iných látok. Túto metódu je možné rozdeliť na aeróbne biologické čistenie a anaeróbne biologické čistenie. Pri aeróbnom čistení potrebujú mikroorganizmy na proces rozkladu kyslík. Zásobovanie kyslíkom sa vykonáva cirkuláciou vzduchu cez nádrže.

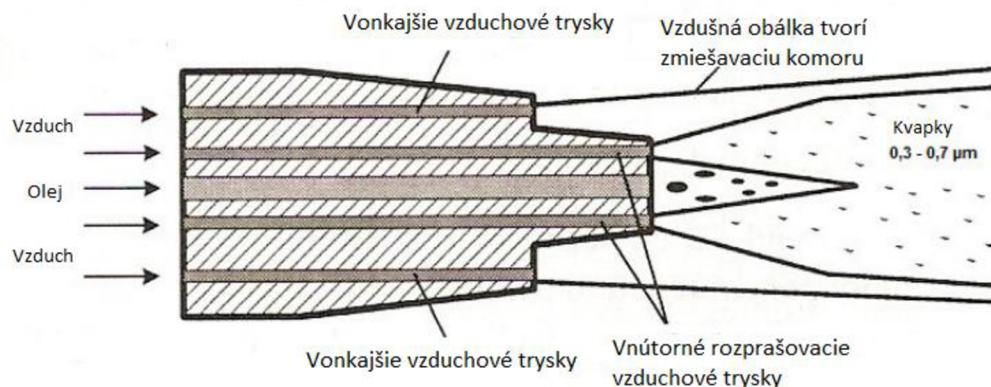
Pri anaeróbnom čistení prebieha proces bez prítomnosti kyslíka. Pre účinne anaeróbne trávenie organických látok sa musí zabrániť vstupu vzduchu do nádrží. V porovnaní s fyzikálnymi metódami a chemickými metódami majú biologické metódy nižšiu cenu, sú šetrnejšie ku životnému prostrediu a majú vysokú účinnosť. Avšak nastáva problém pri čistení kvapalín s nízkou biologickou odbúrateľnosťou. [16; 17]

6.3 Ekologické procesné kvapaliny

Aby mohli byť procesné kvapaliny považované za ekologické, musia byť biologicky odbúrateľné. Táto požiadavka otvorila cestu pre vývoj procesných kvapalín na báze rastlinných olejov (slnečnicový olej, sójový olej, kokosový olej, palmový olej apod.), ako náhradu za bežne používané procesné kvapaliny na báze minerálnych a ropných olejov. Tieto kvapaliny majú častokrát lepšie vlastnosti než bežne používané kvapaliny. Poskytujú veľmi dobré mazanie, dobrú kvalitu obrobeného povrchu a ochranu proti opotrebeniu nástroja (nárast životnosti nástroja pri použití niektorých rastlinných olejov oproti minerálnym olejom môže byť až 117 %). Taktiež majú veľmi vysoký bod vzplanutia, čo má za následok zníženie tvorby dymu a rizika vzniku požiaru. Avšak rastlinné oleje majú aj množstvo nevýhod, ako napríklad nízku teplotnú stabilitu, nízku oxidačnú stabilitu, vysoký bod tuhnutia a slabú ochranu proti korózii. [18]

6.4 MQL/MQCL obrábanie

Pri tejto metóde je dodávané malé množstvo mazacieho alebo chladiaceho média (10 až 500 ml.h⁻¹) do miesta rezu pomocou trysky (obr. 16). Dodávané je prostredníctvom aerosolu. Jedná sa o kombináciu stlačeného vzduchu a oleja. Typ oleja sa vyberá podľa druhu obrábacej technológie. Kvapky oleja sú veľké približne 0,5 μm, čo je považované za optimálnu hodnotu. Koncentráciu aerosolu je možné zvoliť podľa obrábacej technológie. Táto metóda sa snaží využiť maximálny účinok procesného média pri použití minimálneho množstva oleja. Prietok média je 10 až 500 ml za hodinu. Pokiaľ sa aplikáciou procesného média zníži trenie, hovorí sa o metóde MQL (minimum quantity lubrication) – minimálne množstvo maziva. Pokiaľ je výrazný aj chladiaci efekt hovorí sa o metóde MQCL (minimum quantity cooling lubrication) – minimálne množstvo chladiaceho maziva. Medzi najväčšie výhody MQL/MQCL metódy patrí: úspora nákladov, úspora energie, menší ekologický dopad, menšie opotrebenie nástroja a vysoká kvalita obrobeného povrchu. Keďže táto metóda poskytuje všetky výhody suchého obrábania, dokáže zaistiť požadovaný objem a kvalitu výroby a poskytuje efektívnejšie chladenie než bežné metódy, je metóda MQL/MQCL požadovaná za vhodnú alternatívu ku bežným metódam chladenia a suchému obrábaniu. [4; 19; 20]



Obr. 16 MQL/MQCL tryska [4].

7 DISKUSIA

Procesné kvapaliny plnia dôležitú úlohu pri obrábacích operáciách. Vytvárajú rezné prostredie, ktoré je dôležité z hľadiska mechanizmu utvárania triesky, teploty rezania, trvanlivosti nástroja a výslednej kvality obrobenej plochy. Najčastejšie používané procesné kvapaliny sú vodné roztoky, emulzie a rezné oleje, ktoré často obsahujú rôzne prísady (tab. 6) na zlepšenie ich vlastností, ktoré ale majú nepriaznivý vplyv na životné prostredie a zdravie ľudí. Z tohto dôvodu je zrejmé a nevyhnutné, že v budúcnosti bude ich používanie obmedzované alebo nahradzované procesnými kvapalinami na báze biologicky odbúrateľných látok, ako sú rastlinné oleje popísaných v kapitole 6.3. [18]

Procesné kvapaliny na báze rastlinných olejov majú množstvo nevýhod, ale z pomedzi všetkých druhov procesných kvapalín majú najmenší ekologický dopad, vďaka čomu sa z nich môžu pri ďalšom vývoji, ktorý odstráni ich nedostatky, stať primárne používané procesné kvapaliny. [18]

Jednou z alternatív ku bežnému chladeniu obrábacieho procesu je suché obrábanie popísané v kapitole 5. Touto metódou je možné odstrániť problémy rezných kvapalín, ako je ich kontaminácia alebo likvidácia, čo z nej robí najekologickejšiu metódu obrábania. Avšak táto metóda má množstvo nevýhod, ktoré výrazne obmedzujú jej použitie. Týmito problémami sú napríklad prehrievanie nástroja alebo vysoké trenie medzi nástrojom a obrobkom, čo má za následok vyššiu úroveň obrusovania, difúzie a oxidácie. [18; 20]

Najpraktickejšou alternatívou k bežnému chladeniu a aj ku suchému obrábaniu, ktorá vedie k ekologickejšej a ekonomickejšej strojnej výrobe, je MQL/MQCL obrábanie, popísané v kapitole 6.4. Pri tejto metóde sa použije iba zlomok objemu kvapaliny, ktorá sa používa pri bežných metódach chladenia a v mnohých oblastiach poskytuje množstvo výhod a zlepšení oproti suchému obrábaniu a bežnému chladeniu. Jednou z veľkých výhod tejto metódy je výrazné zníženie nákladov na procesnú kvapalinu, ktoré napríklad v automobilovom priemysle tvoria až 16 % z celkových nákladov na obrábanie. Vďaka tomuto je možné predpokladať, že v budúcnosti bude MQL/MQCL obrábanie primárna metóda chladenia a mazania vo väčšine obrábacích operáciách. [18; 20]

ZÁVER

V tejto bakalárskej práci je v prvej kapitole opísané rezné prostredie, funkcie procesných kvapalín a spôsob ich prívodu do miesta rezu. V druhej a tretej kapitole sú rozobraté vlastnosti procesných kvapalín a jednotlivé druhy bežne využívané pri obrábacích operáciách, ako sú napríklad emulzie, rezné oleje a vodné roztoky. Taktiež sú opísané menej bežné spôsoby odvádzania vzniknutého tepla z miesta rezu, ako sú napríklad použitie nanokvapalín alebo chladenie podchladeným plynom. Pri väčšine druhoch procesných kvapalín a iných spôsoboch chladenia a mazania sú uvedené aj ich výhody a nevýhody.

Vo štvrtej kapitole je rozobraté použitie procesných kvapalín a ich prívod do miesta rezu pri rôznych metódach obrábania, konkrétne pri vrtaní hlbokých dier a brúsení. V piatej kapitole je opísané suché obrábanie a všetky jeho metódy ako napríklad HSC, HFC, HPS a HSPC.

Predposledná piata kapitola je venovaná ekológii a vplyvu procesných kvapalín na životné prostredie. V nej je rozobratý životný cyklus procesných kvapalín a metódy ich čistenia. Medzi tieto metódy patria fyzikálne metódy, chemické metódy a biologické metódy. Každá z týchto metód je členená na jednotlivé spôsoby čistenie, ktoré sú všetky opísané v tejto kapitole. Okrem tohto kapitola obsahuje aj opis ekologických biologicky odbúrateľných kvapalín a opis ekologickej metódy chladenia MQL/MQCL, ktorá je alternatívou k suchému obrábaniu a bežným spôsobom odvádzania tepla a mazania.

Posledná siedma kapitola obsahuje zhodnotenie budúceho vývoja metód odvádzania vzniknutého tepla z miesta rezu a porovnanie suchého obrábania s metódou MQL/MQCL. Je možné predpokladať, že vzhľadom na svoje ekonomické a ekologické výhody, bude v budúcnosti práve metóda MQL/MQCL primárnou metódou odvodu tepla z miesta rezu pri väčšine obrábacích procesoch.

ZOZNAM POUŽITÝCH ZDROJOV

1. FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. Brno: CERM, 2006. 225 s. ISBN 80-214-2374-9.
 2. KROČKO, Vladimír. *Rezné materiály a prostredie* [online]. 2015 [cit. 2022-02-13]. Dostupné z: <https://ingslov.files.wordpress.com/2015/05/04-rezne-materialy-a-prostredie.pdf>
 3. BURANSKÁ, Eva. *Manažment rezných kvapalin* [online]. Žilina: Strix et SSŽP, 2017 [cit. 2022-02-19]. ISBN 978-80-89753-17-8. Dostupné z: https://www.sszp.eu/wp-content/uploads/2017_conference_IBP_p-124_BuranskaE_f34.pdf
 4. SIKORA, Kamil a Antonín TREFIL. *Procesní média* [online]. 2014 [cit. 2022-02-25]. Dostupné z: <https://kamil-sikora.webnode.cz/files/200000090-99a5b9c11e/Procesn%C3%AD%20m%C3%A9dia.pdf>
 5. BILAL NAIM SHAIKH, Mohd a Mohammed ALI. Turning of steels under various cooling and lubrication techniques: a review of literature, sustainability aspects, and future scope. *Engineering Research Express* [online]. 2021, 2021-12-01, **3**(4), 7 [cit. 2022-02-25]. ISSN 2631-8695. Dostupné z: doi:10.1088/2631-8695/ac2e10
 6. GELETA, Vojtech, Michal BACHRATÝ a Marian KRÁLIK. *Technológia II: Technológia obrábania* [online]. Bratislava, 2020 [cit. 2022-02-25]. Dostupné z: <http://www.kvs.usetm.sk/TOaM/Technologia%20II.pdf>
 7. NOBREGA, Glauco, Reinaldo R. DE SOUZA, Inês M. GONÇALVES, Ana S. MOITA, João RIBEIRO a Rui A. LIMA. Recent Developments on the Thermal Properties, Stability and Applications of Nanofluids in Machining, Solar Energy and Biomedicine. *Applied Science* [online]. 2022, **12**(3), 1115 [cit. 2022-03-05]. Dostupné z: doi:10.3390/app12031115
 8. VAMSI KRISHNA, Pasam, Revuru R. SRIKANT, Rapeti PADMINI a J. VISWADITYA. *Application of nanomaterials as coolants/ lubricants in machining* [online]. Chennai (India): IEEE, 2013 [cit. 2022-03-05]. ISBN 978-1-4799-1379-4. Dostupné z: doi:10.1109/ICANMEET.2013.6609389
 9. PÍŠKA, Miroslav et al. *Speciální technologie obrábění*. 1. vyd. Brno: CERM, s. r. o., 2009. 252 s. ISBN 978-80-214-4025-8.
 10. BARÁNEK, Ivan. *Moderná výroba* [online]. Plzeň, 2015 [cit. 2022-03-06]. Dostupné z: <https://dspace5.zcu.cz/bitstream/11025/16106/1/Baranek.pdf>
 11. HAVRILA, Michal. *Vysokorychlostné obrábanie*. *Engineering* [online]. [cit. 2022-03-13]. Dostupné z: <https://www.engineering.sk/clanky2/stroje-a-technologie/421-vysokorychlostne-obrabanie>
 12. *Vrtanie hlbokých otvorov* [online]. [cit. 2022-03-17]. Dostupné z: <http://www.kvs.usetm.sk/E-learning%20Technol%C3%B3gia%20/V%C5%95tanie/V%C5%95tanie%20hlbok%C3%BDch%20otvorov/V%C5%95tanie%20hlbok%C3%BDch%20otvorov.htm>
 13. STANČEKOVÁ, Dana. *Brúsenie* [online]. 2017 [cit. 2022-03-18]. Dostupné z: <https://kovt.uniza.sk/files/projekty/kega022-2017/sk/2-brusenie.pdf>
 14. HOLEŠOVSKÝ, František a Martin NOVÁK. *Vliv PROCESNÍ KAPALINY PŘI BROUŠENÍ* [online]. Plzeň, 2009 [cit. 2022-03-18]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/43370638-Vliv-procesni-kapaliny-pri-brouseni.html>
-

-
15. DADO, Miroslav a Jana RUSKOVÁ. *Environmentálne kritériá optimalizácie výberu rezných kvapalín* [online]. Žilina: Strix, 2009 [cit. 2022-04-02]. ISBN 978-80-89281-56-5. Dostupné z: http://mazp2009.proenviro.org/Clanky/C/c_Dado_Ruskova.pdf
 16. WU, Xifeng, Changhe LI a Zongming ZOU. Circulating purification of cutting fluid: an overview. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* [online]. 2021, **117**(9), 2565–2600 [cit. 2022-04-08]. Dostupné z: doi:10.1007/s00170-021-07854-1
 17. *Rozdiel medzi aeróbnym a anaeróbnym čistením odpadových vôd* [online]. [cca 2017] [cit. 2022-04-09]. Dostupné z: <https://sk.sawakinome.com/articles/science--nature/difference-between-aerobic-and-anaerobic-wastewater-treatment-2.html>
 18. DEBNATH, Sujan, Moola M. REDDY a Qua SOK YI. Environmental friendly cutting fluids and cooling techniques in machining: a review. *Journal of Cleaner Production* [online]. 2014, (83), 33-47 [cit. 2022-04-24]. ISSN 0959-6526. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.07.071>
 19. KROL CZYK, G. M., J. B. KROL CZYK, S. WOJCIECHOWSKI, M. MIA, P. NIESLONY a G. BUDZIK. Ecological trends in machining as a key factor in sustainable production – A review. *Journal of Cleaner Production* [online]. 2019, (218), 601-615 [cit. 2022-04-25]. ISSN 0959-6526. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.02.017>
 20. GOINDI, Gyanendra S. a Prabir SARKAR. Dry machining: A step towards sustainable machining – Challenges and future directions. *Journal of Cleaner Production* [online]. 2017, (165), 1557-1571 [cit. 2022-04-25]. ISSN 0959-6526. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.07.235>
 21. Metal working fluid. In: *Ncheurope* [online]. [cit. 2022-02-13]. Dostupné z: <https://www.ncheurope.com/sk/solutions/lubricants/metal-working-fluid>
 22. Parting jet hp. In: *Iscar* [online]. [cit. 2022-02-13]. Dostupné z: <https://www.iscar.com/products.aspx/lang/sk/productid/10169>
 23. SK vrták s vnútorným chladením D4.6. In: *Strojnisveraky* [online]. [cit. 2022-02-13]. Dostupné z: <https://www.shop.strojniveraky.cz/sk/produkty/sk-vrtak-s-vnutornym-chladenim-d4-6-detail>
 24. BASICTURN-nove-kryty. In: *Strojimport* [online]. [cit. 2022-02-25]. Dostupné z: <https://www.strojimport.cz/maschinen/svisle-obrabeci-centrum-basicturn/>
 25. Univerzálna CNC brúska EGM 450. In: *Freyacnc* [online]. [cit. 2022-03-18]. Dostupné z: <https://freyacnc.com/produkt/univerzalna-cnc-bruska-egm-450/>
 26. CHRÁST, Vlastimil, Jan MAREČEK, Dalibor KRYL a Tomáš MAREK. Odebíraní třísky při HSC obrábění rychlostí 600 m.min-1. In: *Mmspektrum* [online]. 2011 [cit. 2022-03-12]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/hsc-obrabeni-rotacnich-obrobku>
 27. Cutter Sets New Standard for Heavy Hogging. In: *Moldmakingtechnology* [online]. 2015 [cit. 2022-03-12]. Dostupné z: <https://www.moldmakingtechnology.com/articles/cutter-sets-new-standard-for-heavy-hogging>
 28. Ponorné frézování. In: *Sandvik coromant* [online]. [cit. 2022-03-12]. Dostupné z: <https://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/knowledge/milling/milling-holes-cavities-pockets/pages/plunge-milling.aspx>
-

29. Trochoidné Hrubovanie Objemu detail. In: *Ipmsolutions* [online]. [cit. 2022-03-13]. Dostupné z: <https://www.ipmsolutions.sk/sk/technicke-informacie/trochoidne-frezovanie-creo-3-0.html>
30. MICRO - frézka Proxxon MF 70 27110. In: *Gme* [online]. [cit. 2022-03-13]. Dostupné z: <https://www.gme.cz/micro-freza-proxxon-mf-70-27110>
31. *Chladiaca kvapalina na rezanie hliníka* [online]. c2022 [cit. 2022-05-07]. Dostupné z: <https://johar.ru/sk/disasters/sozh-dlya-obrabotki-alyuminiya-rezaniem-suhaya-i-polusuhaya-mehanicheskaya/>
32. *Priemysel'né mazivá* [online]. 2021 [cit. 2022-05-08]. Dostupné z: <https://stap-tn.sk/wp-content/uploads/2021/04/KATALOG-COGELSA.pdf>
33. *ADRANA A 2859* [online]. [cit. 2022-05-08]. Dostupné z: <https://www.lubstar.cz/upload/files/sk/tl-adrana-a-2859.pdf>
34. *Garia 404 M-10* [online]. [cit. 2022-05-08]. Dostupné z: <https://www.lubstar.cz/upload/files/sk/tl-garia-404-m-10.pdf>
35. RYPÁK, Vojtech. *Spôsoby frézovania* [online]. [cit. 2022-05-08]. Dostupné z: <http://158.193.206.190:8080/joomla3/index.php/obsluha/zaklady/sposoby-frezovania>
36. Zeta potenciál. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2021 [cit. 2022-05-08]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Zeta_potenci%C3%A1l

ZOZNAM POUŽITÝCH SYMBOLOV A SKRATIEK

Symboly

Označenie	Legenda	Jednotka
λ	súčiniteľ tepelnej vodivosti	$[W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}]$.
a	súčiniteľ teplotnej vodivosti	$[m^2 \cdot s^{-1}]$
α	súčiniteľ prestupu tepla medzi obrobkom a nástrojom	$[J \cdot m^{-2} \cdot s^{-1} \cdot K^{-1}]$
σ	zmáčavosť procesnej kvapaliny	$[mm^2 \cdot s^{-1}]$
L	hĺbka diery	$[mm]$
D	priemer diery	$[mm]$
\dot{Q}_{SKC}	prietok kvapaliny pri celokarbidových vrtákoch	$[l \cdot min^{-1}]$
\dot{Q}_{VBD}	prietok kvapaliny pri vrtákoch s VBD	$[l \cdot min^{-1}]$
$\dot{Q}_{páj}$	prietok kvapaliny pri vrtákoch so spájkovanými doštičkami	$[l \cdot min^{-1}]$
p	tlak procesnej kvapaliny	$[bar]$
ζ	zeta potenciál	$[mV]$

Skratky

Označenie	Legenda
EP	extreme pressures additives
BTA	boring and trepanning association
STS	single tube system
DTS	two-pipe system
HSC	high speed cutting
HFC	high feed cutting
HFM	high feed milling
HPC	high performance cutting
HSPC	high speed precision cutting
NC	numeric control
CNC	computer numeric control
VBD	vymeniteľná britová doštička
CAD	computer aided design
CAM	computer aided manufacturing
MQL	minimum quantity lubrication
MQCL	minimum quantity cooling lubrication

ZOZNAM PRÍLOH

- Príloha 1 Vodou miešateľné chladiaco-mazacie kvapaliny bez formaldehydu
Príloha 2 ADRANA A 2859
Príloha 3 Garia 404 M-10
Príloha 4 Trochoidné frézovanie
Príloha 5 Zeta potenciál


VODOUMIEŠATEĽNÉ CHLADIACO-MAZACIE KVAPALINY BEZ FORMALDEHYDU

PRODUKT	TYP EMULZIE	TVRDOŠŤ VODY (*fH)	POPIS A POUŽITIE
CUTTINSOL GREEN 102	Zelená/ priehľadná	0-80	Syntetická vodoumiešateľná chladiaco-mazacia kvapalina na báze dusitanov určená na brúsenie („zelené chladivo“).
ULTRASOL 50 R	Priehľadná	0-40	Syntetický produkt určený na brúsenie a ľahké obrábanie odliatkov z ocele a zliatin železa.
ULTRASOL HM-S	Priehľadná	0-40	Syntetický produkt určený na brúsenie a na ľahké a stredne obrábanie tvrdých kovov a ocelí.
ULTRASOL 075 NS	Priehľadná	0-90	Syntetická vodoumiešateľná chladiaco-mazacia kvapalina, bez mineralného oleja. Neobsahuje bór. Určená na brúsenie a obrábanie železných kovov, liatiny, tvárnej liatiny a uhlíkových ocelí strednej a nízkej obťažnosti. Môže sa použiť na bežné obrábanie hliníka.
CUTTINSOL 5	Mliečna	0-40	Vodoumiešateľná chladiaco-mazacia kvapalina na minerálnej báze. Určená na obrábanie všetkých kovových materialov. Ľahké a všeobecné obrábacie operácie. Bez obsahu bóru, chlóru, dusitanov a aminorov.
CUTTINSOL 231	Opaleskujúca	0-30	Polysyntetická chladiaco-mazacia kvapalina na obrábanie a brúsenie ocele a v niektorých prípadoch aj hliníka.
ULTRASOL 210	Opaleskujúca	0-30	Polysyntetická chladiaco-mazacia kvapalina určená na obrábanie a brúsenie ocele a v niektorých prípadoch aj hliníka.

Vodou miešateľné chladiaco-mazacie kvapaliny bez formaldehydu [32]

VODOUMIEŠATEĽNÉ CHLADIACO-MAZACIE KVAPALINY BEZ FORMALDEHYDU

PRODUKT	TYP EMULZIE	TVRDOŠŤ VODY (°F-H)	POPIS A POUŽITIE
ULTRASOL 335	Mliečna opaleskujúca	0-40	Vodoumiešateľná chladiaco-mazacia kvapalina na obrábanie a brúsenie oceli, nehrdzavejúcej ocele, liatiny a hliníka. Používa sa pre stredne ťažké a náročné obrábacie operácie.
ULTRASOL 631	Mliečna	0-30	Vodoumiešateľná chladiaco-mazacia kvapalina na obrábanie všetkých hliníkových zliatin, oceli a je kompatibilná so žltými kovmi. Používa sa pre stredne ťažké a náročné obrábacie operácie.
ULTRASOL E 55	Opaleskujúca	5-50	Vodoumiešateľná chladiaco-mazacia kvapalina, bez obsahu bóru, určená na obrábanie a brúsenie oceli, odliatkov a hliníka. Môže sa použiť v niektorých prípadoch na obrábanie žltých kovov a nie je vhodná pre galvanizovanie. Mazacie chladivo je založené na najmodernejších komponentoch, EP prísadách a antikoročných látkach, takže sa dá použiť v stredne ťažkých a ťažkých obrábacích operáciách.
ULTRASOL 671	Mliečna	15-80	Vodoumiešateľná chladiaco-mazacia kvapalina bez obsahu bóru a aminorov, na obrábanie žltých kovov.
ULTRASOL 440	Mliečna opaleskujúca	10-60	Polosyntetická vodoumiešateľná chladiaco-mazacia kvapalina s vysokým obsahom minerálneho oleja. Je vhodná na obrábanie ocele a hliníka, pri operáciách strednej a vysokej náročnosti. Pre mäkkú a strednú tvrdosť vody.
ULTRASOL 452	Mliečna opaleskujúca	20-70	Vodoumiešateľná chladiaco-mazacia kvapalina na obrábanie všetkých zliatin hliníka, oceli a kompatibilná so žltými kovmi. Používa sa pri operáciách strednej a vysokej náročnosti.
ULTRASOL 384	Mliečna opaleskujúca	10-70	Polosyntetická chladiaco-mazacia kvapalina pre obrábanie a brúsenie ocele, liatiny, nerez a hliníka.
CUTTINSOL 532	Mliečna opaleskujúca	0-30	Vodoumiešateľná obrábacia kvapalina novej generácie vhodná pre ocel, nehrdzavejúcu ocel, obrábanie liatiny a hliníka. Nie je vhodná pre pozinkované kusy. Je určená pre stredné a náročné obrábanie. Bez obsahu formaldehydu a baktericidov.

ADRANA A 2859

Vodou riediteľná kvapalina na opracovanie kovov

POPIS

Produkt ADRANA A 2859 je kvapalina spracovanie kovov s veľmi vysokou viskozitou, pre extrémne tlaky, neobsahujúci bór a amíny, vytvárajúce stabilnú mikroemulziu na základe vysoko kvalitného minerálneho oleja a polárnych mazacích aditív.

Výkon v náročných podmienkach je zaistený sadou pre extrémne látky s obsahom síry pre všetky druhy legovaných ocelí vrátane nerezových, v jednotlivých strojoch a centrálnych systémoch.

Produkt je navrhnutý pre mäkké až stredne tvrdé vody.

POUŽITIE

Produkt ADRANA A 2859 je odporúčaný pre náročné obrábanie hliníku so stredným až vysokým obsahom kremíku.

Výkon v náročných podmienkach je zaistený sadou pre extrémne tlaky a obsahom síry pre všetky druhy legovaných ocelí vrátane nerezových, v jednotlivých strojoch a centrálnych systémoch.

Produkt je navrhnutý pre mäkké až stredne tvrdé vody.

ODPORUČANÁ KONCENTRÁCIA

Bežné obrábanie	6 – 8 %
Náročné obrábanie	8 – 12 %

TYPICKÉ FYZIKÁLNE VLASTNOSTI

<i>Vzhľad koncentráty</i>	<i>Zahmlený hnedý olej</i>
<i>Špecifická hmotnosť pri 20°C</i>	0,96
<i>Faktor refraktometra</i>	0,9
<i>Vzhľad emulzie</i>	<i>Opalizujúca</i>
<i>pH pri použití</i>	8,7– 9,3

VÝHODY

- o Emulzia pre vysoké tlaky s vysokou mazacou schopnosťou - pri ťažších operáciách znižuje náklady na nástroje a vytvára lepšiu konečnú povrch
- o Bez bóru- bez kvalifikácie SVHC v REACH
- o Výborné čistiace schopnosti – čistejšie súčasti, obrábacie stroje a pracovné prostredie
- o Dobrá ochrana proti korózii – menej zrnčiek a nižšie náklady na údržbu
- o Veľmi nízka penivosť – ideálne pre vysoké tlaky a prietoky v mäkkých až stredne tvrdých vodách
- o Bez bóru, amínov a chlóru- veľmi dobrý profil EHS

SÚVISIACE PRODUKTY

Vodou rozpustné kvapaliny sú dopĺňované celým radom vysoko kvalitných, špeciálnych kvapalín, vrátane energeticky úsporných umývacích chemikálií, málo sa zahmlievajúcich rezacích olejov, prípravkov proti korózii bez obsahu VOC a kvapalín pre tepelné spracovanie s dlhou životnosťou. Služby starostlivosti o kvapaliny dopĺňajú naše portfólio služieb s pridanou hodnotou radom odborných služieb a vybavení, ktoré pomáha znižovať náklady a zlepšuje produktivitu. Pre ďalšie informácie kontaktujte miestneho zástupcu spoločnosti Houghton.

SKLADOVANIE

Informácie o manipulácii a skladovaní, vrátane skladovacej doby, nájdete v odd. 7 karty bezpečnostných údajov. Produkt je nutné skladovať zakrytý v čistom a suchom prostredí a chrániť pred mrazom. Odporúčaná teplota pre skladovanie je obvykle medzi 5 °C a 40°C, ak nie je uvedené inak. Používajte postup výmeny zo skladu po dodaní (FIFO).

ZDRAVIE A BEZPEČNOSŤ

Karty bezpečnostných údajov sú k dispozícii v súlade so Smernicou (ES) č. 1907/2006 Dodatok II, kde látky a zmesi spĺňajú kritéria Nariadenia Komisie (EÚ) č. 2015/830.

Garia 404 M-10

Čistý rezný olej

POPIS

GARIA 404 M-10 je založený na minerálnom oleji ošetrením vo vode s nízkym obsahom aromatických zlúčenín. Kombinácia polárnych aditív, aditív pre extrémne tlaky a aditív proti opotrebeniu vytvárajú olej s vlastnosťami dovoľujúcimi vysoké zaťaženie. Olej poskytuje dobrý konečný povrch vyrábaných obrobkov.

GARIA 404 M-10 obsahuje aktívnu síru a môže odbúravať žlté kovy. Olej neobsahuje zinok a chlór.

POUŽITIE

GARIA 404 M-10 je klasický olej pre hlboké vrtanie do materiálu so strednou alebo vysokou pevnosťou v ťahu.

Produkt GARIA 404 M-10 sa používa ako olej pre brúsenie, napr. homokinetických kĺbov s keramických a CBN brúsnymi kotúčmi a tiež pre vonkajšie brúsenie, napr. hriadele ventilov Nimonic.

Schválené spoločnosťou TBT.

ODPORÚČENIE PRE POUŽITIE

Olej Garia 404 M-10 sa používa neriedený tak, ako je dodaný.

TYPICKÉ FYZIKÁLNE VLASTNOSTI

Farba	Žltý olej	
Špecifická hmotnosť pri 20 °C	870	ASTM D 4052
Viskozita pri 40°C, mm ² /s	10	ASTM D 7042
Bod vzplanutia COC v C°	165	ASTM D 92
Bod topenia v °C	-16	ASTM D 97
Medená korózia	4b	ASTM D 130

VÝHODY

- Zvýšená produktivita – vysoká rýchlosť čistenia
- Znížené náklady – dlhá životnosť olejovej vane
- Bezpečná manipulácia – vysoký štandard EHS

SÚVISIACE PRODUKTU

Pre najlepšie výsledky odporúčame použiť radu produktov Houghton priemyselných mazív, čistidiel a ochrany proti korózii.

Pre ďalšie informácie kontaktujte miestneho zástupcu spoločnosti Houghton

SKLADOVANIE

Informácie o manipulácii a skladovaní, vrátane skladovacej doby, nájdete v odd. 7 Karty bezpečnostných údajov. Produkt je nutné skladovať zakrytý v čistom a suchom prostredí a chrániť pred mrazom. Odporúčaná teplota pre skladovanie je obvykle medzi 5 °C a 40 °C, ak nie je uvedené inak. Používajte postup výmeny zo skladu po dodaní (FIFO).

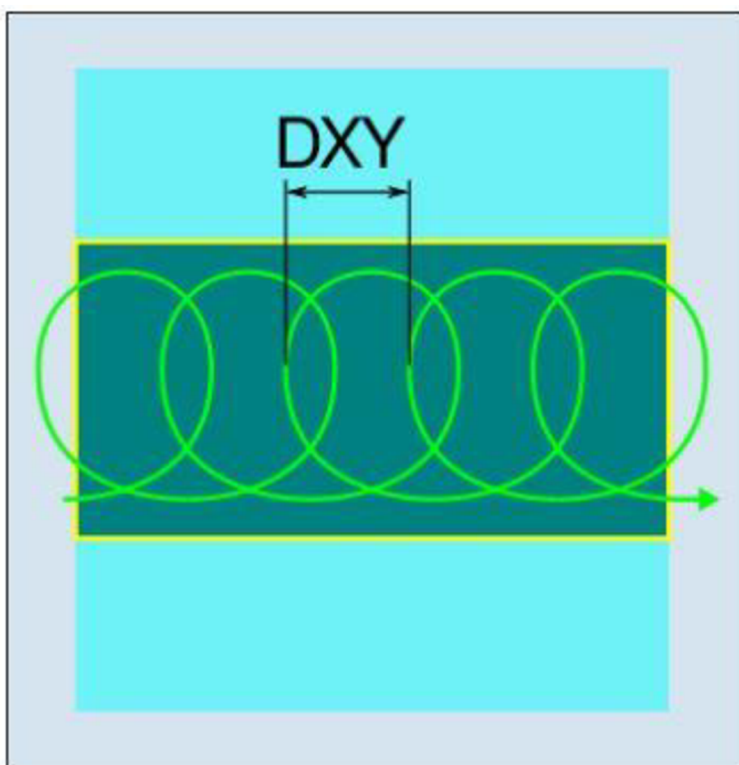
ZDRAVIE A BEZPEČNOSŤ

Karty bezpečnostných údajov sú k dispozícii v súlade so Smernicou (ES) č. 1907/2006 Dodatok II, kde látky a zmesi spĺňajú kritéria Nariadenia Komisie (EÚ) č. 2015/830.

Trochoidné frézovanie [35]

Trochoidné frézovanie je proces hrubovania, ktorý sa vykonáva kruhovými pohybmi a zároveň lineárnym pohybom dopredu. Používa sa pri hrubovaní pre malé hrúbky prísuvu do materiálu. Využíva sa pri obrábaní kontúry pri tvrdených a vysoko pevných materiáloch.

Obrába sa s veľkou hlbokou rezu a vysokou reznou rýchlosťou pri špeciálnych rezných podmienkach. V zábere je celková dĺžka reznej hrany pri použití reznej doštičky. Výsledkom je väčší objem triesok na zub. Hlavnou výhodou je kruhové ponorenie do materiálu, ktoré pôsobí na nástroj minimálne radiálne sily a tým pádom sa chráni mechanika stroja, čiže sa eliminujú oscilácie a zvyšuje sa úspora času.



Zeta potenciál [36]

Jedná sa o elektrokinetický potenciál v koloidných systémoch. Pôsobí na rozhraní medzi povrchovou vrstvou častice a okolitou kvapalinou. Zeta potenciál môže byť použitá pri príprave požadovaných suspenzií, kedy je možné redukovať čas pri príprave skúšobných látok a môže tiež slúžiť na predikciu dlhodobej stability roztokov. Meranie zeta potenciálu patrí k najjednoduchším a najpriamejším metódam na charakterizáciu povrchu nabitých koloidných sústav.

Zeta potenciál je elektrický náboj, vznikajúci na povrchu častice, ktorá príde do kontaktu s vodným roztokom. Následkom toho vzniká elektrický náboj na povrchu, ako dôsledok lokálnych voľných elektrónov v roztoku, ktoré majú tendenciu preskupovať sa do oblasti s nenulovým nábojom. Táto oblasť existuje v blízkosti rozhrania povrchu častice a roztoku. Usporiadanie nábojov na rozhraní pevná látka - kvapalina a nastolenie rovnováhy medzi protiónmi v kvapaline sa označuje ako elektrická dvojvrstva. To je kompaktná tenká vrstva iónov bezprostredne vedľa povrchu nabitej pevnej častice. Ióny tejto vrstvy sú nepohyblivé z dôvodu silnej elektrostatickej príťažlivej sily. Ióny v roztoku mimo tejto vrstvy sa voľne pohybujú. Zeta potenciál je elektrostatický potenciál na pomedzí rozdeľujúce kompaktnú vrstvu a difúznú vrstvu.