

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

**EKOLOGICKÉ
OBRÁBĚCÍ KAPALINY
NOVÉ GENERACE**

**Jan Jersák, Alexey Popov
a kolektiv autorů**

Liberec 2014

Publikace souvisí s řešením projektu TA02021332 realizovaného za finanční podpory z prostředků státního rozpočtu prostřednictvím České republiky - Technologické agentury České republiky.

Na přípravě jednotlivých částí publikace se podíleli:

Ing. Andrey Dugin - TU v Liberci
doc. Ing. Jan Jersák CSc. - TU v Liberci
Ing. Jiří Karásek - TU v Liberci
Ing. Miloslav Ledvina - TU v Liberci
Ing. Pavel Němec - PARAMO, a.s.
Ing. Bc. Jan Pavlík DiS. - PARAMO, a.s.
prof. Ing. Alexey Popov, DrSc. - TU v Liberci
Ing. Lucie Schmidová - TU v Liberci

© JERSÁK,J., POPOV, A. a kolektiv autorů

Recenzent: prof. Dr. Ing. František Holešovský

ANOTACE:

Výzkumný projekt TA02021332 „Ekologické obráběcí kapaliny nové generace“ byl řešen ve společnosti PARAMO, a.s. a na pracovištích Technické univerzity v Liberci. Projekt spojil dvě oblasti průmyslu - aplikovanou chemii a strojírenství.

Cílem výzkumného projektu byl vývoj, testování a poloprovozní ověření zcela nové generace ekologických kapalin pro obrábění, které v maximální míře garantují ochranu zdraví, ekologické požadavky a zaručují maximální produktivitu při požadované kvalitě povrchu obrobků. Ve společnosti PARAMO, a.s. byly vyvinuty nové formulace procesních kapalin, které jsou šetrné k obsluze obráběcích strojů, vyznačují se snadnou biologickou odbouratelností a dají se snadno likvidovat. V laboratořích Technické univerzity v Liberci byly vlastnosti nově vyvinutých procesních kapalin podrobně analyzovány při technologii soustružení, frézování, vrtání a broušení. Experimentálně byl hodnocen účinek kapalin na trvanlivost řezných nástrojů, příp. na řeznou sílu při broušení, na drsnost povrchu obrobků, na tvar vzniklých třísek, na ulpívání procesních kapalin na obrobcích, byla vyšetřována antiadhezní schopnost procesních kapalin a vliv procesních kapalin na magnetoelastický parametr, který charakterizuje stav povrchové vrstvy obrobků z hlediska zbytkového napětí, tvrdosti a mikrostruktury. Publikace je souhrnem nejdůležitějších poznatků, výsledků a závěrů, které byly během řešení výzkumného projektu shromážděny.

Publikace je určena pro pracovníky ze strojírenské praxe, technology a studenty strojních fakult vysokých škol.

ANNOTATION:

The science project TA02021332 „New generation of environmental friendly cutting fluids“ was solved by the company Paramo a. s. and by Technical University of Liberec. The project has combined two industry segments - applied chemistry and mechanical engineering.

The aim of the research project was to develop, test and pilot plant verification the new generation of environmental friendly cutting fluids, which guarantee a maximum level of health protection, environmental requirements and maximum productivity during the machining with the required surface quality of work pieces. Paramo a. s. has developed a new component of cutting fluids that are friendly to the machine tools, easily biodegradable and can be easily utilized. In the laboratory of the Technical University of Liberec the properties of newly developed cutting fluids were analyzed in detail during the turning, milling, drilling and grinding. Experimentally was evaluated the effect of cutting fluids on the durability of cutting tools, cutting forces during grinding, the surface roughness of the work piece, the shape of chips, the ability of cutting fluids to stick with the surface of work piece, the anti-adhesion properties of cutting fluids were tested as well as the effect of cutting fluids on the magnetoelastic parameter, which characterizes the condition of the surface of the work piece in terms of residual stress, hardness and microstructure. Publication is the summary of the most important knowledge, results and conclusions, which were collected during the whole period of the project running.

The publication is intended for specialists in mechanical engineering, machining, technology and students of mechanical engineering faculties of universities.

OBSAH

	str.
ÚVOD	6
1 VÝBĚR PROCESNÍ KAPALINY - DRUHY MÉDIÍ	7
1.1 Plynné prostředí	7
1.2 KapalnÉ prostředí	8
1.2.1 Metoda MQL (mlha)	8
1.2.2 Vodou mísitelné procesní kapaliny	9
1.2.3 Vodou nemísitelné procesní kapaliny	10
1.3 Tuhá maziva	11
2 VÝBĚR PROCESNÍ KAPALINY – PŘÍSAKY (ADITIVA)	12
3 VÝBĚR PROCESNÍ KAPALINY – ÚČINKY	13
4 PÉČE O PROCESNÍ KAPALINY	15
5 ZKOUŠENÍ A ANALÝZA PROCESNÍCH KAPALIN	17
5.1 Analýza procesních kapalin	17
5.2 Technologické zkoušky procesních kapalin	21
5.2.1 Zkoušky simulující reálný třecí kontakt	21
5.2.2 Strojní zkoušky obráběním	24
5.2.3 Další zkoušky	26
6 METODIKY EXPERIMENTŮ	29
6.1 Hodnocení vlivu procesních kapalin na trvanlivost při soustružení	29
6.2 Hodnocení vlivu procesních kapalin na trvanlivost při frézování	30
6.3 Hodnocení vlivu procesních kapalin na trvanlivost při vrtání	32
6.4 Hodnocení vlivu procesních kapalin na střední smluvní kolmou řeznou sílu při broušení	33
6.5 Trvanlivost nástroje při soustružení, frézování a vrtání	38
6.6 Hodnocení vlivu procesních kapalin na drsnost povrchu obrobených strojních součástí	40
6.7 Hodnocení vlivu procesních kapalin na tvar třísky při obrábění strojních součástí	43
6.8 Hodnocení ulpívání procesních kapalin na obrobku	45
6.9 Hodnocení antiadhezní schopnosti procesních kapalin	46
6.10 Hodnocení vlivu procesních kapalin na magnetoelastický parametr	50
7 VÝSLEDKY EXPERIMENTŮ	54
7.1 Výsledky hodnocení vlivu procesních kapalin na trvanlivost při soustružení	54

7.2	Výsledky hodnocení vlivu procesních kapalin na trvanlivost při frézování	59
7.3	Výsledky hodnocení vlivu procesních kapalin na trvanlivost při vrtání	63
7.4	Výsledky hodnocení vlivu procesních kapalin na střední smluvní kolmou řeznou sílu při broušení	66
7.5	Výsledky hodnocení vlivu procesních kapalin na drsnost povrchu obrobených strojních součástí	73
7.5.1	Drsnost povrchu po soustružení	73
7.5.2	Drsnost povrchu po frézování	74
7.5.3	Drsnost povrchu po vrtání	75
7.5.4	Drsnost povrchu po broušení	76
7.6	Výsledky hodnocení vlivu procesních kapalin na tvar třísky při obrábění strojních součástí	78
7.7	Výsledky hodnocení ulpívání procesních kapalin na obrobku	78
7.8	Výsledky hodnocení antiadhezní schopnosti procesních kapalin	80
7.9	Výsledky hodnocení vlivu procesních kapalin na magnetoelastický parametr	81
8	ZÁVĚR	84
	Seznam použité literatury	86

ÚVOD

Procesní kapaliny (PK) mohou díky svým chemickým i mechanickým vlastnostem proces obrábění významně ovlivnit. Účinky PK bývají ve větší míře pozitivní, ale existují i účinky negativní, které se snažíme minimalizovat. Hlavním požadavkem, kladeným na PK, je aby účinně zlepšovaly trvanlivost nástrojů a jakost obrobeného povrchu [4]. Díky svým fyzikálním vlastnostem mohou PK v těchto, i jiných parametrech dosáhnout lepších výsledků nežli tomu je při obrábění bez použití PK, při tzv. obrábění „na sucho“.

Mezi nejdůležitější účinky, které dokážou příznivě ovlivnit proces obrábění, patří účinek chladicí, mazací, čistící, vliv PK na tvorbu nárůstků, na vlastnosti povrchové vrstvy obrobku a na teplotní stabilizaci obrobku. Během procesu obrábění se většina dodané práce mění na teplo. Teplo vzniká především jako důsledek plastické deformace v oblasti oddělování třísky nebo při tření třísky po čele nástroje a mezi třískou a obrobkem v oblasti tření hřbetu. Zbylá energie se transformuje na energii elastickou [26], [20]. Teplo a kontaktní tlak patří mezi hlavní činitele způsobující vznik nárůstku na břitu řezného nástroje a je jednou z nejpodstatnějších příčin jeho postupného otupení. Pokud se daří místo řezu účinně chladit, podstatně se tím snižuje opotřebení řezného nástroje. Díky tomu lze změnit řezné podmínky (oproti obrábění „na sucho“) tak, aby se urychlila a tedy i zefektivnila výroba, aniž by docházelo k zásadnímu zkrácení trvanlivosti nástroje. Velmi významným faktorem je i mazací schopnost PK. Ta má příznivý vliv na jakost povrchu obráběné součásti a také podstatně snižuje řezný odpor. Tím se snižuje výkon potřebný pro danou operaci obrábění a snižuje vznik nežádoucího tepla. Kromě mazacích a chladicích schopností mají PK řadu dalších příznivých vlastností, např. usnadňují odvod třísky z místa řezu, omezují vznik nárůstků, mají konzervační schopnosti, apod.

Naopak z hlediska možného vzniku kožních nemocí při používání PK, příp. z hlediska bezpečnosti při likvidaci použitých PK, představují procesní kapaliny v kovoobráběcím průmyslu také určité riziko. Čím dál tím více se proto u PK dostávají se do popředí další zásadní požadavky na zdravotní nezávadnost a environmentální šetrnost. Tyto důvody vedou k vývoji a zkoušení nových druhů procesních kapalin.

Tato publikace vznikla v souvislosti s řešením výzkumného projektu, který je zaměřen na vývoj nové generace procesních kapalin pro obrábění. Hlavní myšlenkou projektu bylo pro nejčastější případy obrábění vyvinout takové procesní kapaliny, které budou šetrné k obsluze obráběcích strojů, šetrné k životnímu prostředí a budou také efektivní z hlediska produktivity a kvality povrchu obrobených strojních součástí. Publikace čtenáři předkládá nejdůležitější výsledky a poznatky shromážděné během řešení tohoto výzkumného projektu.

1. VÝBĚR PROCESNÍ KAPALINY – DRUHY MÉDIÍ

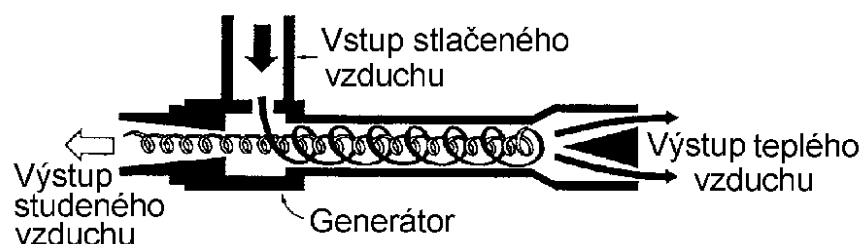
Procesní médium je důležitý faktor, který ovlivňuje proces obrábění především svým účinkem chladicím a mazacím. Procesní prostředí odvádí teplo z místa jeho vzniku, snižuje tření v místě kontaktu nástroje s třískou a obrobenu plochou, snižuje intenzitu otupování nástroje, zlepšuje jakost obrobenu plochy a odvádí třísky z místa řezu. Přirozeným procesním médiem je vzduch obklopující místo řezání, který ovšem nedosahuje tak výhodných chladicích i mazacích účinků, jako uměle vytvořená média (viz tab. 1).

Tab. 1. Obecné rozdělení typů procesního prostředí [23]

Rozdělení procesního prostředí		
Skupina	Podskupina 1	Podskupina 2
Plynné	Vzduch Interní pln	
Kapalné prostředí	Mlha	
	Vodou mísitelné	Minerální Polosyntetické Syntetické Speciální
	Vodou nemísitelné	Rostlinné Syntetické Minerální Koncentráty vysokotlakých přísad
Tuhá maziva		

1.1 Plynné prostředí

Vzduch



Obr. 1 Princip Rangue – Hilschovy vírové trubice [24]

Nespornou výhodou vzduchu, jako přirozeného procesního média, je jeho dostupnost. Úsilí vytváříme pouze tehdy, pokud vzduch např. stlačujeme a používáme na ofukování nástroje a obrobku za účelem chlazení místa řezu a jeho očištění od nežádoucích třísek. Pro zvýšení chladicího účinku je možné vzduch také podchládit, k tomu je nutné použít speciálního zařízení např. Rangue - Hilschovy vírové trubice, jež je znázorněna na obr. 1 [24], [20].

Inertní plyn

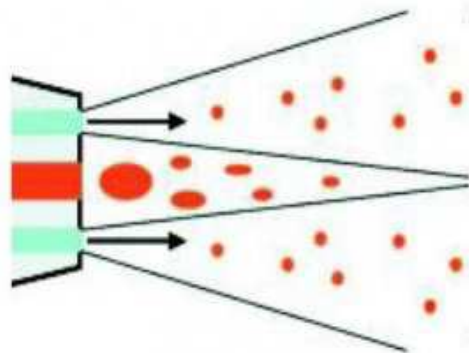
V praxi je inertní plyn používán pouze výjimečně. V minulosti byly prováděny různé experimenty, při kterých byl přiváděn stlačený plyn z tlakové nádoby do místa řezu za účelem ochlazení místa řezu a zamezení nevhodných chemických reakcí jako je například oxidace. Tato metoda se však ukázala jako poměrně drahá a náročná z důvodu nutné úpravy strojů.

1.2 Kapalně prostředí

Je to hojně využívané procesní prostředí, které má oproti plynnému lepší mazací i chladicí schopnost. Tekutá maziva se dělí na dvě hlavní skupiny: na vodu mísitelné a vodu nemísitelné procesní kapaliny. Tyto skupiny se dále dělí (viz tab. 1).

1.2.1 Metoda MQL (mlha)

Jedná se o metodu, kdy je při obrábění do místa řezu dodáváno minimální množství PK (obr. 2).



Obr. 2 Tvorba aerosolu v koaxiální trysce [21]

Díky minimálnímu množství použité PK (při optimálním seřízení méně než 50 ml/hod) se značně sníží zdravotní rizika pro obsluhu stroje i šetrnost k životnímu prostředí. Pokud je používán kvalitní mikromazací systém, nedochází ke vzniku odpadu z použité PK, jelikož se cca 70 - 80% PK spotřebuje v místě řezu a zbytek zůstává na obrobku jako ochrana proti korozi. Tím současně odpadají náklady na likvidaci použité PK. O mikromazání se jedná, pokud je PK dopravována do místa řezu pomocí tlakového vzduchu ve formě aerosolu. Tato metoda je vhodná především pro

operace vrtání, vystružování a řezání závitů do oceli, šedé litiny nebo slitin hliníku. Nevýhodou této technologie je, že zbytky PK ulpívají na stroji a obrobku spolu s nečistotami z okolí [2], [3], [20].

1.2.2 Vodou mísitelné procesní kapaliny

Emulze

Emulze jsou tvořeny z velké části vodou, zpravidla se jedná o emulze typu „olej rozpuštěný ve vodě“. Voda je v PK obsažena nejčastěji v koncentraci 90 - 99%. Naopak PK typu „voda rozpuštěná v oleji“ se v praxi využívají málo. Voda je levnou a dostupnou surovinou, která se vyznačuje zejména velmi dobrým odvodem tepla, což je dáno její velkou tepelnou kapacitou. Cena vody je mnohonásobně nižší oproti čistým řezným olejům. Surová voda má ovšem také řadu negativních vlastností, které ji nedovolují použít jako procesní kapalinu. Surová voda má vysokou tvrdost, tedy velký obsah různých solí způsobujících na kovovém povrchu těžko odstranitelné usazeniny, které zalepují funkční plochy strojů. Mimo to vznikají mýdla, jež jsou příčinou pění PK, což má za následek snižování chladicího účinku. Dalším problémem je korozní účinek vody na železo. Voda nemá ani dostatečné mazací schopnosti, které by pomohly snížit tření při procesu obrábění, a její nízký bod varu způsobuje nežádoucí nadměrné odpařování. Vysoké povrchové napětí má za následek špatné smáčení kovů a odmršťování kapek z horkých ploch, což snižuje chladicí účinek. Proto je nutné zajistit potřebné mazací, chladicí i jiné potřebné vlastnosti pomocí různých přísad. Tím finálně vznikají vodné roztoky [4]. Protože voda tvoří velmi dobré životní prostředí pro mikroorganismy, je nutné věnovat vodou mísitelným PK daleko větší péči než je tomu u „čistých“ řezných olejů [3], [4], [20].

Minerální kapaliny

„Minerální“ kapaliny se řadí svým charakterem mezi koloidní, heterogenní, tedy nepravé roztoky dvou nebo více látek těžko mísitelných nebo nemísitelných. Olejová část je u těchto PK ve formě drobných kapiček o velikosti 10^{-7} až 10^{-9} m rozdispergovaných ve vodě. Emulgátory jsou přísady měnící povrchové napětí oleje a zajišťující stabilní disperzní prostředí pro olej rozptýlený ve vodě [3], [4].

Syntetické a polosyntetické kapaliny

Jsou to průhledné kapaliny na bázi polyglykolů a esterů, které neobsahují olejovou složku (syntetické kapaliny), příp. pouze její malé množství (polysyntetické kapaliny). Za polosyntetické kapaliny označujeme ty, které obsahují 5 - 30% minerálního oleje [29]. Tyto PK patří mezi poměrně nové druhy kapalin ředitelných vodou. Dříve se jich využívalo jen zřídka z důvodů jejich vysoké ceny. Mají vlastnosti jako kapaliny emulgační, ale liší se především svojí vyšší stálostí proti působení bakterií. Také mají menší negativní vliv na životní prostředí. Syntetické a polosyntetické kapaliny se většinou používají pro operace broušení. Jsou vhodné pro operace s velkou

řeznou rychlostí. Na rozdíl od PK založených na ropném základě je možné předem určit jejich fyzikální vlastnosti [29].

Speciální kapaliny

Jsou to kapaliny určené pouze pro určitou specifickou oblast použití. Tyto kapaliny se používají jednoúčelově pro neobvyklé typy obrábění.

1.2.3 Vodou nemísitelné procesní kapaliny

Vodou nemísitelné procesní kapaliny nazýváme řezné oleje. Jsou vhodné pro dokončovací operace typu honování a lapování, kde jsou poměrně nízké řezné rychlosti a kde se vyžaduje vysoká jakost povrchu (obr. 3).



Obr. 3 Nové typy HC olejů [20]

Řezné oleje mají oproti vodou mísitelným PK řadu výhod. Absence vody eliminuje korozi a také velmi snižuje riziko vzniku a rozšíření bakterií v mazivu, mají velmi dobrou mazací schopnost, dobrý chladicí účinek (avšak nižší chladicí účinek než vodou mísitelné PK). Vodou nemísitelné PK nemají problémy s korozí ani s narušováním strojních součástí, které se s nimi dostávají do styku. S tím souvisí i další pozitivní vlastnost a to snášenlivost s ostatními, nejčastěji mazacími oleji, které mohou PK znečistit od okolních strojních součástí. Do vodou nemísitelných procesních kapalin se dodávají různé přísady, které lze rozdělit do tří základních skupin:

- mastné látky,
- organické sloučeniny obsahující S, Cl a P,

- pevná maziva.

Dodávané látky rostlinného původu mají dobrý mazací a řezný účinek. Oproti ropným olejům rychleji stárnou a díky tomu dochází k vylučování jejich oxidačních produktů, což vede ke zvýšení jejich viskozity a navíc dochází ke zhoršení schopnosti oplachu PK. Při obrábění s pomocí těchto PK vznikají kovová mýdla, která mají příznivý vliv na proces obrábění. Bohužel vzniklá mýdla mají poměrně nízký bod hoření, a proto se používají jen do omezené řezné rychlosti cca $v_c = 30$ m/min [20].

Minerální oleje

Hlavní složkou je minerální (též zvaný ropný) olej [1]. Minerální olej se získává frakční destilací ropy. Je to průhledný bezbarvý olej složený především s alkanů (typicky s 15 až 40 atomy uhlíku v molekule) a cyklických parafínů. Jeho velkou výhodou je snadná dostupnost a nízká cena, proto jsou minerální oleje vyráběny ve velkých množstvích.

Oleje se vyznačují dobrou mazací schopností ale horším chladicím účinkem. Mají velmi dobrou odolnost proti stárnutí a velmi dobrý ochranný účinek. Nepodléhají bakteriálnímu rozkladu.

Syntetické oleje

Syntetické oleje jsou založeny na bázi polyglykolu. Mezi jejich kladné vlastnosti bezesporu patří jejich dlouhá životnost, která je mimo jiné způsobena faktem, že v PK nedochází k bakteriálnímu rozkladu. Z toho částečně vyplývá i jejich zdravotní a ekologická nezávadnost, na kterou je v poslední době kladen vyšší důraz. Další výhodou syntetických olejů jsou poměrně vysoké body jak vzplanutí, tak i tuhnutí, což může usnadnit proces obrábění [3], [4], [29].

Koncentráty vysokotlakých přísad

Koncentráty vysokotlakých přísad se používají ve směsi s jinými PK, zpravidla ropnými oleji. Jedná se o různé koncentrace v závislosti na řezných podmínkách. Koncentráty vysokotlakých přísad mají velký vliv na tvoření nárůstku. Aktivní látky obsažené v koncentrátu se vážou na kovový povrch nástroje i obrobku a zabraňují přímému styku „kov na kov“ a tím i samotné tvorbě nárůstku. Bohužel tyto aktivní látky, například chlor, zvyšují účinky koroze a proto je vhodné po skončení operace očistit stroj, popř. nakonzervovat obrobek. Tyto PK se nejčastěji používají při výrobě závitů, výrobě ozubení a to při řezných rychlostech okolo 2 - 20m/min [4], [29].

1.3 Tuhá maziva

Tuhá maziva jsou v průmyslové výrobě využívána poměrně málo, většinou se jedná o různé brusné pasty apod. Tato maziva se nejčastěji používají při drobných ručních pracích.

2. VÝBĚR PROCESNÍ KAPALINY – PŘÍSADY (ADITIVA)

Jsou to látky přidávané do jiných látek nebo směsí za účelem zlepšení či změny jejich vlastností. U PK se jedná o zlepšení jejich vlastností a to jak mechanických, jako například přenos vysokých tlaků vznikajících v PK, tak i chemických vlastností, jako je chemická stálost PK.

Mastné látky

Do skupiny mastných látek patří zmydelnitelné mastné oleje, mastné kyseliny nebo syntetické estery [4]. Pomocí těchto látek dojde k značnému zvýšení přilnavosti oleje ke kovu, zvýší se tím mazací schopnost PK a sníží tření. Bohužel se tyto příznivé vlastnosti neprojevují při vysokých tlacích. Proto se nejčastěji mastné látky používají v kombinaci s ostatními přísadami. Většinou se prvky přísad do PK vnášejí oxidací, chlorací nebo sířením. Díky tomu se docílí lepšího přenosu vysokých tlaků, které vznikají při procesu obrábění.

Organické sloučeniny S, Cl a P

Skupina organické sloučeniny síry, chlóru a fosforu obsahuje organické prvky, jejichž velkou předností je příznivé přenášení vysokých tlaků vznikajících v PK během obrábění. Během odřezávání třísky při obrábění se s výhodou využívá fakt, že povrchy nástroje i třísek jsou kovově čisté, tedy bez jakékoliv oxidace. Vzniká mikroskopická vrstva kovových mýdel, která chrání řezný nástroj. Sloučeniny obsahující chlór snižují tření více nežli síra, avšak síra má tu výhodu, že její účinnost klesá až při teplotách cca 800°C na rozdíl od chlóru, který svou účinnost ztrácí již při teplotě cca 400°C. Sloučeniny s fosforem jsou ještě účinnější. Během výzkumu a vývoje se však ukázalo, že nejlepší řešení je kombinace všech těchto tří prvků, popřípadě jenom chlóru a síry. Přísady musí být vybírány velmi pozorně, musí být rozpustné v minerálním oleji, nesmějí nepoměrně zkracovat jeho pracovní stabilitu, nesmějí být za běžných podmínek korozivní a nesmějí být ani zdravotně závadné, což vylučuje někdy často velmi účinné PK [3], [4], [29], [20].

Pevné přísady

Pevná maziva, která se také uvádějí mezi přísadami do řezných olejů, působí na povrch kovu mechanickým účinkem. Svou afinitou ke kovu vytvoří tato maziva mezní vrstvu, odolnou proti tlakům, a zlepšují tak mazací schopnost oleje [4]. Mezi nejčastější přísady z kategorie pevných maziv patří například grafit nebo sulfid molybdeničitý. Mají však jednu velkou nevýhodu, a to nerozpustnost pevných přísad v PK, z toho vyplývá fakt, že pokud mají být PK dostatečně účinné, musí se pevné částice udržovat v koloidním (rozptýleném) stavu. Bohužel toto je dosti náročné a tudíž i nákladné dodržet a to vzhledem k velké měrné hmotnosti přísad (pevných částic). Právě z důvodů finanční náročnosti se tento druh přísad v praxi příliš nerozšířil.

3. VÝBĚR PROCESNÍ KAPALINY – ÚČINKY

Na prostředí, v němž se nachází třecí jednotka, se můžeme dívat jako na čtvrtý třecí prvek vedle dvou třecích povrchů a maziva [28]. Procesní prostředí ovlivňuje proces obrábění mnoha různými faktory, které mají na tento proces různé účinky. Některé faktory nejsou dodnes úplně zmapovány, proto se v praxi zabýváme těmi nejvíce důležitými. Nejdůležitějšími účinky PK při procesu obrábění jsou: účinek chladicí a mazací. Tyto dva účinky ovlivňují celý proces tvorby třísky a s ním spojené silové účinky vznikající v průběhu obrábění. Kromě těchto dvou základních účinků se někdy uplatňuje další důležitý účinek čistící [3] i další účinky. Obecně mají PK na proces obrábění podstatný vliv, který může mít za následek zkvalitnění a zlevnění výroby. Hlavním úkolem PK je zajistit obrábění s největší hospodárností. To znamená především dosažení trvanlivosti řezných nástrojů a jakosti obráběného povrchu při malé spotřebě energie [4].

Mazací účinek

Podmínkou účinného mazání je vytvoření vrstvy PK bránící přímému styku kovových povrchů. Tato vrstva musí odolávat tlakům vznikajícím při obrábění. Tím se podstatně snižuje tření mezi nástrojem a obrobkem a mezi nástrojem a třískou. Tlaky při obrábění jsou natolik vysoké, že neumožňují pouze kapalinné tření. Avšak pokud má kapalina dostatečnou přilnavost (afinitu) nebo pokud se k obrobku váže chemicky a její mikroskopická mezní vrstva má malý součinitel tření, může tak být dosaženo tření mezního. Nižší tření znamená i menší řezný odpor. To snižuje výkon stroje a především energii potřebnou pro obrábění. Menší tření se projeví plynulejším chodem stroje a lepší kvalitou obrobeneho povrchu, proto je mazací účinek zásadní hlavně pro dokončovací operace. Důležitá je také viskozita PK. Vyšší viskozita znamená lepší pevnost mezní vrstvy, ovšem současně se snižuje schopnost PK pronikat do míst, kde dochází ke tření a navíc se snižuje teplo odvedené PK. Mazací účinek se dá velmi těžko vyjádřit a záleží především na mechanických vlastnostech mezní vrstvy [3], [4], [29].

Chladicí účinek

Chladicí účinek udává schopnost kapaliny odvádět teplo vyprodukované při obrábění z místa řezu. Velikost tepla vznikajícího v místě řezu je závislá na řezných podmínkách, zejména na řezné rychlosti, hloubce záběru a také na mechanických vlastnostech materiálu apod. Vzhledem ke zvyšujícím se nárokům na produktivitu práce se především vlivem vysokých řezných rychlostí zvyšuje množství tepla, které je nutné odvádět. Pokud by se teplo neodvádělo z místa řezu, docházelo by k jeho hromadění v oblasti řezání. Důsledkem by byl vznik nepřesností rozměrů obrobeneých součástí, docházelo by ke změně mechanických vlastností v povrchové vrstvě obrobků a k rychlému opotřebení nástroje. Zvláště důležitý je odvod tepla u nástrojů, kde hrozí znehodnocení vlivem popouštění vysokými teplotami např. u rychlořezné oceli. Teplo se většinou odvádí proudem PK, která v místě řezu oplachuje nástroj, obrobek

i třísku. Zde dochází k předání tepla do PK. Částečně dochází i k vypařování PK. To je však nežádoucí pro obsluhu stroje ze zdravotních důvodů, tak i z důvodu ztráty části PK. V případě velké intenzity odpařování PK je třeba zajistit odsávání vznikajících par a to je nevhodné. Odvedené teplo se během oběhu a v nádrži vyzáří do okolního prostředí. Hlavní vliv na chladicí účinky PK mají tyto vlastnosti: povrchové napětí (čím je menší, tím se zvětšuje smáčecí schopnost), výparné teplo, rychlost vypařování za určitých teplot, tepelná vodivost a měrné teplo. Důležitá je i pěnivost PK. Pokud při obrábění vzniká nežádoucí pěna, snižuje se chladicí schopnost PK [3], [4], [29].

Čistící účinek

Vysoký čistící účinek mají především kapaliny s malou viskozitou a bez aktivních přísad. Čistící účinek je velmi důležitý především u technologie broušení, kde je nutné rychle odvádět třísky z místa řezu za účelem snížení tepla v místě řezu, které zde vlivem velmi vysokých řezných rychlostí a nedokonalé geometrie nástroje vzniká. To má za následek zlepšení drsnosti povrchu [3], [4], [29]. Stejně důležitý je tento účinek také u technologie vrtání hlubokých otvorů.

Během obrábění dochází ke znečišťování PK jak třískami vznikajícími při obrábění, tak také zanášením různých nečistot z ovzduší (prach apod.). To s sebou nese řadu problémů. Dochází ke zvýšenému otupení nástrojů i zhoršení jejich řezných vlastností. Znečištění také může poškodit samotné obráběcí stroje respektive jejich funkční plochy. Pro čištění je velice důležité, aby PK umožnila nečistotám usadit se v nádrži a tím jim zabránila v dalším pohybu v oběhu (směrem k místu řezu). PK by neměla ani lepit to způsobuje větší náchylnost na usazení nečistot.

Ochranný účinek

Při obrábění se PK bezprostředně dostávají do kontaktu s obráběnými součástkami a částmi obráběcího stroje. Je důležité, aby PK nenarušovaly kovy, protože případná koroze by byla nepřijatelná. Kromě toho je požadováno, aby PK disponovaly schopností ochrannou, která zajistí ochranu stroje při krátkodobých přestávkách a ochranu obrobku před působením atmosférické vlhkosti mezi jednotlivými operacemi. Kromě ochrany kovových součástí je třeba dbát i na ochranu nekovových součástí, například nátěrů, těsnění apod. [3], [4], [29].

4. PÉČE O PROCESNÍ KAPALINY

Vhodný účinek PK lze zajistit pouze tehdy, pokud PK nebude po určitou, pokud možno co nejdelší dobu, měnit své mechanické a chemické vlastnosti, které jsou požadovány pro danou technologii obrábění. Vlivem působení okolního prostředí a podmínek vznikajících při procesu obrábění však PK ztrácejí svoje původní vlastnosti a změny tak mohou způsobit problémy, které se se mohou projevit zvýšeným opotřebením nástroje, zhoršením kvality obrobku, případně i zdravotními riziky. Pokud míra zhoršení vlastnosti PK překročí přípustnou mez, musí dojít k výměně PK. To ovšem zvyšuje náklady výroby. Kromě nákladů spojených s nákupem nové PK musíme také počítat s náklady na likvidaci použité PK a s prostoji stroje. Proto je celkem logická snaha o zvýšení lhůty pro výměnu PK. Kontrola, zda je PK ještě způsobilá, by měla být, pokud možno, co nejjednodušší. Často se omezuje pouze na kontrolu vzhledu popřípadě pachu PK. Pokud tato kontrola nestačí, pak je třeba přistoupit k dalším zkouškám.

Během životnosti emulze lze rozlišit tři hlavní období, kterým je třeba věnovat patřičnou pozornost - příprava emulze, její používání ve stroji a výměna použité emulze. Dále jsou uvedena základní opatření, která mohou podstatně prodloužit životnost procesních kapalin a tím zvýšit hospodárnost jejich použití.

Příprava PK

Při přípravě emulze existuje několik základních pravidel, které je třeba dodržovat. Mezi nejdůležitější patří výběr vody, respektive její jakost. Voda by neměla být ani kyselá ani zásaditá (pH zhruba 7), také by měla mít vhodnou tvrdost (10-20 °N). Je vhodné, aby kvalita použité vody byla předem známa. Pokud připravujeme emulzi, je nutné použít nepozinkovanou nádobu, která by měla být čistá a vydezinfikovaná. Koncentrát se během přípravy vždy nalévá do vody, nikoliv naopak. Mísení musí probíhat rovnoměrně, aby došlo k rovnoměrnému rozmístění koncentráту ve vodě. Pro tyto účely se používají speciální stroje - směšovací stroje nebo dávkovací čerpadla. Aby byl dodržen určený mísicí poměr, je nutno během míchání měřit koncentraci ručním refraktometrem - přitom je třeba dát pozor na korekční faktor, který je pro každý výrobek specifický. Posledním důležitým požadavkem, který souvisí s přípravou nové emulze, je její napouštění do čistého oběhového systému [25].

Používání PK

Období používání emulze je mnohonásobně delší než čas věnovaný její přípravě respektive výměně nebo čištění. Co nejdelší životnosti PK lze nejlépe dosáhnout pravidelnými kontrolami PK (zhruba každý týden), tím potom můžeme zajistit, že využití PK bude optimální. Opravdu důležitá je především hodnota pH v PK. Optimální hodnota je závislá na množství koncentráту v PK. V PK do 5% by hodnota pH neměla poklesnout pod 8,8, v případě koncentrací cca do 10% by PK neměla hladina pH překročit hodnotu 9,3, což je přibližně hodnota čerstvě připravené emulze. V tom-

to rozsahu hodnot pH lze považovat PK za nedráždivé. Hodnoty pH kolem 7 se v praxi vyskytují jen velmi zřídka. Po dobu používání se pH v PK mění. Může dojít k poklesu nebo naopak ke zvýšení hodnoty pH. Přitom záleží na tom, jaké faktory na PK působí. Pokud dojde ke snížení pH, tak nejčastější příčinou bývají bakterie, které narušují PK. Při větších koncentracích bakterií většinou vzniká zápach a může dojít ke znehodnocení emulze. Při sníženém pH se zvyšuje pravděpodobnost koroze. Naopak zvýšené hodnoty pH mají za následek většinou alkalické čisticí prostředky. Kromě hodnoty pH je dosti důležitá i samotná koncentrace PK. Pokud je koncentrace příliš vysoká, může docházet k pění, které způsobuje špatné chlazení, což má negativní vliv na nástroje. Naopak nízká koncentrace snižuje stabilitu PK a napomáhá výskytu mikrobů.

Účinným opatřením k prodloužení životnosti emulze je její provzdušňování, neboť bez přístupu vzduchu, např. při delší odstávce, se množí bakterie a například sírany se redukuje na H_2S . Tím vzniká nepříjemný zápach. Výhodné je nechat systém při provozní odstávce promíchat, aby mohlo dojít k provzdušnění [25].

Dalším důležitým prvkem, který zvyšuje životnost PK je čistota. Je třeba udržet PK pokud možno čistou, tedy bez látek, které se do systému mohou dostat během provozu. Tyto látky mají neblahý vliv na stabilitu PK a zvyšují riziko výskytu bakterií. Je třeba zabránit vzniku úsad, které mohou znečistit celý oběhový systém stroje (strojů). Proto je nutné použít vhodný filtr pro zachycení pevných částic a také musíme odstředit různé oleje vniklé do systému během procesu obrábění.

Výměna a čištění PK

V praxi je velmi výhodné, pokud se výměna PK uskuteční v čase celkové údržby stroje. Tím se sníží náklady spojené s odstávkou stroje, která by jinak musela být prováděna samostatně. U emulzí platí, že výměna náplně probíhá častěji než je tomu u řezných olejů. Před napuštěním nové náplně PK je nutno zabránit znečištění „zbytky“ ze staré náplně, po které zbude velké množství nečistot, bakterií apod. Z těchto důvodů se používají tzv. systémové čisticí prostředky, které mají za úkol zbavit se těchto nečistot. Samotná aplikace systémových čisticích prostředků probíhá následovně. Systémové čisticí prostředky se nalijí do „staré“ PK a podle stupně znečištění se používají 8 až 24 hodin, pak se náplň vypustí a dochází ke kontrole čistoty oběhu. Pokud kontrola proběhne bez problému, pak lze napustit novou PK. Použitá PK musí být odborně zlikvidována nebo předána firmě, která je oprávněna k manipulaci s nebezpečnými odpady [4], [27].

5. ZKOUŠENÍ A ANALÝZA PROCESNÍCH KAPALIN

Aby byl proces obrábění co nejefektivnější, musíme znát faktory, které ho ovlivňují. Z těchto důvodů je důležitá snaha o co nejpodrobnější zmapování PK jakožto jednoho z nejdůležitějších faktorů při obrábění vůbec. Různé technologie obrábění mají odlišné řezné podmínky a tím i zcela odlišné požadavky na PK. PK se testují mnoha způsoby v závislosti na tom, co je pro danou PK či technologii, při které bude používána, důležité.

5.1 Analýza procesních kapalin

Při analýze PK zjišťujeme její příznivé i nepříznivé chemické a mechanické vlastnosti, např. její mazací nebo chladicí účinek, životnost apod. Cílem je zhodnotit vlastnosti PK bez ohledu na to, pro jakou konkrétní technologii obrábění a za jakých řezných podmínek bude použita. Účelem této analýzy je zjistit vlastnosti, ve kterých bude kapalina vynikat a naopak. Při výběru PK pro konkrétní technologii obrábění, kde je kladen důraz především na určité vlastnosti PK, které jsou vhodné pro danou operaci, můžeme výsledky těchto analýz snadno využít při výběru nejvhodnější PK, popřípadě pro zúžení výběru ze souboru PK.

Zkoušky PK s podílem vody

a) Zkoušky vodou mísitelných PK

U těchto zkoušek se hodnotí, zda dochází ke vzniku koroze na strojních součástech po styku s PK. Mimo to se provádějí i zkoušky pěnivosti nebo hodnoty pH.

b) Zkoušky vodou nemísitelných PK

Při těchto zkouškách se hodnotí, zda vzniká koroze na strojních součástech po styku s PK, také se určuje hodnota pH a mimo to se u emulzí provádí řada dalších zkoušek. Zkoumá se obsah olejových podílů v emulzi a zároveň stabilita dané PK. Tím se zjišťuje jakost emulgačního prostředku použitého v PK. Výjimečně se provádějí ještě zkoušky tzv. jednoúčelové a to pro případy, kdy jsou PK určeny pro určitou zvláštní výrobní operaci.

Určení tvrdosti vody

Tvrdość vody se udává ve stupních tvrdosti. V různých zemích má jednotka jeden stupeň odlišnou hodnotu. V ČR se například používá jednotka °N - jeden německý stupeň, jeho hodnota znamená tvrdost odpovídající množství 10 mg/l CaO respektive 7,2 mg/l MgO. Určovat tvrdost lze i v jednotkách mval/l (1 mval/l = 2,8°N). Podle iontů, které tvrdost způsobují, hovoříme o tvrdosti vápničkové a hořčíkové. Jejich součtem je veškerá tvrdost. Množství vápníku a hořčíku, které je ekvivalentní obsahu kyselých i normálních uhličitánů, označujeme jako uhličitánovou tvrdost. Tato uhličitánová tvrdost se při nadbytku uhličitánů může maximálně rovnat veškeré tvrdosti. Dříve bývala uhličitánová tvrdost označována jako „přechodná“ nebo „pomíjejí-

cí“, tvrdost neuhličitanová jako „stálá“. Tvrdost se dá měřit celou řadou metod jako např. metodou podle Blachera, Clarkova, Boutronova-Boudetova, Warthyho-Pfeifera. Jsou to metody vážkové popřípadě titrační. Daleko rychlejší a také používanější je tzv. komplexometrická metoda, která je také přesnější [4].

Příprava zkušebních vzorků

Při přípravě zkušebních vzorků PK je nutné dodržet dvě základní podmínky. PK musí být připravena v předepsané koncentraci a musí se zajistit, aby byl vzorek PK stejnorodý, tedy řádně promíchaný. Emulgační oleje mají sklon k rozvrstvování, není z nich možné brát přímo průměrný vzorek. Bez řádného promíchání by byl výsledek měření značně zkreslený a nepřesný. Při testování emulgačních tuků se testovaný vzorek odebírá ze zhruba deseticentimetrové hloubky z důvodů znečištění vrchní vrstvy. Pro zkoušení PK ve skleněné nádobě obvykle používáme 1 litr emulze [4].

Stabilita emulze

Stabilita emulze se testuje ve válci o objemu 100 ml se zabroušenou zátkou. Výsledek se hodnotí podle oleje, který se oddělí z PK a zůstane na hladině válce. Aby byla PK považována stabilní, nesmí se na hladině objevit souvislá vrstva [4].

Obsah olejového podílu

Obsahem olejového podílu v emulzi se rozumí úhrnný obsah minerálního oleje, mastného oleje nebo tuku, chemicky vázaného v emulgátoru a nezmýdelněného mastného oleje nebo tuku [4]. Zkouška se provádí v baňce 100+20 ml (viz norma ČSN 65 6239). Účel zkoušky spočívá v kontrole jakosti PK, kde se klade důraz na zjištění úbytku emulgačního prostředku v průběhu jejího používání.

Zkouška na korozivnost

Při této zkoušce se na připravený leštěný povrch kovového plíšku (materiál dle konkrétní zkoušky) nanese 5 kapek o objemu 10 ml PK s koncentrací 5%. Po 4 hodinách se zkontroluje zkoušený povrch, a pokud se zaznamenají stopy po korozi (nejčastěji tmavé), jedná se o korozivní PK [4], [27].

Obvykle používanou variantou tohoto testu je sledování vzniku otisku korozních produktů na filtračním papíře - „Chip/filter paper test“ [7]. Na kulatý papírový filtr o průměru cca 5 cm jsou naskládány standardizované litinové třísky do kruhu o poloměru 2 cm. PK o dané koncentraci je v objemu 2 ml nanášena na třísky, které se vzájemně nedotýkají. Po 2 hodinách je vyhodnoceno množství korozních skvrn na papíře pro danou koncentraci. Stupeň koroze je hodnocen dle tabulky se zobrazením intenzity korozního působení jednotlivých stupňů. Pokud kapalina spolehlivě chrání před korozi (stupeň 0), zůstane papír po zkoušce a oplachu čistý.

Stanovení pH

Ke stanovení pH se používají indikační papírky. Papírek se namočí do zkoušené PK na cca 1 sekundu a po vyjmutí se podle zbarvení zjistí příslušné pH. Zbarvení papírku se porovná se standardní barevnou stupnicí, která je k tomu určena.

Přesnější výsledek pak může poskytnout potenciometrické měření přenosným pH-metrem se skleněnou elektrodou. To však za předpokladu, že bude tento přístroj zkalibrován v rozsahu měřené hodnoty pH.

Zkoušky kapalin s olejovou bází

Pro PK s olejovou bází se používají stejné zkušební metody, jako pro mazací oleje. Rozdíl je pouze v důležitosti prováděných jednotlivých zkoušek, což je dáno složením PK a jejího budoucího upotřebení. Například u olejů čistě minerálních je zkouška na korozivnost víceméně nepotřebná, jelikož nepůsobí na železné i neželezné kovy korozivně ale naopak tyto oleje brání vzniku koroze. Naopak zkouška neutralizačního čísla má v tomto případě význam, do jisté míry vypovídá o odolnosti PK proti stárnutí [4].

Kinematická viskozita

Dříve byla měřená viskozita na viskozimetru Englerově. Takto stanovené hodnoty však nemají přímý vztah k absolutní viskozitě, proto se přešlo téměř všeobecně k měření viskozity kinematické, z níž násobením hustotou kapaliny dostaneme již přímo viskozitu absolutní [4], [27].

Bod vzplanutí

Za bod vzplanutí se považuje teplota, při které dochází k odpařování složek PK do ovzduší v takové míře, že dochází k hoření vzniklých par při kontaktu s otevřeným ohněm, ale hoření par PK samo o sobě nevydrží kontinuálně. V případě dosažení bodu hoření hoří PK trvale bez jakéhokoliv vnějšího zásahu. Tento údaj není tak důležitý jako je bod vzplanutí a měří se jen zřídka. Bod vzplanutí se obvykle testuje v kelímku otevřeném či uzavřeném. Uzavřený kelímek se nejčastěji používá při testování kapalin s teplotou vzplanutí do cca 150°C. Při testování PK je nutné dodržet několik zásad jako je správná rychlost zahřívání. Toto měření je značně náročné na přesnost měřicího přístroje [27].

Bod tuhnutí

U PK není hodnota bodu tuhnutí příliš podstatná. Důležitá je tehdy, pokud je PK uskladněná v zásobnících nebo ve strojích nedostatečně chráněných před venkovními teplotami. Měření probíhá ve skleněném přístroji s přesně danými rozměry.

Neutralizační číslo

Udává množství látek, buď kyselých, nebo zásaditých, které jsou v PK obsaženy. Naměřené hodnoty se udávají v mg KOH (hydroxidu draselného) potřebného k neutralizaci PK za podmínek určených zkouškou. Převážná většina dnes používa-

ných PK je spíše kyselé povahy. Pouze v naprosto výjimečných případech se používají PK, které mají úmyslně alkalickou reakci. Surový olej používaný k výrobě PK v sobě obsahuje mnohem větší množství „kyselých“ látek, které se pomocí rafinace odstraňují, avšak část těchto látek v PK zůstává, je jí ovšem podstatně méně cca 0,05 mg KOH/g (jedná se o variantu a) viz níže. Rozeznáváme dvě základní hodnoty a to buď „neutralizační číslo“ nebo „neutralizační číslo vodního výtřepku“ [4], [27].

Neutralizační číslo

Zjišťujeme množství KOH, spotřebované na neutralizaci 1g testované kapaliny. Kyselost oleje bývá způsobena organickými kyselinami, které mají mnohem větší molekuly a jsou podstatně méně agresivní než kyseliny anorganické (např. kyselina solná, sírová atd.), které by se v kapalině neměly vyskytovat ve větším množství, jelikož mají vysoké korozivní schopnosti. Anorganické kyseliny, vyskytující se v PK, bývají následkem nedokonalého zpracování, nebo se jedná o nečistoty.

Neutralizační číslo vodního výtřepku

Tímto experimentem zjišťujeme, zda nejsou ve výtřepku, získaném extrakcí oleje čtyřnásobným objemem horké zneutralizované vody, nežádoucí anorganické kyseliny. U čistě minerálních olejů lze navíc zjistit odolnost oleje proti stárnutí, respektive stupeň zestárnutí, jedná-li se o kapalinu v provozu.

Číslo zmýdelnění

Chápeme tím množství hydroxidu draselného v mg, spotřebované během zkoušky při neutralizaci volných kyselých látek a současném zmýdelnění látek zmýdelnitelných za předem daných podmínek experimentu. Vzorek se zahřívá v alkohol-benzenovém roztoku s alkoholovým KOH (hydroxid draselný) v nadbytku. Nespotebovaný KOH se určí zpětnou titrací na alkalickou modř. Výsledkem se rozumí tzv. „číslo zmýdelnění“ v mg KOH/1g. Podobně jako u neutralizačního čísla, tak i číslo zmýdelnění vypovídá o kvalitě rafinace oleje, pokud se jedná o olej pouze minerální. Je-li známo u maštěných olejů číslo zmýdelnění, lze vypočítat obsah mastnoty v PK (pokud známe druh použité mastnoty). Pokud je nám tento druh mastnoty neznámý (tedy i číslo zmýdelnění), je možno použít pro hrubý odhad mastnoty střední hodnotu čísla zmýdelnění (185). Na velikost čísla zmýdelnění mají kromě množství mastnoty vliv i některá aditiva. Tato hodnota má nejvyšší využití při kontrole stárnutí PK. Pokud je PK starší, mívá zpravidla vyšší číslo zmýdelnění. Díky tomu patří toto číslo k jednomu z faktorů, jimiž lze odhadovat stupeň zestárnutí oleje [4], [27].

Obsah popela

Jedná se o netěkavý zůstatek po úplném spálení vzorku. Během zkoušky se nechá odpařit vzorek PK, po kterém zůstane zuhelnatělý zbytek, ten se nechá vyžít v elektrické píce. Výsledky se uvádí ve váhových procentech (% váh.) jako tzv. „popel“ [4].

Pevnost mezní olejové vrstvy

Zkoušek hodnotících pevnost mezní olejové vrstvy je celá řada. Mezi nejznámější patří například „Čtyřkuličkový stroj“, „Reichert test“ nebo různá měřicí zařízení tzv. „Tribometry“. Většina přístrojů se snaží co nejvěrněji simulovat reálné podmínky zatížení, které nejčastěji modelují třecí dvojici. Účelem těchto zkoušek je především zjistit účinek vysokotlakých přísad (aditiv) a porovnat mezi sebou jednotlivé PK. To může významně pomoci při výběru vhodných aditiv a jejich optimalizaci. Lze tím sledovat i vliv stárnutí PK na její mazivost [3].

Další laboratorní zkoušky:

Mezi další laboratorní testy patří např. zkouška na obsah mechanických nečistot a zkouška na obsah vody. Podrobnější popis respektive metodiku těchto zkoušek lze vyhledat v normách ČSN 65 6219 (zkouška na obsah mechanických nečistot) a ČSN 65 6222 (zkouška na obsah vody).

5.2 Technologické zkoušky procesních kapalin

Faktorů ovlivňujících proces obrábění je mnoho a všechny nejsou dostatečně zmapovány. Některé méně důležité faktory proto zanedbáváme nebo je určitým způsobem idealizujeme. Z uvedených důvodů nemůžeme pouhou analýzou zcela přesně určit, jak se daná PK bude chovat při konkrétní technologii obrábění a řezných podmínkách na konkrétním stroji při obrábění s konkrétním nástrojem. Tento nedostatek můžeme odstranit tzv. technologickými zkouškami. Cílem těchto měření je zjištění určitých hodnot (např. trvanlivosti nástroje při použití dané PK, jakosti povrchu obráběné součásti nebo vlivu PK na vznikající řezné síly při procesu obrábění atd.). Tyto hodnoty pak jasně ukazují, jakých skutečných výsledků která PK dosáhla při operaci, pro jakou by měla být později použita.

Metodik technologických zkoušek PK je celá řada, protože velká část firem testujících PK má svoji vlastní metodiku. Z těchto důvodů je velice těžké zmapovat celý trh, a proto budou dále popsány pouze na některé vybrané zkoušky.

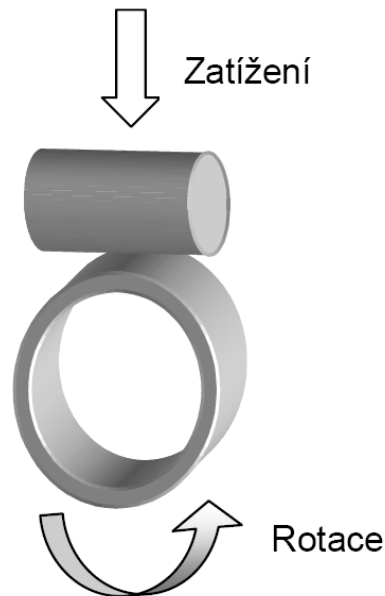
5.2.1 Zkoušky simulující reálný třecí kontakt

Zkoušky simulující reálný třecí kontakt mají v podstatě stejný princip, kterým je vytvoření třecí dvojice mezi přesně definovanými segmenty. Segmenty se u každého zařízení liší.

Reichert test

U Reichert testu tvoří třecí dvojici pevně ukotvený testovací váleček z definovaného materiálu a brusný prsteneček vyrobený ze speciální legované oceli. Během experimentu je brusný prsteneček přitlačován na testovací váleček pomocí pákového mechanismu a zároveň koná rotační pohyb. Přístup PK do místa tření mezi oběma elementy je zajištěn tím, že rotující brusný prsteneček je z jedné třetiny ponořen do tes-

tovaného vzorku kapaliny. V důsledku tření během zkoušky dochází ke vzniku elipsovité plochy na válečku. Plochu otěru lze spočítat pomocí vzorce: $A = 0,785 \times l \times d$ [mm^2], kde A znamená plochu otěru, l délku eliptické plochy, d šířku eliptické plochy. Poté lze zjistit hodnotu únosnosti mazacího filmu (ÚMF) $\text{ÚMF} = (2000 \times G) / A$ [kp/cm^2], G odpovídá zvolenému závaží v kp ($1000 \text{ g} \div 1 \text{ kp}$). Princip měření je zobrazen na obr. 4.



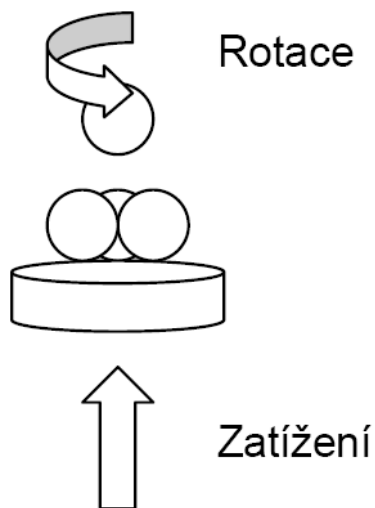
Obr. 4 Princip Reichert testu [20]

Tato samotná zkouška hodnotí především aktivní přísady, které snižují tření v režimu mezního mazání. Jelikož celá třecí dvojice není ponořena v testovaném médiu, zkouška částečně hodnotí i schopnost testovaného média smáčet povrch točícího se kroužku.

Four ball tester (Zkouška na čtyřkuličkovém stroji)

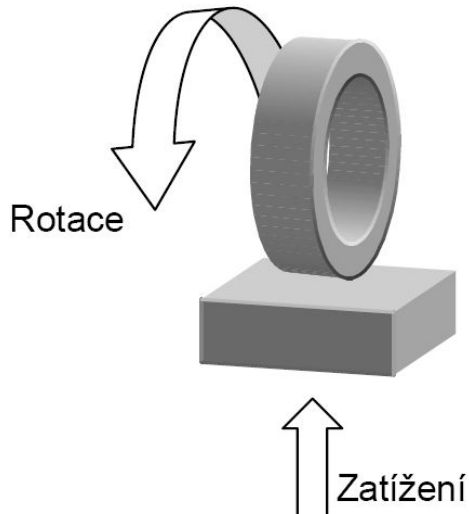
Při zkoušce na čtyřkuličkovém stroji jsou jako třecí elementy využity 4 ocelové kuličky ($\frac{1}{2}$ “). Tři z nich jsou pevně fixovány v pouzdře, kde je současně umístěna i testovaná PK. Čtvrtá kulička se upíná ve sklíčidle, které je nasazeno na hřídel vertikálního elektromotoru se standardními otáčkami (1500 ot/min). Tření zajišťuje pákové ústrojí, které přitlačuje pouzdro s nepohyblivými kuličkami k vrchní rotující. Díky možnému natáčení pouzdra lze zjišťovat točivý moment, tedy i součinitel tření. Parametry určující výsledek zkoušky jsou velikost zatížení a čas potřebný k zadření (svaření) ocelových kuliček respektive jejich vzniklé opotřebení (vyhodnocení provádíme mikroskopem). V normách IP 239; ASTM D 2783, D 4172, D 2596, D 2266, DIN 51350 nalezneme metodiku používanou při vyhodnocení mazivosti PK. Princip metody je vyobrazen na obr. 5 [4], [20].

Naměřené hodnoty získané z tohoto testu vyjadřují především funkci přísad, které snižují tření v režimu mezního mazání, tedy přísad vysokotlakých a protioděrových.



Obr. 5 Princip zkoušky na čtyřkuličkovém stroji [20]

Timken load tester



Obr. 6 Princip timken load testu [20]

Dvojici třecích elementů u zkoušky se zařízením Timken load tester tvoří stacionární kvádr a rotující kroužek. Oba tyto třecí segmenty jsou vyrobeny z definovaného materiálu. U experimentu se hodnotí následující kritéria: OK load (hodnota tlaku, při kterém ještě nedojde k pozorovatelnému poškození třecích elementů), Seizure load (hodnota tlaku, při kterém dojde ke svaření třecích elementů) a opotřebení třecích elementů, které se udává jako změna váhy třecích elementů v průběhu testu. Tento test je podrobně popsán v normách IP 240, 326; ASTM D 2782, D 2509; DIN

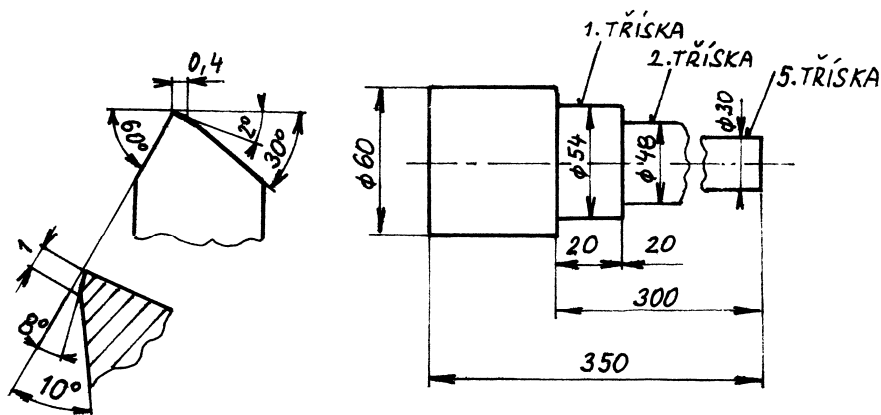
51434, a jeho princip vyobrazen na obr. 6 [20].

5.2.2 Strojní zkoušky obráběním

Požadavky na procesní kapaliny jsou značně rozmanité. Každá požadovaná vlastnost by měla být ověřována zkouškou, která by byla prováděna za takových podmínek, jakým je kapalina vystavena v provozu. Protože ověřování vlastností řezných kapalin za provozních podmínek by bylo zejména z časových důvodů velmi náročné, používají se různé krátkodobější zkoušky. Tzv. strojní zkoušky jsou zaměřeny na ověřování vlivu procesních kapalin na parametry hospodárného obrábění, kdy se posuzuje např. trvanlivost nástrojů, řezné odpory, jakost povrchu ap. I tyto zkoušky jsou zpravidla poměrně časově náročné [8].

Zkouška podélným soustružením

Zkouška podélným soustružením je příkladem strojní zkoušky obráběním, která byla odzkoušena pro testování procesních olejů [8]. Při této zkoušce se hodnotí následující veličiny: řezné síly respektive výkon při obrábění, drsnost povrchu zkušební součásti a opotřebení břitu řezného nástroje. Pro materiál obrobku se zvolí etalonová ocel 12050.1. Nástrojem pro podélné soustružení je pravý přímý ubírací nůž s úhlem nastavení $\kappa_r = 60^\circ$, úhlem hřbetu $\alpha_o = 8^\circ$, úhlem čela $\gamma_o = 0^\circ$ a úhlem sklonu ostří $\lambda_s = 0^\circ$. Pro zajištění přesné geometrie a stálých vlastností břitové části nástroje se hřbet ostří na čisto brousícím kotoučem z PKBN. Pro experimenty se použije nástroj z rychlořezné oceli 19 824. Schematické znázornění břitové části nástroje a zkušební součásti je uvedeno na obr. č. 7.



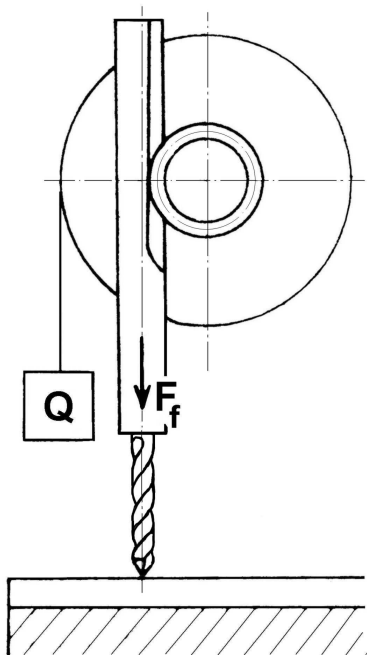
Obr. 7 Nástroj a obrobek pro zkoušku podélným soustružením [8]

Pro obrobení každé zkušební součásti se použije nově naostřený nástroj. V průběhu podélného soustružení se na každé součásti měří výkonové parametry procesu obrábění, tj. řezná síla a výkon. Na obrobených součástech se měří drsnost povrchu. Po kompletním opracování součásti se proměří opotřebení nástroje a provede se kontrola vzniku nárůstku. Aby byla zaručena spolehlivost naměřených hodnot, provádí se jednotlivé zkoušky opakovaně, 10x pro každý vzorek procesní kapali-

ny. Při zpracování měření se pro výsledné hodnoty s použitím statistických metod určí interval spolehlivosti a porovná se statistická významnost rozdílů naměřených hodnot pro porovnávací vzorky procesních kapalin, respektive se provede srovnání s obráběním za sucha.

Zkouška vrtání s konstantní posuvovou silou

Dalším příkladem strojní zkoušky obráběním je zkouška vrtání s konstantní posuvovou silou. Kritériem je posuvová rychlost nástroje v_f a drsnost povrchu obrobene díry. Posuvová rychlost se určí tak, že se ve zkušební součásti za konstantních a předem stanovených řezných podmínek vrtá díra hloubky přibližně 15 mm a měří se čas t_i při vrtání úseku délky 10 mm, kdy je celý průměr vrtáku v záběru. Postupně se vrtá stanovený počet děr a z naměřených údajů se stanoví průměrná hodnota posuvové rychlosti v_f a posuv na otáčku f_o . Pro zkoušky se použije zkušební součást z etalonové oceli 12 050.1. Pro vrtání se jako nástroj použije šroubovitý vrták ČSN 22 1121, povlakovaný TiN, \varnothing 8 mm. Experimenty se provádí na vrtačce speciálně upravené tak, aby bylo zajištěno zatížení vrtáku konstantní posuvovou silou. Hmotnost závaží Q se přitom zvolí tak, aby posuvová rychlost dosáhla hodnoty přibližně $v_f \sim 0,1$ mm/ot. Schematické znázornění experimentu je patrné z obr. č. 8.



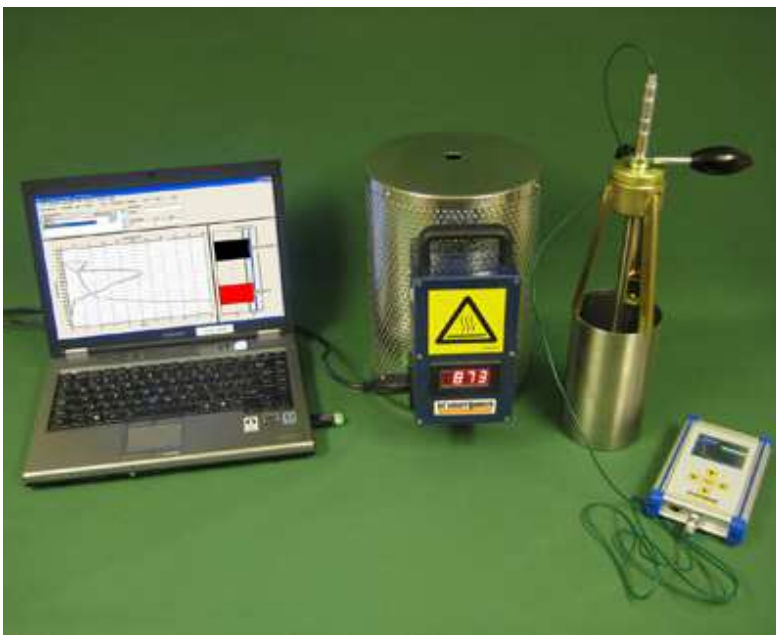
Obr. 8 Princip zkoušky vrtání s konstantní posuvovou silou [8]

Při vyhodnocování naměřených hodnot u zkoušky vrtáním s konstantní posuvovou silou se porovnávají posuvové rychlosti při obrábění s jednotlivými druhy procesních kapalin a srovnávají se s hodnotami naměřenými při obrábění za sucha. Zároveň se vzájemně porovnávají parametry drsnosti povrchu stanovené v deseti dírách po vrtání s konstantním posuvem při použití jednotlivých kapalin a při obrábění za sucha.

5.2.3 Další zkoušky

Přístroj IVF Smart Quench

Přístroj IVF Smart Quench slouží k měření průběhu ochlazovacích křivek kalících prostředí. Měření probíhají dle norem ISO 9950-1995 a ASTM D 6200-01. Zjištěné hodnoty se bezdrátově přenášejí do PC, kde se zobrazují ve formě grafů nebo tabulek. Výstupem z měření je graf, příp. tabulka, obsahující ochlazovací křivku (teplota-čas) a její derivaci, tj. rychlost ochlazování zkoušené kapaliny. Výsledky experimentu (tedy ochlazovací křivky) se porovnávají s ARA diagramy materiálů, pro které se předpokládá použití zkoušené PK. Díky tomu lze zjistit strukturu daného materiálu, pokud by došlo k ochlazení v tomto procesním prostředí. Přístroj IVF SmartQuench je vyobrazen na obr. č. 9 [3], [22].



Obr. 9 Přístroj IVF SmartQuench [22]

High pressure testing kompatibility test

High pressure testing kompatibility test má za úkol simulovat podmínky, kdy jsou PK zatíženy vysokými tlaky (řádově stovky barů). K tomu je potřebný speciální přístroj, např. CIMCOOL HPFT Device vyobrazený na obr. č. 10. Test se používá při vývoji PK schopných pracovat při vysokých tlacích, tj. PK které jsou určeny především pro obrábění těžkoobrobitelných materiálů, jako jsou například niklové slitiny nebo titan a jeho slitiny, které se často používají obzvláště v leteckém průmyslu. Špatná obrobitelnost těchto slitin vyplývá zejména z jejich vysoké houževnatosti a špatné tepelné vodivosti, což vede ke zvýšené tvorbě nárůstků a svarů, respektive k tendenci PK chemicky reagovat s nástrojem, což způsobuje jeho rychlejší destrukci. Vzhledem dříve jmenovaným problémům je nutné zvýšit odvod nežádoucího tepla z místa řezu. Použití vysokotlakých chladicích systémů přívodu PK pro obrábění těžkoobrobitelných materiálů prokázalo podstatně lepší výsledky oproti obrábění při níž-

kých tlacích. Z toho vyplývá, že díky vyšším tlakům (tedy i vyšším průtokům PK) dochází k lepšímu odvodu tepla (čím větší je objem PK, tím se zvyšuje množství odvedeného tepla). Zlepšuje se i oplachovací schopnost PK a dochází ke snížení řezných



Obr. 10 CIMCOOL HPFT Device - testovací zařízení [20]



Obr. 11 Generování tlaku 200 bar v zařízení CIMCOOL HPFT Device [20]

sil. Chlazení s vysokým tlakem přímo a cíleně řízené („cutting zone“) vytváří tzv. hydraulický klín mezi třískou a řezným nástrojem. Vysokotlaké chladicí systémy dokážou pracovat při tlaku až do cca 1000 barů. V závislosti na obráběném materiálu se obvykle používají tlaky nižší. Pro každý materiál se mohou jevit jako optimální rozdílné hodnoty tlaků. Např. pro obrábění slitin titanu je doporučen tlak PK 200 bar. High pressure testing compatibility test zjišťuje především schopnost destabilizace pěny (jejího rozpadu) a celkovou stabilitu testované PK. Během experimentu protéká PK kaskádou jednotlivých částí, kde dochází ke zjišťování parametrů - tvorba a rozpad vznikající pěny a celková chemická stabilita jednotlivých složek. Přístroj je vyobrazen na obr. č. 10 a 11.

6. METODIKY EXPERIMENTŮ

Všechna měření, která jsou prezentována v další části publikace, byla provedena v laboratořích TU v Liberci.

6.1 Hodnocení vlivu procesních kapalin na trvanlivost při soustružení

Soustružení bylo realizováno na CNC soustruhu CHEVALIER FCL-2140, stroj je vybaven řídicím systémem FAGOR 8055 (obr. 12).



Obr. 12 CNC soustruh CHEVALIER FC-2140

Experimenty byly s použitím různých procesních kapalin provedeny za jinak konstantních řezných podmínek. Při experimentech hodnocení vlivu procesních kapalin na trvanlivost při podélném soustružení byly obráběny 2 různé materiály:

a) obrábění oceli ČSN 14 220,

- rozměr zkušební vzorku: \varnothing 170 mm, délka 400 mm,
- nástroj - soustružnický nůž CTAPR 20x20 K16, $\chi_r = 90^\circ$, Pramet Tools, s.r.o.,
- nepovlakovaná vyměnitelná břitová destička (VBD) TPUN 160304 S26,
- řezné podmínky:

řezná rychlost	245	[m.min ⁻¹],
posuv na otáčku	0,1	[mm],
hloubka záběru	0,5	[mm],

b) obrábění oceli ČSN 17 351

- rozměr zkušební vzorku: \varnothing 130 mm, délka 700 mm,
- nástroj - soustružnický nůž CTAPR 20x20 K16, $\chi_r = 90^\circ$, Pramet Tools, s.r.o.,
- povlakovaná VBD TPUN 160304, 8230,
- řezné podmínky:

řezná rychlost	160	[m.min ⁻¹],
posuv na otáčku	0,1	[mm],
hloubka záběru	0,5	[mm].

Hodnocené procesní kapaliny byly do místa řezu přivedeny pomocí modulárního systému LOC - LINE. Koncentrace procesních kapalin byla kontrolována ručním refraktometrem Optech Brix, typ RLC/ATC s rozsahem měření koncentrace 0-18% a přesností 0,1% (obr. 13).



Obr. 13 Refraktometr Optech Brix 0 – 18 % ATC

Posuzovanou veličinou při určování trvanlivosti byla šířka opotřebení na hřbetu VBD. Kriteriační opotřebení bylo stanoveno $VB = 0,5$ mm a jeho velikost byla zjišťována nástrojovou lupou BRINELL (obr. 25).

Zkoušky pro posouzení vlivu procesních kapalin na trvanlivost při soustružení byly prováděny na jednom polotovaru. Pro všechny zkoušky obrábění konstrukční oceli byl použit jeden polotovar z materiálu 14 220 a pro soustružení antikorozi oceli jeden polotovar z materiálu 17 351.

Veškeré experimenty zjišťování trvanlivosti nástroje byly provedeny za konstantních řezných podmínek a experimenty byly pětkrát zopakovány podle metodiky pro určování „Trvanlivost nástroje při soustružení, frézování a vrtání“, aby byly eliminovány případné nepřesnosti. Pro každý experiment byl vždy použit nový břit. Výsledkem byla hodnota šířky opotřebení na hřbetu VBD. Výsledné naměřené hodnoty byly následně statisticky zpracovány. Trvanlivost pro danou procesní kapalinu / médium byla stanovena jako aritmetický průměr z provedených měření.

Průměrné trvanlivosti pro jednotlivé procesní kapaliny / média byly vzájemně porovnány a procesní kapalina, při které byla dosažena největší průměrná trvanlivost, byla hodnocena jako nejlepší.

6.2 Hodnocení vlivu procesních kapalin na trvanlivost při frézování

Frézování bylo realizováno na univerzální nástrojářské frézce FNG 32 (obr. 14).

Experimenty byly s použitím různých procesních kapalin provedeny za jinak konstantních řezných podmínek. Při experimentech hodnocení vlivu procesních kapalin na trvanlivost při čelním frézování byly obráběny 2 různé materiály:

- a) obrábění oceli ČSN 14 220.3,
 - rozměr zkušební vzorku: 80 x 80 mm, délka 500 mm,
 - šířka čelního frézování: 40 mm,
 - nástroj - negativní čelní fréza Narex 2460.12, $\varnothing D = 63$ mm,

- fréza osazena pouze jednou vyměnitelnou břitovou destičkou (VBD)

Pramet SNUN 120412; 8230 s povlakem,

- řezné podmínky:

řezná rychlost	87,1	[m.min ⁻¹],
posuv na zub	0,1	[mm],
hloubka záběru	1,0	[mm],

b) obrábění oceli ČSN 17 351

- rozměr zkušebního vzorku: 75 x 75 mm, délka 500 mm,

- šířka čelního frézování: 25 mm,

- nástroj - negativní čelní fréza Narex 2460.12, Ø D = 63 mm,

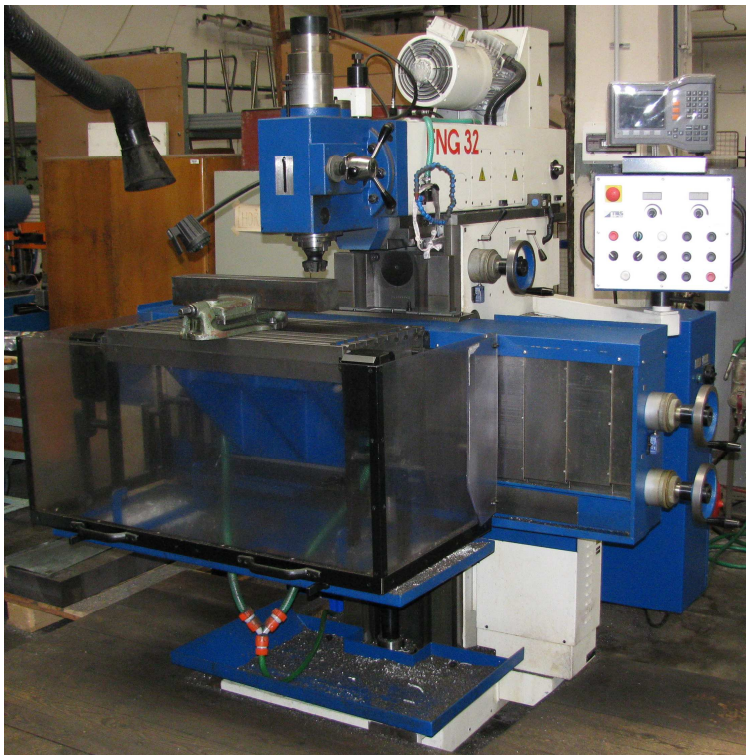
- fréza osazena pouze jednou vyměnitelnou břitovou destičkou (VBD)

Pramet SNUN 120412 - S30 bez povlaku,

- řezné podmínky:

řezná rychlost	47,5	[m.min ⁻¹],
posuv na zub	0,1	[mm],
hloubka záběru	1,0	[mm].

Hodnocené procesní kapaliny byly do místa řezu přivedeny pomocí modulárního systému LOC - LINE. Koncentrace procesních kapalin byla kontrolována ručním refraktometrem BRIX 0 – 18 % ATC (obr. 13).



Obr. 14 Frézka FNG 32

Posuzovanou veličinou při určování trvanlivosti byla šířka opotřebení na hřbetu VBD. Kriteriační opotřebení bylo stanoveno $VB = 0,7$ mm a jeho velikost byla zjišťována nástrojovou lupou BRINELL (obr. 25).

Zkoušky byly vždy prováděny na jednom kusu obrobku. Pro zkoušky obrábění konstrukční oceli byl použit 1 obrobek z materiálu 14 220.3 a pro frézování antiko-rozní oceli 1 obrobek z materiálu 17 351.

Veškeré experimenty zjišťování trvanlivosti nástroje byly provedeny za konstantních řezných podmínek a experimenty byly pětkrát zopakovány podle metodiky pro určování „Trvanlivost nástroje při soustružení, frézování a vrtání“, aby byly eliminovány případné nepřesnosti. Pro každý experiment byl vždy použit nový břit. Výsledkem byla hodnota šířky opotřebení na hřbetu VBD. Výsledné naměřené hodnoty byly následně statisticky zpracovány. Trvanlivost pro danou procesní kapalinu / médium byla stanovena jako aritmetický průměr z provedených měření.

Průměrné trvanlivosti pro jednotlivé procesní kapaliny / média byly vzájemně porovnány a procesní kapalina, při které byla dosažena největší průměrná trvanlivost, byla hodnocena jako nejlepší.

6.3 Hodnocení vlivu procesních kapalin na trvanlivost při vrtání

Vrtání bylo realizováno na frézce FNG 32 (obr. 15).



Obr. 15 Frézka FNG 32 použitá pro vrtání

Experimenty byly s použitím různých procesních kapalin provedeny za jinak konstantních řezných podmínek. Při experimentech hodnocení vlivu procesních kapalin na trvanlivost při vrtání byly obráběny 2 různé materiály:

- a) obrábění oceli ČSN 14 220.3,
- rozměr zkušebního vzorku: 70x80 mm, výška 30 mm,

- nástroj - vrták s válcovou stopkou StimZet ČSN 221121 z rychlořezné oceli,

- řezné podmínky:	řezná rychlost	76,65 [m.min ⁻¹],
	posuv na otáčku	0,05 [mm],
	průměr vrtáku	8,0 [mm],

b) obrábění oceli ČSN 17 481

- rozměr zkušební vzorku: 40 x 35 mm, výška 20 mm,

- nástroj - vrták s válcovou stopkou StimZet ČSN 221121 z rychlořezné oceli ,

- řezné podmínky:	řezná rychlost	24,12 [m.min ⁻¹],
	posuv na otáčku	0,05 [mm],
	průměr vrtáku	8,0 [mm].

Hodnocené procesní kapaliny byly do místa řezu přivedeny pomocí modulárního systému LOC - LINE. Koncentrace procesních kapalin byla kontrolována ručním refraktometrem Optech Brix, typ RLC/ATC s rozsahem měření koncentrace 0-18% a přesností 0,1% (obr. 13).

Pro zkoušky vrtání konstrukční oceli byl použit obrobek z materiálu 14 220.3 (všechny zkušební vzorky byly vyrobeny z jednoho obrobku). Při zkouškách trvanlivosti byly jako kritérium zvoleny hodnoty délky opotřebení na vedlejším hřbetu vrtáku nebo hodnota šířky opotřebení příčného ostří vrtáku. Velikost opotřebení byla zjišťována nástrojovou lupou BRINELL (obr. 25). Pro stanovení trvanlivosti bylo rozhodující, která kritériální mez opotřebení byla dosažena dříve.

Pro zkoušky obrábění antikorozní (nerezové) oceli byl použit obrobek z materiálu 17 481 (všechny zkušební vzorky byly vyrobeny z jednoho obrobku). Při zkouškách trvanlivosti byla jako kritérium zvolena hodnota šířka opotřebení hlavního ostří vrtáku. Velikost opotřebení byla též zjišťována nástrojovou lupou BRINELL.

Měření opotřebení bylo provedeno podle metodiky „Trvanlivost nástroje při soustružení, frézování a vrtání“. Veškeré experimenty zjišťování trvanlivosti nástroje byly provedeny za konstantních řezných podmínek a dvakrát zopakovány. Důvodem jsou náročné řezné podmínky při experimentech, jak je blíže uvedeno v metodice „Trvanlivost nástroje při soustružení, frézování a vrtání“. Výsledné naměřené hodnoty byly statisticky zpracovány.

Průměrné trvanlivosti pro jednotlivé procesní kapaliny/média byly dále mezi sebou porovnány a procesní kapalina, při které byla dosažena největší průměrná trvanlivost, byla vyhodnocena jako nejlepší.

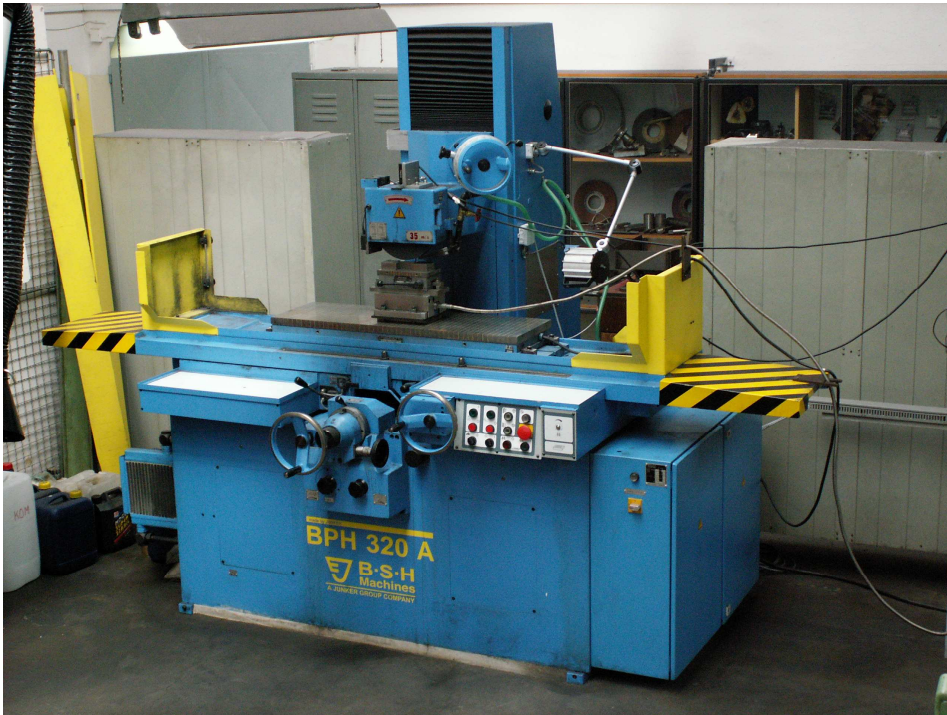
6.4 Hodnocení vlivu procesních kapalin na střední smluvní kolmou řeznou sílu při broušení

Broušení bylo realizováno na rovinné brusce BPH 320A (obr. 16).

Při experimentech hodnocení vlivu procesních kapalin na střední smluvní kolmou řeznou sílu při rovinném broušení obvodem kotouče byly obráběny 2 různé ma-

teriály: ocel ČSN 14 220.3 a ocel ČSN 17 351. Řezné podmínky při obrábění obou ocelí byly stejné:

- rozměr zkušebních vzorků: 60 x 50 x 15 mm,
- nástroj
 - brousicí kotouč plochý - 98A 46 K 9 V 01 (umělý korund, růžový),
 - průměr kotouče - 250 mm; šířka kotouče - 26 mm,
- řezné podmínky
 - řezná rychlost 32,7 [m.s⁻¹],
 - otáčky nástroje 2 500 [ot.min⁻¹],
 - posuv stolu stroje 15,5 [m.min⁻¹],
 - hloubka záběru 0,01 [mm],
- orovnávací nástroj
 - jednokamenový diamantový orovnávač.



Obr. 16 Bruska rovinná BPH 320A

Hodnocené procesní kapaliny byly do místa řezu přivedeny pomocí externího chladičho systému, průtočné množství činilo 0,27 l.s⁻¹ (obr. 17). Směrování proudu procesní kapaliny do místa řezu zajišťoval flexibilní krk s magnetickým upínáním (obr. 18). Koncentrace procesních kapalin byla kontrolována ručním refraktometrem Optech Brix, typ RLC/ATC s rozsahem měření koncentrace 0-18% a přesností 0,1% (obr. 13).

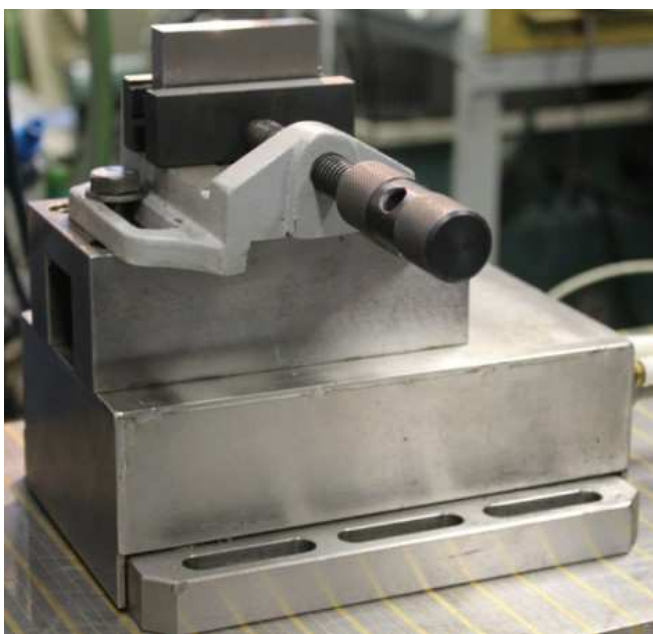
Posuzovanou veličinou při určování vlivu procesních kapalin na proces obrábění byla střední smluvní kolmá řezná síla při broušení. K určení této veličiny byl použit měřicí systém, jehož základní částí je piezoelektrický dynamometr KISTLER typ



Obr. 17 Externí chlazení s čerpadlem

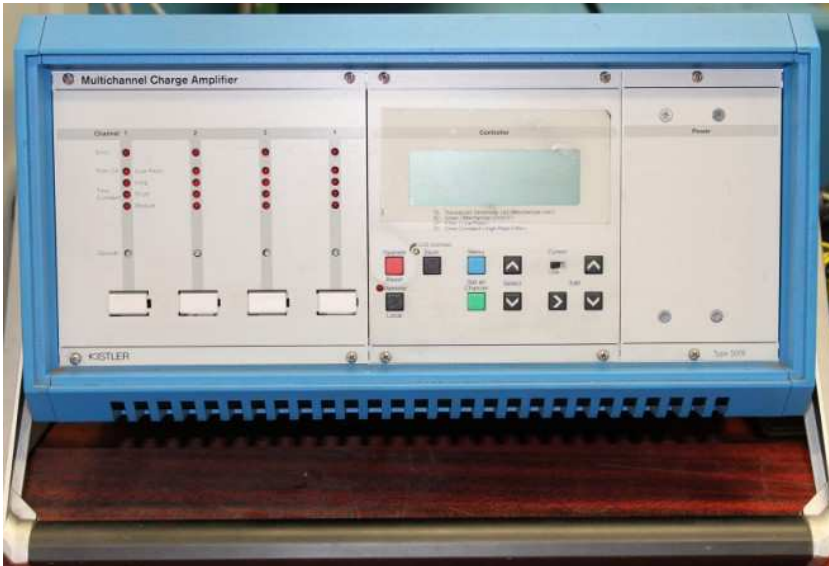


Obr. 18 Flexibilní krk s magnetickým upínáním

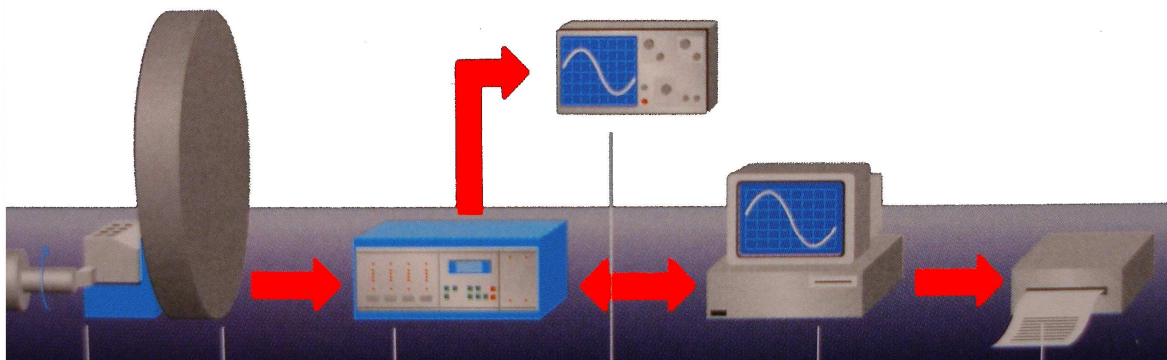


Obr. 19 Dynamometr KISTLER

9265 B (obr. 19). Pro zajištění minimální teplotní chyby dynamometru bylo v průběhu měření prováděno temperování zařízení. Elektrický náboj z dynamometru byl transportován do nábojového zesilovače KISTLER typ 5019 B (obr. 20), kde se transformuje na elektrický signál, který se přivádí na měřicí kartu počítače a je dále zpracováván programem LabVIEW.6. Kompletní sestava pro měření jednotlivých složek celkové řezné síly je schematicky znázorněna na obr. 21.



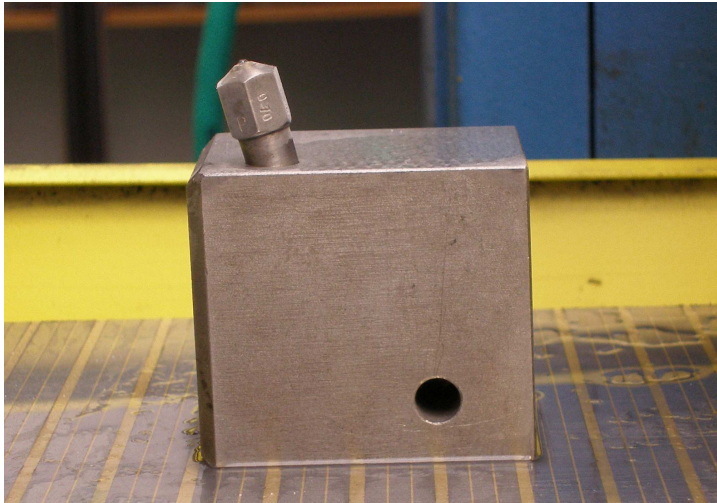
Obr. 20 Nábojový zesilovač KISTLER typ 5019 B



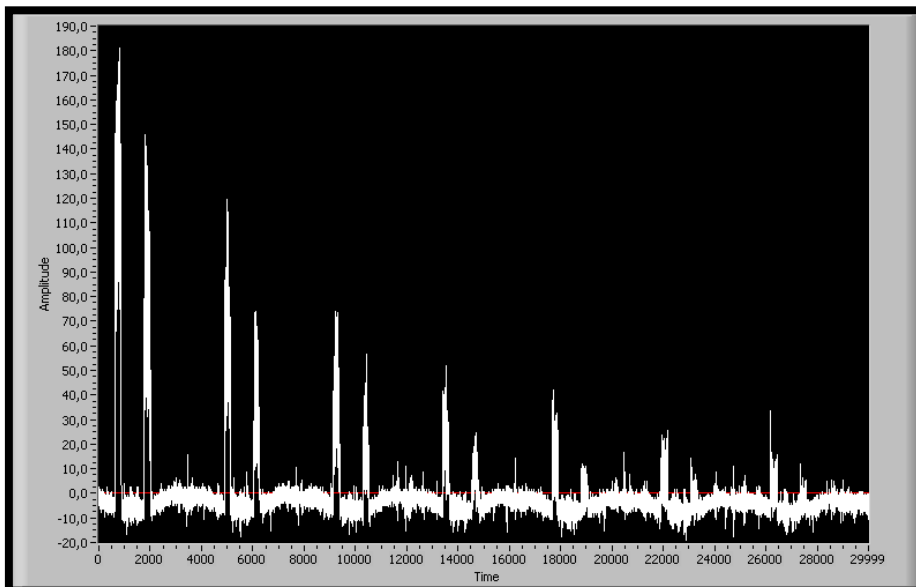
Obr. 21 Měřicí systém - schéma zapojení dynamometru

Střední smluvní kolmou řeznou sílu, která při broušení umožňuje objektivně vzájemně porovnat procesní kapaliny, je nutno stanovit následujícím způsobem postupně v několika krocích.

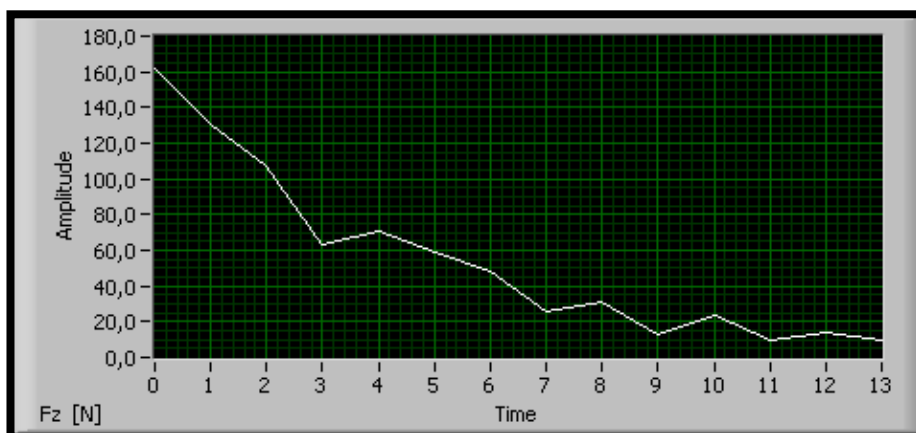
Před hodnocením konkrétní procesní kapaliny se vždy orovná brousicí kotouč (obr. 22). Při následném rovinném broušení obvodem brousicího kotouče se v průběhu tzv. vyjiskřování velikost kolmé řezné síly při jednotlivých zdvizech stolu stroje postupně a více či méně snižuje a to v závislosti na podmínkách broušení (obr. 23).



Obr. 22 Jednokamenový diamantový orovnávač



Obr. 23 Záznam z měření kolmé řezné síly dynamometrem KISTLER



Obr. 24 Střední kolmá řezná síla při jednotlivých zdvích stolu brusky

Pokud je zajištěno, že kromě použité procesní kapaliny jsou všechny další řezné podmínky při broušení konstantní, pak lze vyšetřit, jak konkrétní procesní kapalina specificky ovlivňuje proces vyjiskřování a konkrétně intenzitu postupného zmenšování velikosti kolmé řezné síly. Kolmé řezné síly při jednotlivých zdvích stolu brusky se přesně změří s použitím dynamometru. Ze záznamu signálů z dynamometru se pro každý zdvih s použitím měřicího systému určí hodnota střední kolmé řezné síly (obr. 24). Z těchto hodnot střední kolmé řezné síly, které byly stanoveny při prvních šesti zdvích stolu brusky, se dále pro každou procesní kapalinu vypočítá střední smluvní kolmá řezná síla. Tato finální hodnota je aritmetickým průměrem ze stanovených hodnot síly při prvních šesti zdvích stolu brusky.

Aby byla garantována věrohodnost výsledků, je třeba měření opakovat 5x.

Jako nejlepší je pak hodnocena taková procesní kapalina, která v průběhu vyjiskřování zapříčiní nejrychlejší snížení velikosti kolmé řezné síly, což bude mít za následek nejmenší hodnotou střední smluvní kolmé řezné síly. Nejmenší hodnota střední smluvní kolmé řezné síly je známkou příznivých mazacích a chladicích účinků procesní kapaliny při daných podmínkách broušení.

6.5 Trvanlivost nástroje při soustružení, frézování a vrtání

Experimenty pro zjišťování trvanlivosti nástroje při soustružení, frézování a vrtání byly s použitím různých procesních kapalin provedeny za jinak konstantních řezných podmínek.

Pro měření velikosti opotřebení byla použita nástrojová lupa Brinell (obr. 25).

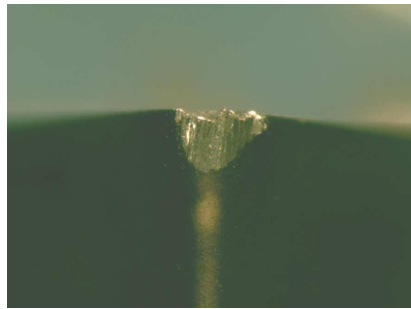
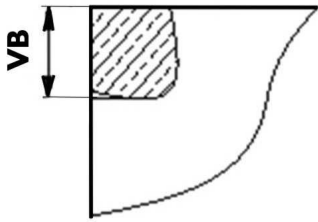


Obr. 25 Nástrojová lupa Brinell

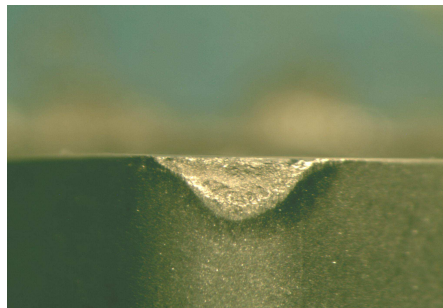
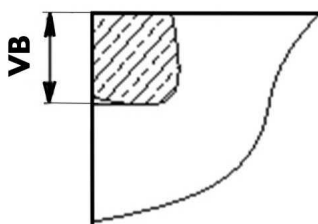
Kritériem opotřebení nástroje bylo navrženo v závislosti na technologii obrábění. Při soustružení byla kritériální hodnota šířky opotřebení na hlavním hřbetu zvolena $V_B = 0,5$ mm (obr. 26), při frézování byla kritériální šířka opotřebení na hlavním hřbetu zvolena $V_B = 0,7$ mm (obr. 27). Při vrtání konstrukční oceli byla jako kritériální hodnota zvolena délka opotřebení na vedlejším hřbetu $O_{V_{Hkr}} = 3$ mm (obr. 28) případně hodnota šířky opotřebení příčného ostří vrtáku $O_{POkr} = 0,3$ mm (obr. 29). Pro stanovení trvanlivosti bylo rozhodující, která kritériální mez opotřebení byla dosažena dříve. Při vrtání antikorozní (nerezové) oceli bylo jako kritérium zvolena hodnota opotřebení hlavního ostří vrtáku $O_{HOkr} (V_B) = 0,3$ mm (obr. 30).

Soustružení a frézování konstrukční a antikorozní oceli s použitím konkrétní procesní kapaliny / média bylo zopakováno 5x. Při každém experimentu byla zjišťo-

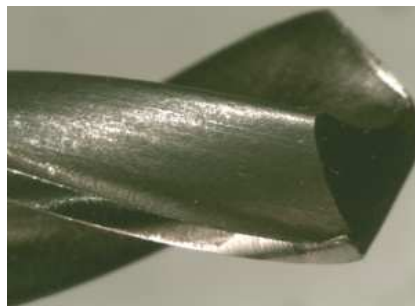
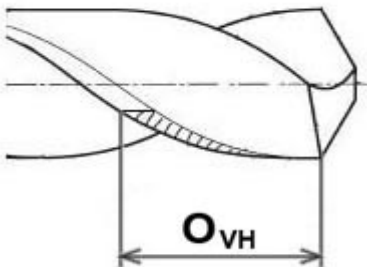
vána trvanlivost nástroje (čas do dosažení kritéria opotřebení). Trvanlivost pro danou kapalinu / médium byla stanovena jako aritmetický průměr z provedených měření.



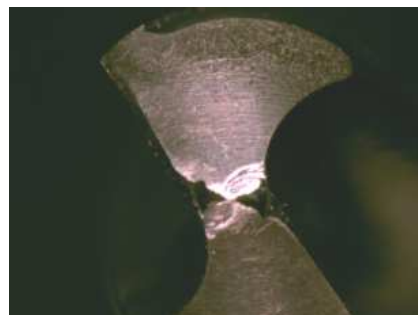
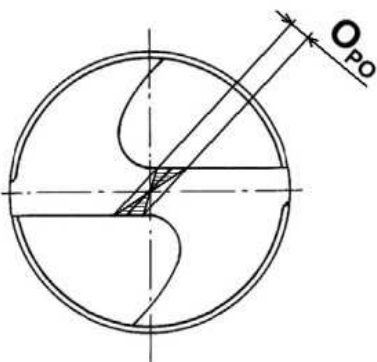
Obr. 26 Soustružení - opotřebení na hlavním hřbetu



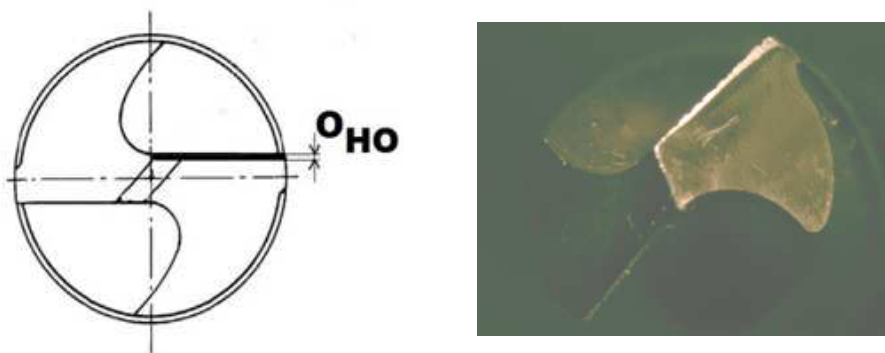
Obr. 27 Frézování - opotřebení na hlavním hřbetu



Obr. 28 Vrtání konstrukční oceli - opotřebení na vedlejším hřbetu



Obr. 29 Vrtání konstrukční oceli - opotřebení na příčném ostří



Obr. 30 Vrtání antikorozi oceli - opotřebení na hlavním ostří

Vrtání konstrukční oceli a antikorozi oceli s použitím konkrétní procesní kapaliny / média bylo zopakováno 2x. Důvodem jsou náročné řezné podmínky při experimentech, kdy u vrtáků docházelo ke specifickému průběhu nárůstu opotřebení, jež se vyznačovalo rychlým přechodem ze stabilní do nestabilní fáze vrtání. Při experimentech bylo třeba eliminovat riziko zničení nástroje odtavením břitové části a minimalizovat následné riziko poškození vřetena stroje. V případech velkého rozdílu mezi dvěma zjištěnými trvanlivostmi vrtáků bylo provedeno měření třetí. Ze tří naměřených hodnot trvanlivosti byla následně vyřazena ta, která se více odlišovala, a zbývající dva údaje byly dále vyhodnocovány. Při každém experimentu byla zjišťována trvanlivost nástroje. Trvanlivost pro danou kapalinu/médium byla stanovena jako aritmetický průměr z provedených měření.

Průměrné trvanlivosti pro jednotlivé procesní kapaliny / média byly dále mezi sebou porovnány a procesní kapalina, při které byla dosažena největší průměrná trvanlivost, byla vyhodnocena jako nejlepší.

6.6 Hodnocení vlivu procesních kapalin na drsnost povrchu obroběných strojních součástí

Měření parametrů drsnosti povrchu podle ČSN EN ISO 4287:1997 [5] bylo realizováno na profiloměru Mitutoyo Surftest SV-2000N2 (obr. 31).

Přístroj pracuje dotkovou metodou. Při měření se snímač, tj. dotek s diamantovou kuželovou špičkou (obr. 32), posouvá po povrchu hodnocené strojní součásti a průběžně zaznamenává existující nerovnosti. Vertikální pohyb doteku je transformován na elektrický signál, který je následně zpracován softwarem „Surfpak“ v připojeném osobním počítači. Přístroj umožňuje pomocí softwaru Surfpak vyhodnotit řadu parametrů drsnosti podle norem ISO, DIN a JIS a zobrazit profily v různém nastavení.

Pro hodnocení vlivu procesních kapalin na drsnost povrchu obroběných strojních součástí byly zvoleny dva parametry definované normou:

Ra - průměrná aritmetická úchylka posuzovaného profilu,

Rz - největší výška profilu

a jeden nenormovaný parametr:

C_{PT50} - padesátiprocentní nosný podíl posuzovaného profilu, tj. hloubka, ve které je podíl materiálu a vzduchu 1:1 (50% kovového materiálu a 50 % vzduchu).



Obr. 31 Profiloměr Mitutoyo SurfTest SV-2000N2



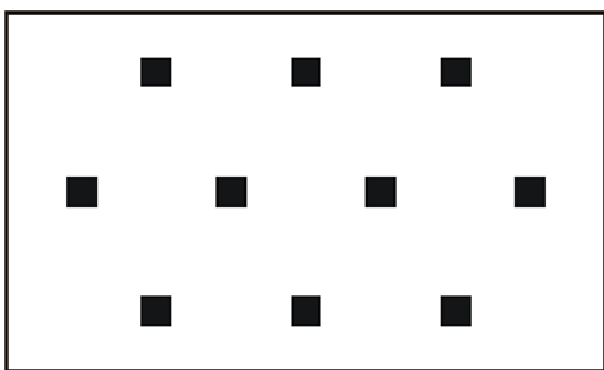
Obr. 32 Základní snímač používaný pro měření povrchu strojních součástí

Drsnost povrchu lze změřit na součástech rotačních, rovinných a za určitých podmínek i tvarových. Pro měření musí být k dispozici dostatečně veliký prostor pro dráhu snímače v délce minimálně 7 mm. U strojních součástí obroběných nástroji s definovanou a nedefinovanou geometrií břitu (soustružení, frézování, vrtání, hoblování, broušení, ap.) nástroj zanechává na obroběném povrchu zřetelné stopy (obr. 33). Parametry drsnosti povrchu se zpravidla měří kolmo na směr vzniklých nerovností. U součástí odlitých nebo vykovaných, kde nástroje na povrchu zřetelné stopy

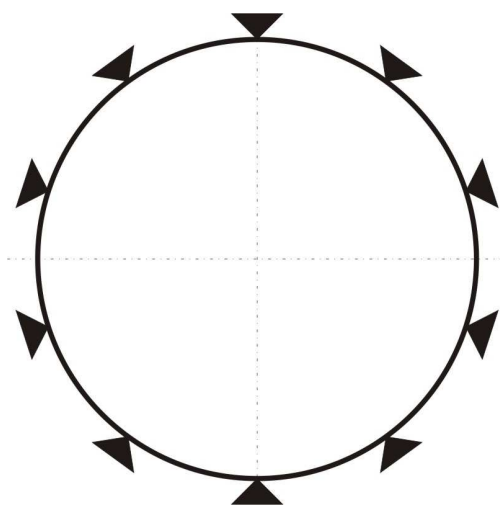
nezanechávají, na směr měření nezáleží. U těchto součástí se měření provádí opakovaně a v různých směrech.



Obr. 33 Stopy nástroje na obrobeném povrchu



Obr. 34 Místa měření u rovinné součásti



Obr. 35 Místa měření u rotační součásti

Z důvodu dobré reprodukovatelnosti a v rámci co nejlepšího pokrytí vzorků náměrovými místy bylo zvoleno 10- krát opakované měření. Pro komplexní proměření celé plochy u nejčastěji se vyskytujících strojních součástí s plochami rovinnými a rotačními byla navržena místa měření dle (obr. 34) a (obr. 35).

Výsledné hodnoty parametrů drsnosti povrchu byly dále statisticky zpracovány dle postupu, uvedeného v normě „ČSN ISO 8688-1 - Testovanie trvanlivosti pri fré-zování“ [6].

6.7 Hodnocení vlivu procesních kapalin na tvar třísky při obrábění strojních součástí

Hodnocení vlivu procesních kapalin na tvar třísky při obrábění strojních součástí bylo realizováno na pracovišti vizuální kontroly (obr. 36).



Obr. 36 Pracoviště vizuální kontroly

Pracoviště je tvořeno kovovou konstrukcí s průsvitnou plastovou deskou pro umístění kontrolované součásti. Zadní stranu stolu je možné libovolně naklopit. Celá konstrukce umožňuje rychlou demontáž. Pro fotografování součástí slouží digitální zrcadlovka Nikon D200 s efektivním rozlišením CCD čipu 10 Mpx (obr. 37).

Při obrábění řezný nástroj odebírá z polotovaru stanovenou vrstvu materiálu a ta odchází z místa řezu jako tříška. V důsledku materiálových vlivů a řezných podmínek se třísky během procesu obrábění různým způsobem stáčí, lámou a dělí. Charakteristické druhy vznikajících třísek jsou specifikovány v normě ISO 3685. Přehled základních druhů třísek je uveden na souhrnném obrázku 38.



Obr. 37 Fotoaparát Nikon D200

1. Stužkové *	2. Vinuté *	3. Spirálové *	4. Vlnité šroubovitě *	5. Kuželovitě šroubovitě *	6. Obloukovité ♦	7. Elementární	8. Jehlovité
1.1. Dlouhé	2.1. Dlouhé	3.1. Ploché	4.1. Dlouhé	5.1. Dlouhé	6.1. Spojené		
1.2. Krátké	2.2. Krátké	3.2. Kuželovitě	4.2. Krátké	5.2. Krátké	6.2. Dělené		
1.3. Smotané	2.3. Smotané		4.3. Smotané	5.3. Smotané			

Obr. 38 Tvary třísek dle normy ISO 3685

Z důvodů ekonomických, bezpečnostních i technických je v průmyslové praxi požadováno, aby bylo možné vzniklé třísky z pracovního prostoru obráběcího stroje odstranit co nejjednodušším způsobem a aby třísky nepoškozovaly obrobené plochy na součásti. Proto je žádoucí, aby se tříska při obrábění lámala na malé kousky, které lze snadno transportovat a uskladňovat.

Protože tvar třísek ovlivňují řezné podmínky, tedy též procesní kapaliny, byly při jednotlivých experimentech obrábění vzniklé třísky shromažďovány a následně byl vyhodnocován jejich tvar. Pro archivování informace o tvaru třísky, která vznikla při testování jednotlivých druhů procesních kapalin, slouží snímky z fotoaparátu.

Z hlediska utváření třísek byly jako nejlepší označeny třísky obloukovité dělené, třísky elementární a takové, které se svým tvarem k těmto druhům třísek blížily.

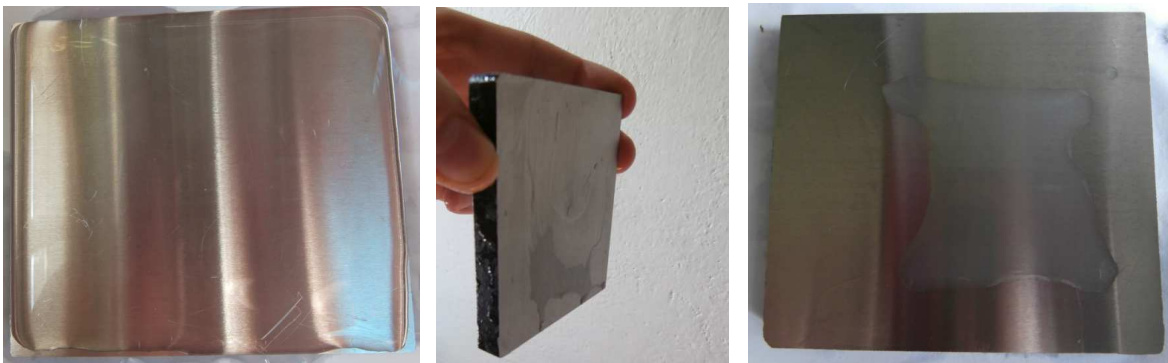
6.8 Hodnocení ulpívání procesních kapalin na obrobku

Z materiálů, které byly použity pro testování procesních kapalin, byly pro experimenty ulpívání připraveny dva zkušební vzorky z daného materiálu o rozměrech 70 x 80 mm. První vzorek reprezentoval povrch součástí obrobeků nástroji s definovanou geometrií břitu a tento vzorek byl finálně frézován (průměrná aritmetická úchylka posuzovaného profilu Ra u frézovaného vzorku činila cca 2,5 μm). Druhý zkušební vzorek reprezentoval povrch součástí obrobeků nástroji s nedefinovanou geometrií břitu a tento vzorek byl finálně broušen (průměrná aritmetická úchylka posuzovaného profilu Ra u vzorku broušeného činila cca 0,1 μm). Množství ulpělé procesní kapaliny bylo hodnoceno zvlášť na zkušebním vzorku frézovaném a na vzorku broušeném.

Pro experimenty ulpívání byl připraven 5% roztok hodnoceného emulzního oleje a vody.

Pro stanovení parametru ulpívání byl použit následující postup:

- zalití povrchu zkušebního vzorku ve vodorovné poloze procesní kapalinou za konstantních podmínek (obr. 39a),
- po zalití okamžitě otočit zkušební vzorek o 90° do svislé polohy (kratší strana dole),
- výdrž ve svislém stavu po dobu 8 sec (obr. 39b),
- zpětné natočení vzorku do vodorovné polohy (obr. 39c),



a) zalitý stav

b) svislá poloha

c) ustálení kapaliny

Obr. 39 Postup měření ulpívání procesní kapaliny na obrobku

- ustálení procesní kapaliny ve vodorovné poloze po dobu 3 minut,
- fotografování zkušebního vzorku s ustálenou procesní kapalinou,
- vyčištění zkušebního vzorku a odmaštění lihem.

Fotografie zkušebních vzorků s ustálenou procesní kapalinou byly následně vyhodnoceny (pro vyhodnocení lze použít např. program Malování a AutoCAD Mechanical 2010). Postup hodnocení byl pro každou procesní kapalinu totožný a to jak pro broušené i frézované zkušební vzorky:

- úprava fotografie na jednotné měřítko odpovídající skutečným rozměrům zkušebního vzorku (kratší strana vzorku 70 mm),

- příprava čtvercové sítě o rozměrech 50 x 50 mm, která představuje vyhodnocovanou oblast, dle obr. 40a,
- stanovení referenčního bodu - bod na fotografii, kde na povrchu vzorku ulpěla procesní kapalina nejnižže vpravo dole (obr. 40b),
- umístění pravého dolního rohu čtverečkové sítě do stanoveného referenčního bodu (obr. 40c),
- vložení fotografie s ulpělou kapalinou a čtvercovou sítí do souhrnného formuláře,
- stanovení množství ulpělé kapaliny ve vyhodnocované oblasti v procentech (sčítají se čtverečky s ulpělou kapalinou zaplněné zcela, ze tří čtvrtin, z poloviny a ze čtvrtiny).

Při fotografování bylo nutné zkušební vzorky s ulpělou procesní kapalinou vhodně osvětlit (barva a intenzita světla) tak, aby na fotografii bylo možné dobře rozlišit oblasti s ulpělou procesní kapalinou a suchá místa bez procesní kapaliny.



Obr. 40 Fotografie zkušebních vzorků s ulpělou procesní kapalinou

Pro dosažení spolehlivých výsledků byly experimenty pro danou procesní kapalinu provedeny opakovaně 5x a výsledky byly statisticky zpracovány. Pokud se při měření množství ulpělé kapaliny projevila významná odchylka, pak se výsledek měření s významnou odchylkou pro další zpracování nepoužil a bylo provedeno dodatečné měření.

Výsledky byly zaneseny do tabulky a následně do souhrnného grafu. Je žádoucí, aby množství procesní kapaliny, které ulpí na povrchu vzorku, bylo co nejmenší (minimalizace objemu prací a nákladů na čištění obrobekých součástí), tedy ta procesní kapalina, u které bude stanovena nejmenší hodnota ulpívání, byla při experimentech hodnocena jako nejlepší.

6.9 Hodnocení antiadhezní schopnosti procesních kapalin

Metodika hodnocení antiadhezní schopnosti procesních kapalin umožňuje rozlišit specifickou vlastnost různých druhů procesních kapalin, které se používají při obrábění nástroji s definovanou geometrií břitu. Podstata metody spočívá ve stano-

vení velikosti opotřebení čelní plochy na břitu řezného nástroje při použití různých procesních kapalin.

Hodnocení antiadhezní schopnosti procesních kapalin bylo prováděno při volném ortogonálním řezání, kdy je rychlost pohybu třísky po celé délce ostří a na čele řezného nástroje konstantní. Ortogonální řezání bylo realizováno při technologii hoblování zápichem. Experimenty hoblování byly provedeny na svislé konzolové frézce FA4A-V (obr. 41).



Obr. 41 Frézka TOS FA4A-V



Obr. 42 Hoblovací nůž upnutý do speciálního držáku na vřeteníku stroje

Při experimentech byl nástroj upnut svisle do speciálního držáku přišroubovaného k tělesu vřeteníku stroje (obr. 42). Přímocharý vratný pohyb byl zajištěn posuv-

ným pohybem stolu frézky. Pro obrábění byl použit soustružnický nůž Pramet CTCPN 2514 M16 s vyměnitelnou břitovou destičkou TPUN 160304; S26 (odpovídá ISO P15 - P30), s charakteristickou geometrií $\gamma_o = +5^\circ$ a $\lambda_s = 0^\circ$. Je výhodné použít VBD z nepovlakovaného slinutého karbidu, který je doporučován pro obrábění nízkopevnostních ocelí, aby se při obrábění antikorozi oceli účinky adheze projeví co nejrychleji. Zkušební vzorek šířky 6 mm, délky 60 mm a výšky 25 mm byl vyroben z antikorozi oceli 17 021 (také označena 1.4021, příp. X20Cr13). Tato ocel je pro hodnocení antiadhezní schopnosti procesních kapalin vhodná, protože má velmi velkou schopnost k adhezi. Protože byly experimenty hoblování provedeny na svislé konzolové frézce, bylo obrábění s požadovanou řeznou rychlostí docíleno pracovním posuvem stolu stroje. Aby při zpětném zdvihu rychloposuvem nedocházelo k odírání hřbetu nástroje o obrobek, bylo třeba ručním posuvem posunout stůl stroje o 1 mm dolů.

Pro přípravu procesní kapaliny s požadovanou koncentrací byla použita metoda přímého odměření koncentráту. Při měření koncentrace jednotlivých hodnocených procesních kapalin byl použit refraktometr Optech Brix, typ RLC/ATC (obr. 13). Při měření bylo nutné zohlednit refrakční index r_i , který je pro každou jednotlivou procesní kapalinu odlišný. Pro správné určení koncentrace byl proto u každé procesní kapaliny stanoven tzv. údaj refraktometru R dle následujícího vztahu:

$$R = \frac{C}{r_i}$$

Pokud byla požadovaná koncentrace procesní kapaliny ověřena refraktometrem, byla přelita do chladicí soustavy stroje. Aby při experimentech nemohlo dojít k nežádoucímu promísení jednotlivých procesních kapalin a odstranilo se pracné čištění chladicího systému, byly procesní kapaliny použity jednorázově.

Při zjišťování antiadhezní schopnosti procesní kapaliny je velmi důležité, aby při obrábění byla teplota na čele nástroje relativně nízká. Teplota nesmí překročit hodnotu 650°C , čímž je zajištěno, že výsledky experimentu nebudou ovlivněny difuzním opotřebením, ke kterému může docházet při teplotách nad 680°C . Při hodnocení jednotlivých procesních kapalin musí být zachovány stejné řezné podmínky. Jedinou proměnnou je druh posuzované procesní kapaliny. Experimenty hoblování byly provedeny za následujících řezných podmínek:

- řezná rychlost $v_c = 900 \text{ mm/min}$,
- hloubka záběru (záběr ostří ve směru přísuvu) $a_p = 0,1 \text{ mm}$,
- šířka záběru (záběr ostří ve směru příčného posuvu) $a_f = 6 \text{ mm}$,
- počet dvojjzdvihů v průběhu jednoho experimentu $z_d = 100$.

Počet hoblovacích dvojjzdvihů byl zvolen co nejmenší, ale takový, aby u všech hodnocených procesních kapalin vzniklo měřitelné opotřebením na čele nástroje. Záběrové podmínky při hoblování jsou zřejmé z obr. 43.

Podstata metody hodnocení antiadhezní schopnosti procesních kapalin spočívá v hodnocení rozdílů ve velikosti plochy opotřebením vzniklé za jinak stejných řezných podmínek při použití různých procesních kapalin na čele řezného nástroje

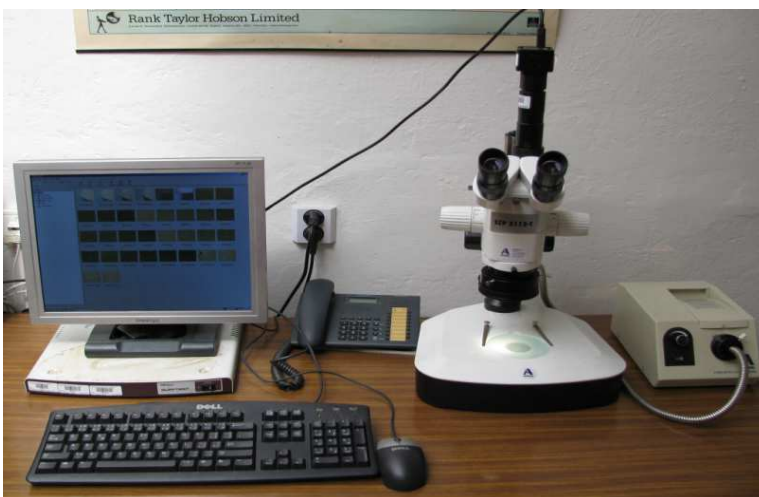
v důsledku adhezního otěru. Vznik adhezního otěru mohou procesní kapaliny významně ovlivnit.



Obr. 43 Detail nástroje, obrobku a hubice pro přívod procesní kapaliny



Obr. 44 Schéma dílčích ploch opotřebení na čele řezného nástroje

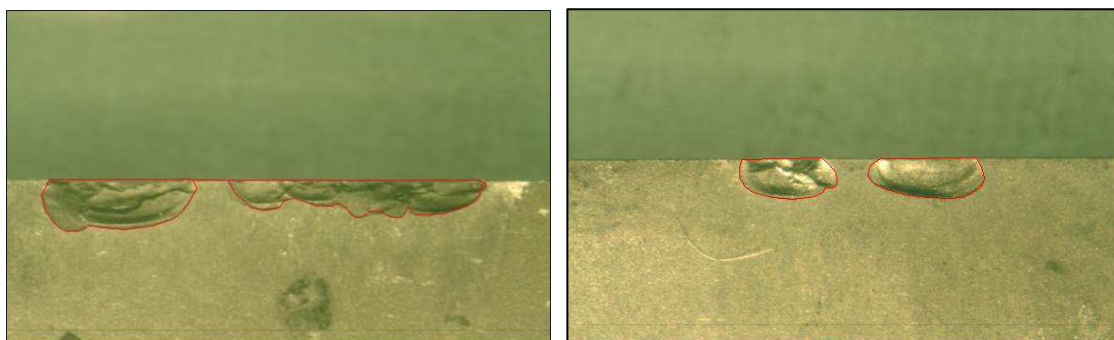


Obr. 45 Mikroskop Arsenal SZP 3112-T s kameru LABO 3MP

Schéma plochy opotřebení je uvedeno na obr. 44. Celková plocha opotřebení S [mm²] se stanoví jako součet všech dílčích ploch opotřebení, které hraničí s ostřím. Vzhledem k malým rozměrům dílčích ploch opotřebení na čele řezného ná-

stroje bylo třeba vyhodnotit jejich velikost mikroskopem, který současně umožnil pořízení fotografií pro následné zpracování na PC. Pro měření byl použit mikroskop Arsenal SZP 3112-T vybavený laboratorní kamerou LABO 3MP (obr. 45).

Všechny hodnocené fotografie ploch opotřebených musí mít stejné zvětšení. U každé fotografie byla vyznačena hranice všech opotřebených ploch v oblasti záběru nástroje, jak je zřejmé z obr. 46 (hranice vyznačeny červenou čarou). Dále byla z fotografií určena skutečná výsledná velikost plochy opotřebení na čele nástroje S v mm^2 . K tomu byl použit software AutoCAD, který ze snímku s vyznačenou hranicí opotřebených ploch s použitím funkcí POLILINE a AREA umožnil stanovit plochu opotřebení automaticky.



Obr. 46 Snímky s označenými hranicemi opotřebené plochy na čele nástroje

Pro dosažení spolehlivých výsledků je třeba experimenty pro danou procesní kapalinu provádět opakovaně a výsledky statisticky zpracovat. Pro každou procesní kapalinu bylo měření opakováno 5x. Výsledné hodnoty ploch opotřebení na čele nástroje byly dále statisticky zpracovány dle postupu, uvedeného v normě „ČSN ISO 8688-1 - Testovanie trvanlivosti pri frézování“ [6].

Pro každý experiment byl vždy použit ostrý / neopotřebovaný nástroj, příp. nový břit u vyměnitelné břitové destičky.

Antiadhezní schopnost procesní kapaliny je tím lepší, čím menší vznikne plocha opotřebení po obrábění za jinak konstantních řezných podmínek.

6.10 Hodnocení vlivu procesních kapalin na magnetoelastický parametr

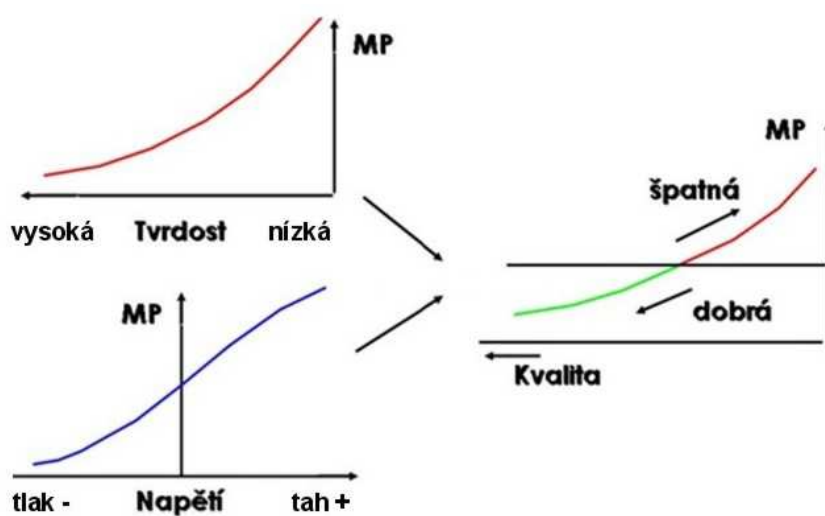
S použitím magnetoelastického analyzátoru MicroScan 600-1 (obr. 47) lze u strojních součástí rychle a nedestruktivně hodnotit kvalitu povrchu a podpovrchové vrstvy a vyšetřovat anomálie, které jsou vyvolány změnami zbytkového napětí, tvrdosti, příp. mikrostruktury. Přístrojem se na základě analýzy tzv. Barkhausenova šumu určuje hodnota magnetoelastického parametru.

Magnetoelastický parametr je jedním z parametrů, kterým lze charakterizovat tzv. integritu povrchu součástí. Pokud se obrobený povrch součásti vyznačuje vysokou tvrdostí a tlakovým (záporným) zbytkovým napětím, pak bude hodnota magnetoelastického parametru (intenzita signálu) nízká. Pokud u další součásti dojde k poklesu tvrdosti či nárůstu zbytkových napětí (směrem k tahovým zbytkovým napětím), projeví se tato skutečnost nárůstem hodnoty magnetoelastického parametru

(amplitudy Barkhausenova šumu). Schématicky jsou tyto závislosti naznačeny na obr. 48. Z hodnot magnetoelastického parametru lze u strojních součástí také diagnostikovat místa se spáleninami po broušení nebo s chybami po tepelném zpracování.

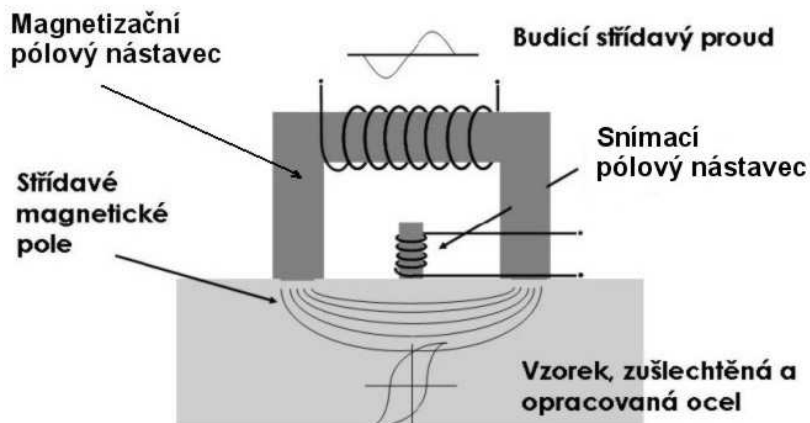


Obr. 47 Analyzátor Barkhausenova šumu MicroScan 600-1



Obr. 48 Charakteristické závislosti magnetoelastického parametru

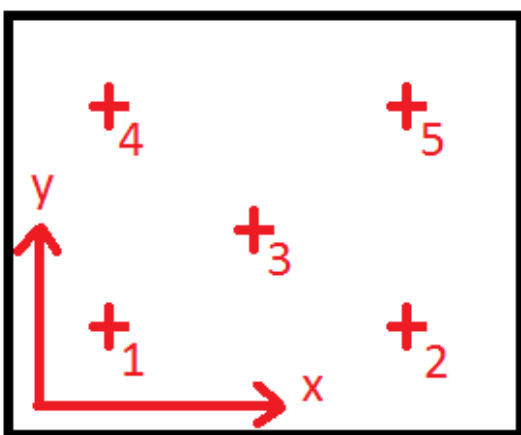
Snímače magnetoelastického parametru (Barkhausenova šumu) jsou konstruovány pro statické i dynamické měření a skládají se ze dvou základních částí: magnetizačního pólového nástavce a snímacího pólového nástavce (obr. 49). Tvar snímače se liší podle měřeného povrchu. Univerzální snímač používaný pro standardní měření je znázorněn na obr. 50.



Obr. 49 Základní části snímače Barkhausenova šumu



Obr. 50 Univerzální snímač používaný pro standardní měření



Obr. 51 Souřadný systém zkušebního vzorku a místa měření

Před měřením zkušebních vzorků bylo třeba s využitím programu Viewscan na přístroji nastavit optimální hodnoty magnetizační frekvence a magnetizačního napětí. Ke stanovení magnetoelastického parametru byl použit program MicroScan.

Na zkušebních vzorcích byl určen souřadný systém a byla vyznačena místa měření (obr. 51). Osa y na vzorku odpovídá směru posuvu a osa x je osa kolmá na směr posuvu při obrábění. Hodnoty magnetoelastického parametru byly u zkušebního vzorku stanoveny v 5-ti místech / bodech měření. V každém místě bylo měření 5x opakováno. Naměřené hodnoty byly následně statisticky zpracovány dle postupu, uvedeného v normě „ČSN ISO 8688-1 - Testovanie trvanlivosti pri frézování“ [6].

7. VÝSLEDKY EXPERIMENTŮ

Při řešení výzkumného projektu TA02021332 „Ekologické obráběcí kapaliny nové generace“ bylo hodnoceno celkem osm nově vyvinutých procesních kapalin (PK) a dále bylo také hodnoceno chlazení vodou a obrábění na sucho. Společným znakem všech posuzovaných PK bylo, že v maximální míře garantují ochranu zdraví a ekologické požadavky. Z hlediska úrovně šetrnosti vůči zdraví pracovníků a životnímu prostředí se jednalo o PK „šetrné“ a „velmi šetrné“. Základní složkou všech PK byla demineralizovaná voda a všechny PK obsahovaly korozní inhibitor založený na produktech neutralizace polykarboxylových kyselin a terciálních alkanolaminů. Také biocidní a protipěnovací systém byl u všech formulací PK stejný. Jednotlivé hodnocené PK se odlišovaly systémem mazivostních přísad. Ten se především lišil dle úrovně toho, jak byla kapalina šetrná vůči zdraví pracovníků a životnímu prostředí:

- PK01 ... obsahovala polyalkylenglykol střední viskozity,
- PK02 ... obsahovala polyalkylenglykol nižší viskozity,
- PK03 ... obsahovala nižší podíl polyalkylenglykolu velmi vysoké viskozity,
- PK04 ... obsahovala směs polyalkylenglykolů střední a nižší viskozity a vysokotlakou přísadu založenou na esterech kyseliny fosforečné,
- PK05 ... obsahovala směs polyalkylenglykolů střední a nižší viskozity a vysokotlakou přísadu založenou na solích thiokyselin,
- PK06 ... obsahovala vyšší podíl polyalkylenglykolu velmi vysoké viskozity,
- PK07 ... obsahovala polyalkylenglykol velmi vysoké viskozity a vysokotlakou přísadu založenou na esterech kyseliny fosforečné,
- PK08 ... obsahovala polyalkylenglykol extrémně vysoké viskozity a vysokotlakou přísadu založenou na esterech kyseliny fosforečné.

Pro všechny experimenty obrábění byl připraven 5% roztok vody a emulzního koncentrátu. Koncentrace PK byla kontrolována pomocí ručního refraktometru Brix 0 - 18 % ATC (obr. o13).

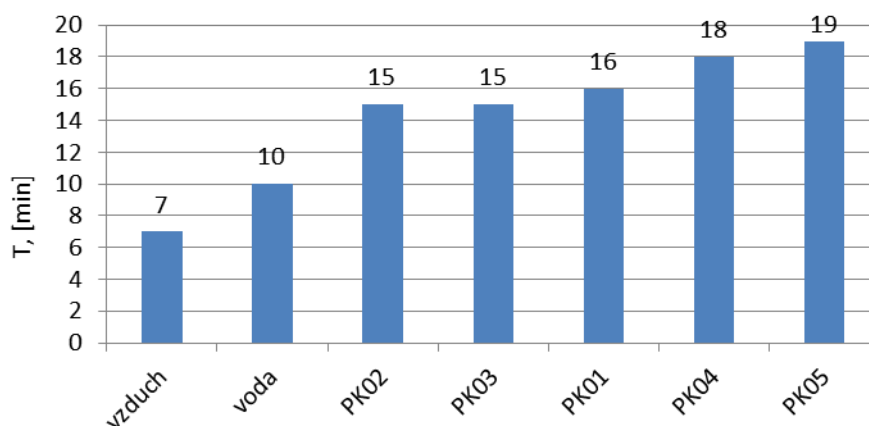
V této kapitole jsou shrnuty výsledky hodnocení vlivu PK na trvanlivost při soustružení, frézování a vrtání, výsledky hodnocení vlivu PK na střední smluvní kolmou řeznou sílu při broušení, výsledky hodnocení vlivu PK na drsnost povrchu obrobků strojních součástí, výsledky hodnocení vlivu PK na tvar třísky při obrábění strojních součástí, výsledky hodnocení ulpívání PK na obrobku, výsledky hodnocení antiadhezní schopnosti PK a výsledky hodnocení vlivu PK kapalin na magnetoelastický parametr.

7.1 Výsledky hodnocení vlivu procesních kapalin na trvanlivost při soustružení

Při porovnávání vlivu různých prostředí na průměrnou trvanlivost vyměnitelných břitových destiček (VBD) při soustružení konstrukční oceli 14 220.3 bylo zjištěno (obr. 52), že při použití vody můžeme očekávat zvýšení trvanlivosti o 42 %, při použití PK PK01, PK02 a PK03 můžeme očekávat zvýšení trvanlivosti o 102-122 % a

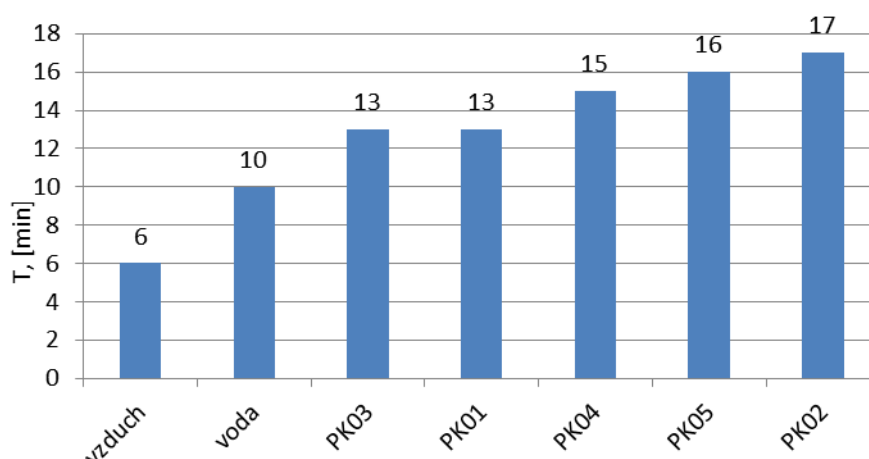
při použití PK04, příp. PK05 a můžeme očekávat zvýšení trvanlivosti o 149-155 % ve srovnání se soustružením bez procesní kapaliny (na sucho).

Pokud budeme průměrnou trvanlivost vztahovat k experimentům soustružení konstrukční oceli 14 220.3, kdy byla jako PK použita voda, pak můžeme při použití PK PK03, PK02 a PK01 očekávat zvýšení trvanlivosti o 42-56 % a při použití PK PK04 a PK05 můžeme očekávat zvýšení trvanlivosti o 75-79 % (obr. 52).



Obr. 52 Vliv různých procesních médií na průměrnou trvanlivost VBD při soustružení konstrukční oceli 14220.3

Při porovnávání vlivu různých prostředí na průměrnou trvanlivost VBD při soustružení antikorozi oceli 17 481 bylo zjištěno (obr. o 54), že při použití vody můžeme očekávat zvýšení trvanlivosti o 71 %, při použití PK PK01 a PK03 můžeme očekávat zvýšení trvanlivosti o 119-120 % a při použití PK PK04, PK05 a PK02 můžeme očekávat zvýšení trvanlivosti o 156-184 % ve srovnání se soustružením bez procesní kapaliny (na sucho).



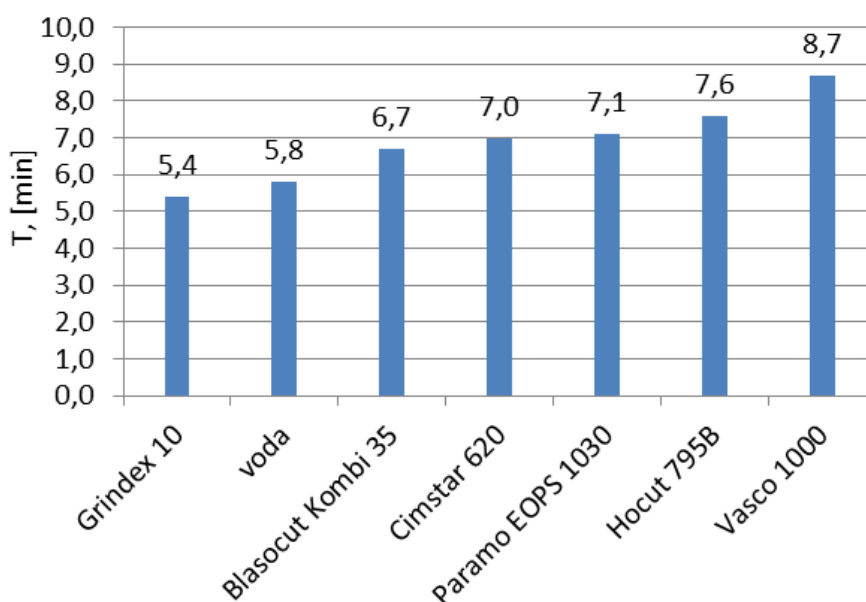
Obr. 53 Vliv různých procesních médií na průměrnou trvanlivost VBD při soustružení antikorozi oceli 17 481

Pokud budeme průměrnou trvanlivost VBD vztahovat k experimentům soustružení antikorozi oceli 17 481, kdy byla jako PK použita voda, pak můžeme při použití PK PK01 a PK03 očekávat zvýšení trvanlivosti o 28-31 % a při použití PK PK04, PK05 a PK02 můžeme očekávat zvýšení trvanlivosti o 50-66 % (obr. 53).

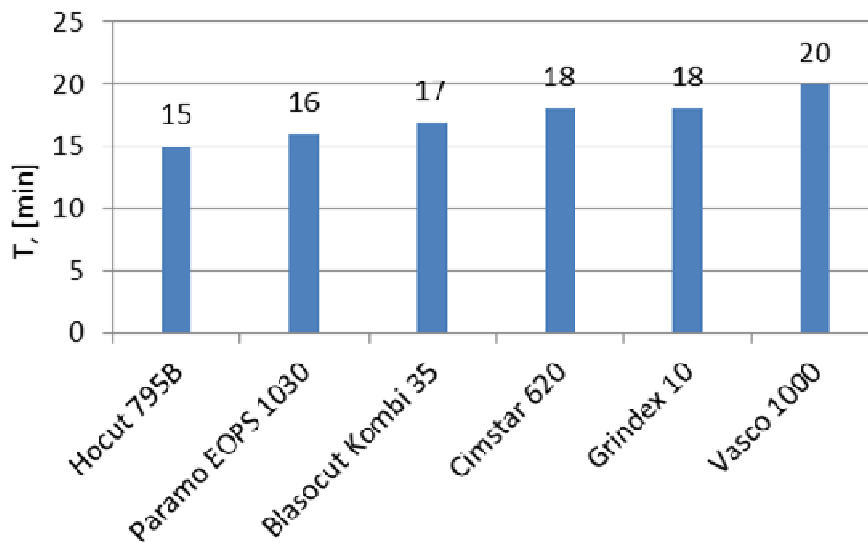
Při experimentech soustružení konstrukční oceli 14 220.3 byla nejvyšší trvanlivost nástroje dosažena při použití procesní kapaliny PK05. Při obrábění antikorozi oceli 17 481 byla nejvyšší trvanlivost nástroje dosažena při použití kapaliny PK02. Pokud se budou experimenty posuzovat v širších souvislostech (i z hlediska dalších technologií obrábění), pak lze pro soustružení konstrukční oceli 14 220.3 i antikorozi oceli 17 481 obecně doporučit použití procesní kapaliny PK04, příp. PK05, protože při použití těchto kapalin byla vždy dosažena velmi dobrá trvanlivost.

Při porovnávání vlivu PK od nejlepších světových výrobců na průměrnou trvanlivost vyměnitelných břitových destiček (VBD) při soustružení konstrukční oceli 14 220 bylo zjištěno (obr. 54), že největší trvanlivost byla dosažena s použitím PK VASCO 1000. S použitím PK HOCUT 795 B, Paramo EOPS 1030, CIMSTAR 620, příp. BLASOCUT BC 35 KOMBI trvanlivost klesá o 13 - 23%. S použitím vody a PK GRINDEX 10 trvanlivost klesá o 33 - 38%.

Při porovnávání vlivu PK od nejlepších světových výrobců na průměrnou trvanlivost vyměnitelných břitových destiček (VBD) při soustružení antikorozi oceli 17 481 bylo zjištěno (obr. 55), že největší trvanlivost byla dosažena s použitím PK VASCO 1000. S použitím PK GRINDEX 10, CIMSTAR 620 a BLASOCUT BC 35 KOMBI trvanlivost klesá o 8 - 14%. S použitím PK EOPS 1030, HOCUT 795 B trvanlivost klesá o 22 - 24%.

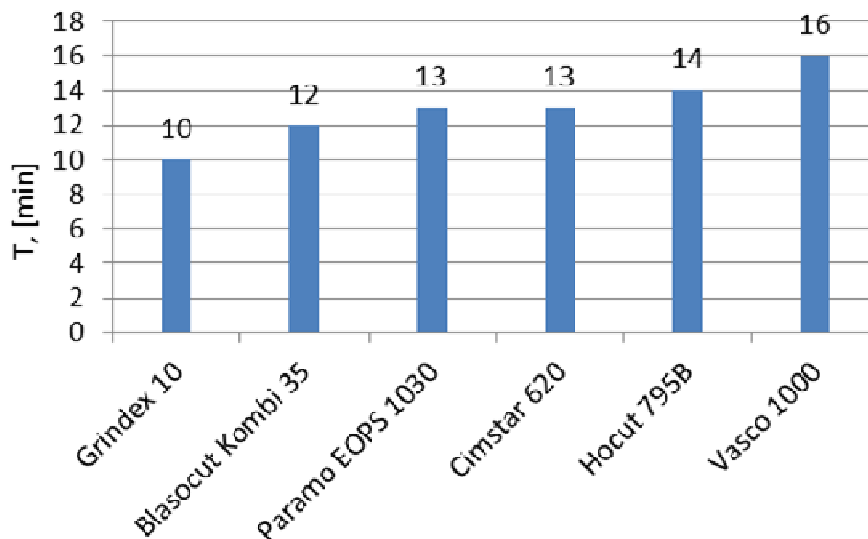


Obr. 54 Vliv procesních kapalin od nejlepších světových výrobců na průměrnou trvanlivost VBD při soustružení konstrukční oceli 14 220

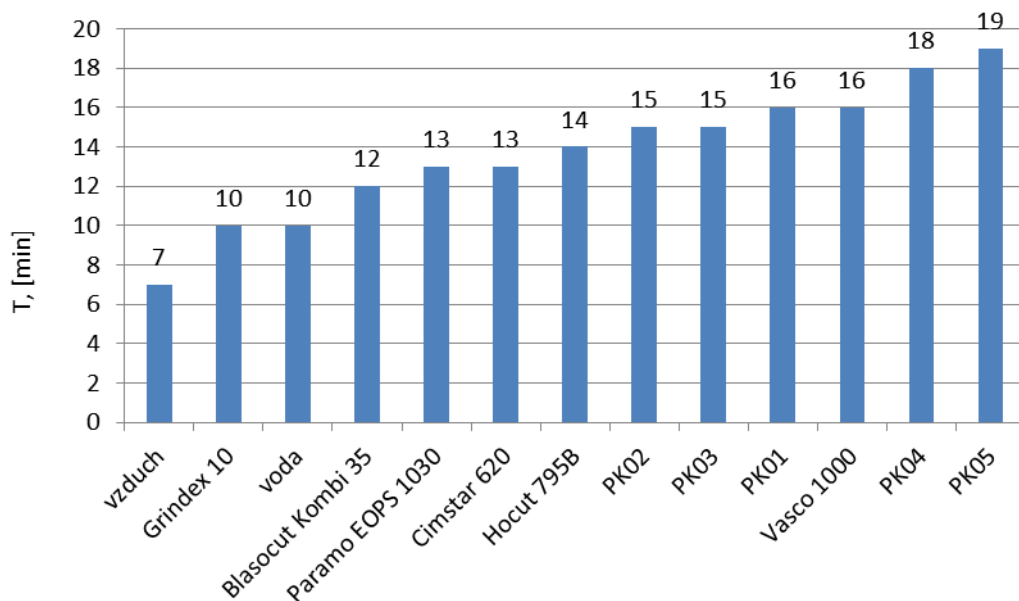


Obr. 55 Vliv procesních kapalin od nejlepších světových výrobců na průměrnou trvanlivost VBD při soustružení antikorozi oceli 17 481

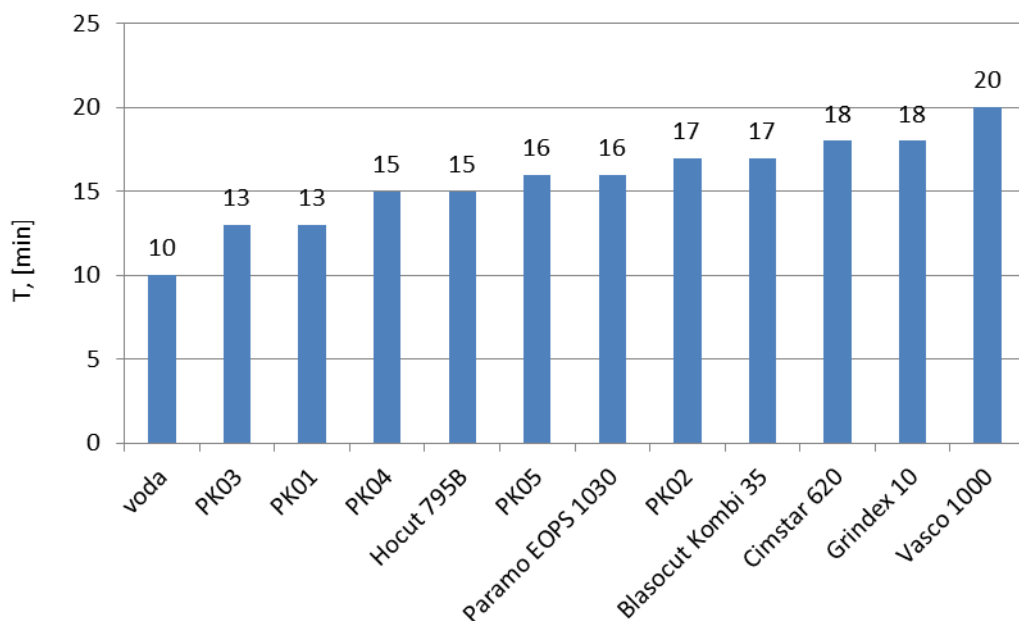
Při porovnávání vlivu procesních kapalin od nejlepších světových výrobců na průměrnou trvanlivost VBD při soustružení konstrukční oceli 14 220 a při soustružení antikorozi oceli 17 481 byla nejvyšší trvanlivost nástroje dosažena při použití PK VASCO 1000.



Obr. 56 Vliv procesních kapalin od nejlepších světových výrobců na průměrnou trvanlivost VBD při soustružení konstrukční oceli 14 220.3 (s koeficientem $K = 1,79$)



Obr. 57 Vliv různých procesních médií na průměrnou trvanlivost VBD při soustružení konstrukční oceli 14 220.3



Obr. 58 Vliv různých procesních médií na průměrnou trvanlivost VBD při soustružení antikorozi oceli 17 481

Při experimentech soustružení nově vyvíjených PK ze společnosti PARAMO a.s. v roce 2012 byla použita ocel 14 220.3. Při experimentech soustružení PK od nejlepších světových výrobců v roce 2013 byla použita ocel 14 220. Pro korektní vzájemné porovnání trvanlivosti PK bylo nutno výsledky z roku 2013 přepočítat. Z tohoto důvodu byl stanoven koeficient:

$$K = 10,39 / 5,8 = 1,79 ,$$

kde:

10,39 min - trvanlivost nástroje při soustružení ocele 14 220.3 s použitím vody,

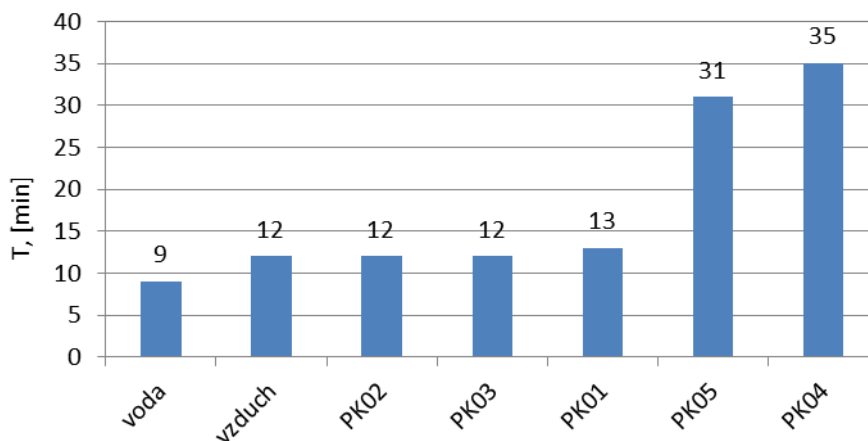
5,8 min - trvanlivost nástroje při soustružení ocele 14 220 s použitím vody.

Přepočítané průměrné hodnoty trvanlivosti VBD s použitím PK od nejlepších světových výrobců při soustružení konstrukční oceli 14 220.3 (použit koeficient $K = 1,79$) jsou uvedeny na obr. 56. Vzájemné porovnání PK od nejlepších světových výrobců a nově vyvíjených PK ze společnosti PARAMO a.s. je pak zřejmé z obr. 57, kde jsou shrnuty všechny hodnoty průměrné trvanlivosti VBD při soustružení konstrukční oceli 14 220.3.

Při experimentech soustružení antikorozi oceli v roce 2012, kdy byly použity nově vyvíjené PK ze společnosti PARAMO a.s., a při experimentech soustružení s použitím PK od nejlepších světových výrobců v roce 2013 byla použita stejná ocel 17 481, proto nebylo třeba výsledky přepočítávat. Vzájemné porovnání průměrné trvanlivosti VBD při použití všech hodnocených PK je zřejmé z obr. 58.

Při porovnávání vlivu PK od nejlepších světových výrobců a nově vyvíjených PK ze společnosti PARAMO a.s. na průměrnou trvanlivost VBD při soustružení konstrukční oceli 14 220.3 byla nejvyšší trvanlivost nástroje dosažena při použití PK PK05, PK04 a VASCO 1000. Při soustružení antikorozi oceli 17 481 byla nejvyšší trvanlivost nástroje dosažena při použití PK VASCO 1000. U PK ze společnosti PARAMO a.s. byla nejvyšší trvanlivost dosažena při použití PK02, PK05, PK04.

7.2 Výsledky hodnocení vlivu procesních kapalin na trvanlivost při frézování



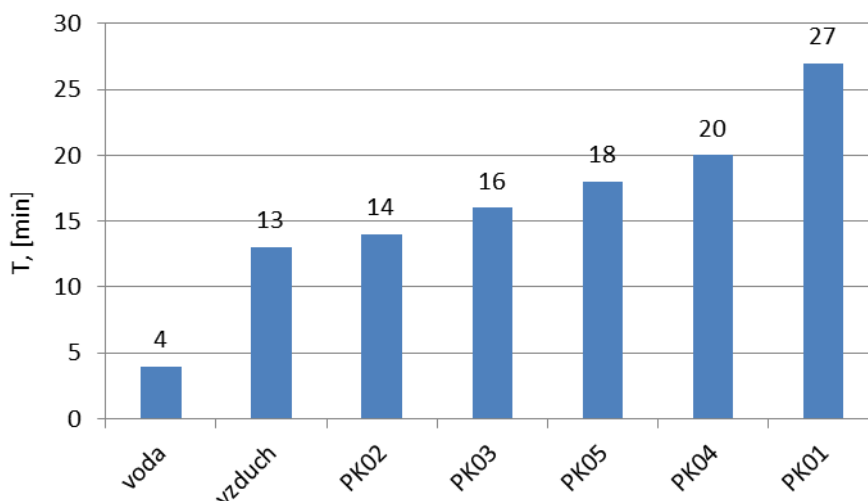
Obr. 59 Vliv různých procesních médií na průměrnou trvanlivost VBD při frézování konstrukční oceli 14 220

Při porovnávání vlivu různých prostředí na průměrnou trvanlivost vyměnitelných břitových destiček (VBD) při frézování konstrukční oceli 14 220 bylo zjištěno (obr. 59), že při použití vody lze očekávat snížení trvanlivosti o 21-22 %, při použití procesní kapaliny (PK) PK02, PK03 nebo PK01 lze očekávat přibližně stejnou trvanli-

vost a při použití PK PK05, PK04 můžeme očekávat zvýšení trvanlivosti o 167-202 % ve srovnání s frézováním bez procesní kapaliny (na sucho).

Při porovnávání vlivu různých procesních médií na průměrnou trvanlivost VBD při frézování antikorozi oceli 17 351 bylo zjištěno (obr. 60), že při použití vody lze očekávat snížení trvanlivosti o 69-70 %, při použití PK PK02 nebo PK03 můžeme očekávat zvýšení trvanlivosti o 7-23 %, při použití PK PK05, PK04 můžeme očekávat zvýšení trvanlivosti o 38-54 % a při použití PK PK01 můžeme očekávat zvýšení trvanlivosti o 107-108 % ve srovnání s frézováním bez procesní kapaliny (na sucho).

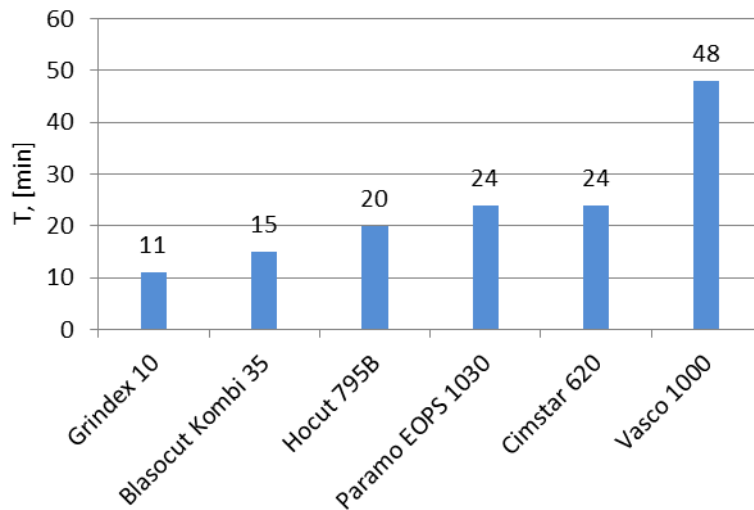
Při experimentech frézování konstrukční oceli 14 220 byla nejvyšší trvanlivost nástroje dosažena při použití procesní kapaliny PK04. Při obrábění antikorozi oceli 17 351 byla nejvyšší trvanlivost nástroje dosažena při použití kapaliny PK01. Pokud se budou experimenty posuzovat v širších souvislostech (i z hlediska dalších technologií obrábění), pak lze pro frézování konstrukční oceli 14 220 i antikorozi oceli 17 351 obecně doporučit použití procesní kapaliny PK04, příp. PK05, protože při použití těchto kapalin byla vždy dosažena velmi dobrá trvanlivost.



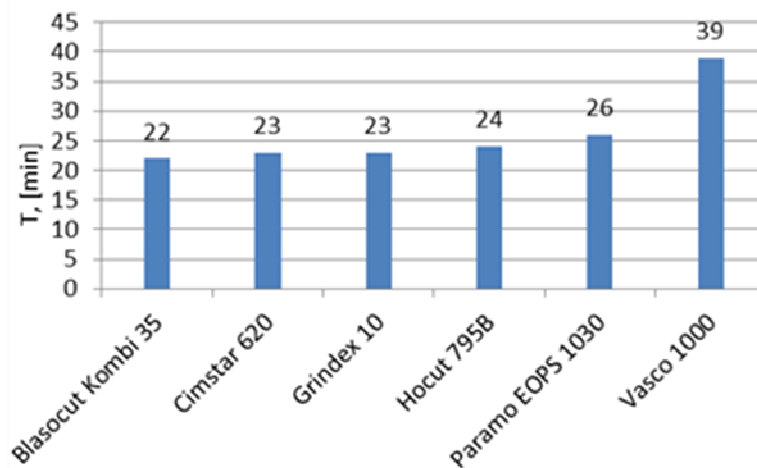
Obr. 60 Vliv různých procesních médií na průměrnou trvanlivost VBD při frézování antikorozi oceli 17 351

Při porovnávání vlivu PK od nejlepších světových výrobců na průměrnou trvanlivost vyměnitelných břitových destiček (VBD) při frézování konstrukční oceli 14 220.3 bylo zjištěno (obr. 61), že nejvyšší trvanlivost byla dosažena s použitím PK VASCO 1000. S použitím PK CIMSTAR 620, EOPS 1030 trvanlivost klesá o 51 - 52%. S PK HOCUT 795 B trvanlivost klesá o 60%, s PK BLASOCUT BC 35 KOMBI trvanlivost klesá o 69% a s použitím PK GRINDEX 10 trvanlivost klesá o 77%.

Při porovnávání vlivu procesních kapalin od nejlepších světových výrobců na průměrnou trvanlivost vyměnitelných břitových destiček (VBD) při frézování antikorozi oceli 17 351 bylo zjištěno (obr. 62), že nejvyšší trvanlivost byla opět dosažena s použitím PK VASCO 1000. S použitím PK CIMSTAR 620, EOPS 1030 HOCUT 795 B, BLASOCUT BC 35 KOMBI a GRINDEX 10 trvanlivost klesá o 31 - 42%.



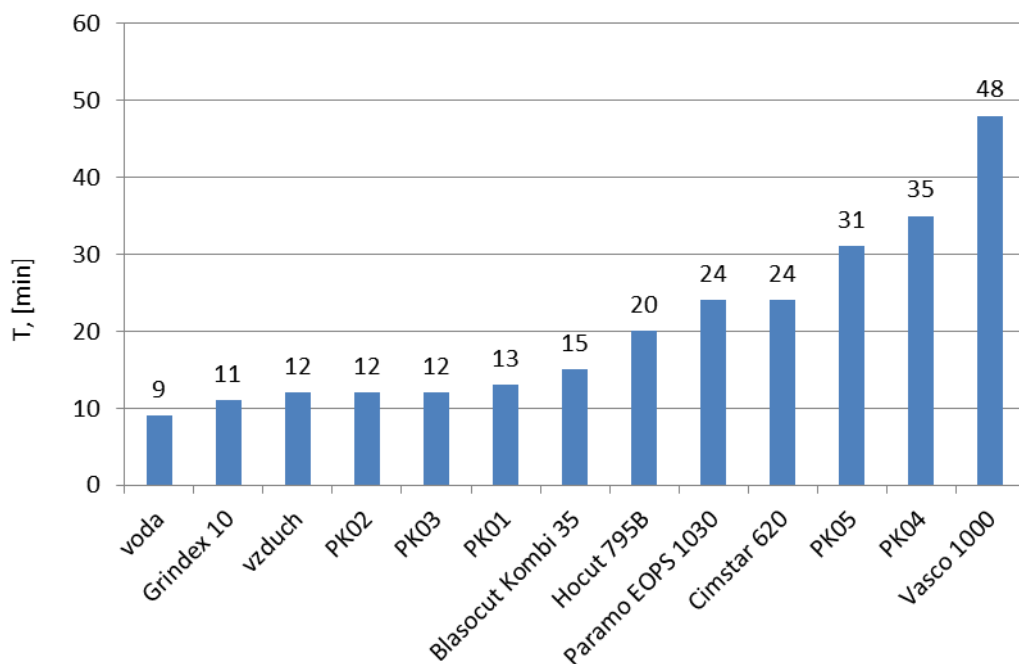
Obr. 61 Vliv procesních kapalin od nejlepších světových výrobců na průměrnou trvanlivost VBD při frézování konstrukční oceli 14 220.3



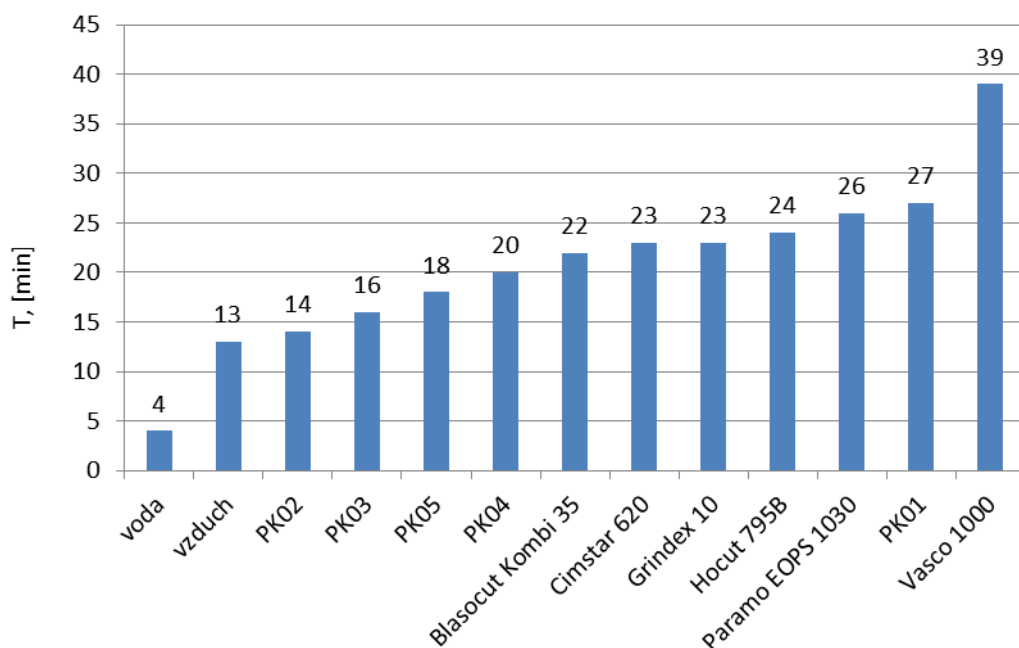
Obr. 62 Vliv procesních kapalin od nejlepších světových výrobců na průměrnou trvanlivost VBD při frézování antikorozní oceli 17 351

Při porovnávání vlivu PK od nejlepších světových výrobců na průměrnou trvanlivost VBD při frézování konstrukční oceli 14 220.3 a při frézování antikorozní oceli 17 351 byla nejvyšší trvanlivost nástroje dosažena při použití PK VASCO 1000.

Vliv PK od nejlepších světových výrobců a nově vyvíjených PK ze společnosti PARAMO a.s. na průměrnou trvanlivost VBD při frézování konstrukční oceli 14 220.3 je zřejmý na obr. 63 a analogická závislost stanovená při frézování antikorozní oceli 17 481 je znázorněna na obr. 64.



Obr. 63 Vliv různých procesních médií na průměrnou trvanlivost VBD při frézování konstrukční oceli 14 220.3



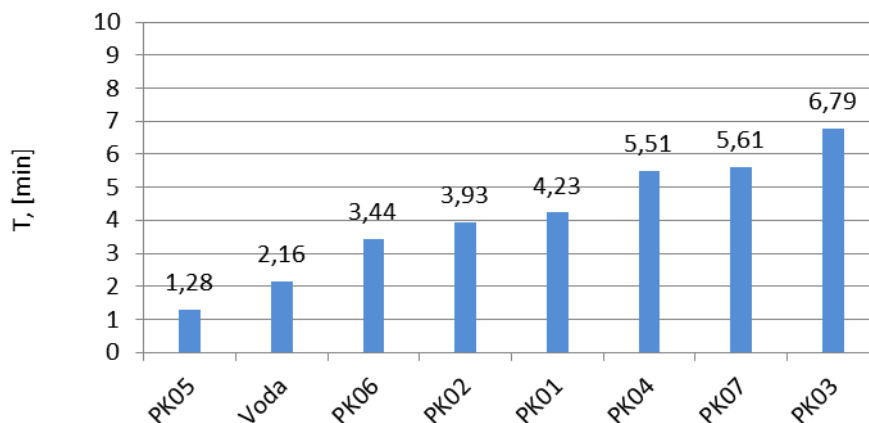
Obr. 64 Vliv různých procesních médií na průměrnou trvanlivost VBD při frézování antikorozní oceli 17 351

Při experimentech frézování konstrukční oceli 14 220.3 byla nejvyšší trvanlivost nástroje dosažena při použití PK VASCO 1000 a PK04. Při obrábění antikorozní oceli 17 351 byla nejvyšší trvanlivost nástroje opět dosažena při použití PK VASCO

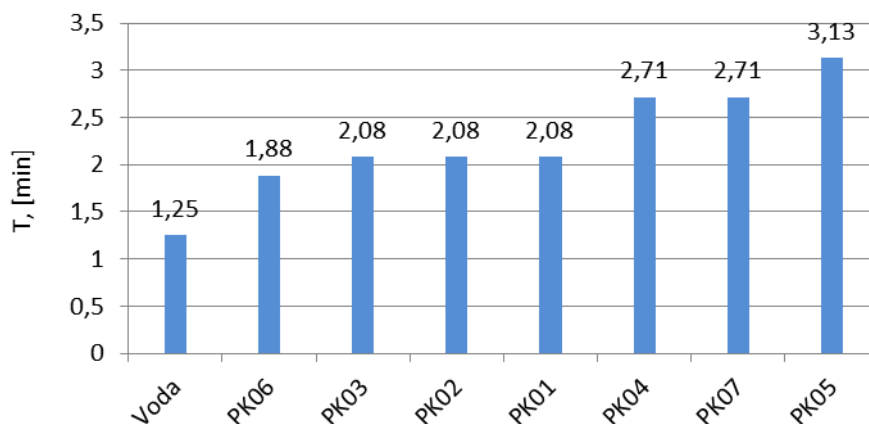
1000. U nově vyvíjených PK ze společnosti PARAMO a.s. byly nejlepší výsledky dosaženy při použití PK PK01 a opět také při použití PK PK04.

7.3 Výsledky hodnocení vlivu procesních kapalin na trvanlivost při vrtání

Při porovnávání vlivu nově vyvíjených PK ze společnosti PARAMO a.s. na průměrnou trvanlivost vrtáků při vrtání konstrukční oceli 14 220.3 bylo zjištěno (obr. 65), že největší trvanlivost byla dosažena při použití PK PK03. Při použití PK07 trvanlivost klesá o 17 %, při použití PK PK04 trvanlivost klesá o 19 %, při použití PK PK01 trvanlivost klesá o 19 %, PK02 trvanlivost klesá o 40%, při použití PK06 trvanlivost klesá o 49 %, při použití vody a PK PK05 trvanlivost klesá o 68 - 81%.



Obr. 65 Vliv procesních kapalin na průměrnou trvanlivost vrtáků při vrtání konstrukční oceli 14 220.3

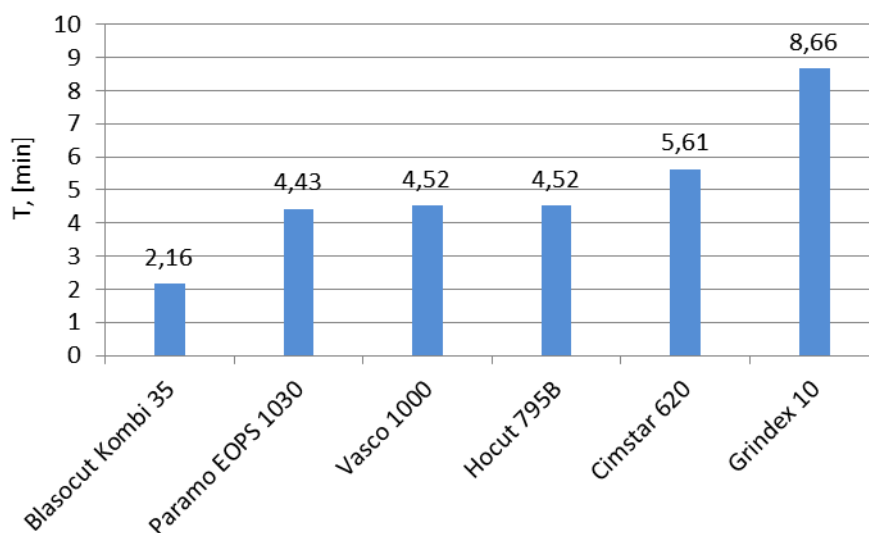


Obr. 66 Vliv procesních kapalin na průměrnou trvanlivost vrtáků při vrtání antikoroziční oceli 17 481

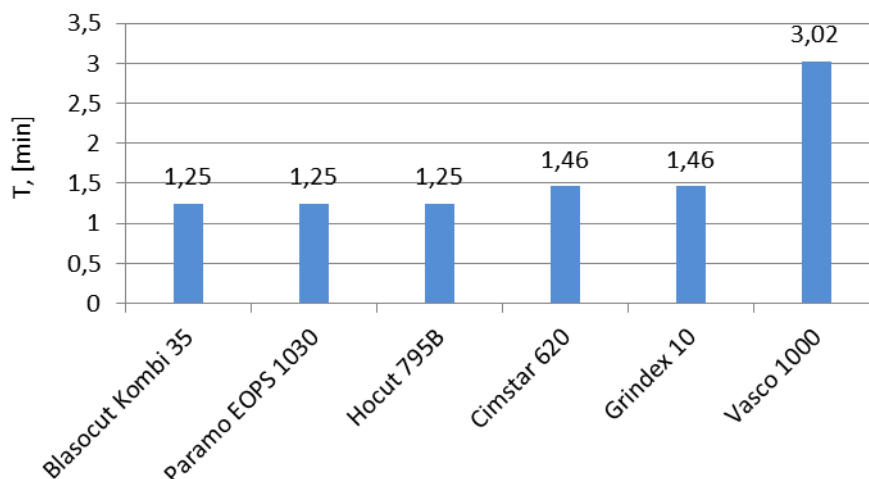
Při porovnávání vlivu nově vyvíjených PK ze společnosti PARAMO a.s. na průměrnou trvanlivost vrtáků při vrtání antikoroziční oceli 17 481 bylo zjištěno (obr. 66), že největší trvanlivost byla dosažena při použití PK PK05. Při použití PK PK07 a

PK04 trvanlivost klesá o 13 %, při použití PK PK01, PK02 a PK03 byl zjištěn pokles trvanlivosti o 34%. Při použití vody trvanlivost klesá o 60%.

Při porovnávání vlivu nově vyvíjených PK ze společnosti PARAMO a.s. na průměrnou trvanlivost vrtáků při vrtání konstrukční oceli 14 220.3 byla nejvyšší trvanlivost nástroje dosažena při použití kapalin PK03, PK07 a PK04. Při vrtání antikorozi oceli 17 481 byla nejvyšší trvanlivost nástroje dosažena při použití kapalin PK05, PK07 a PK04.



Obr. 67 Vliv procesních kapalin od nejlepších světových výrobců na průměrnou trvanlivost vrtáků při vrtání konstrukční oceli 14 220.3

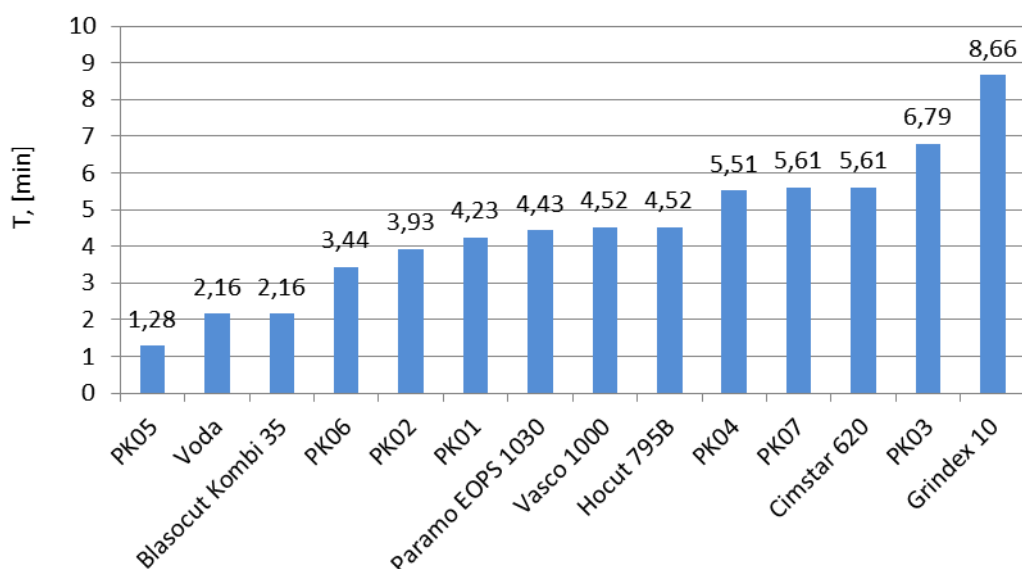


Obr. 68 Vliv procesních kapalin od nejlepších světových výrobců na průměrnou trvanlivost vrtáků při vrtání antikorozi oceli 17 481

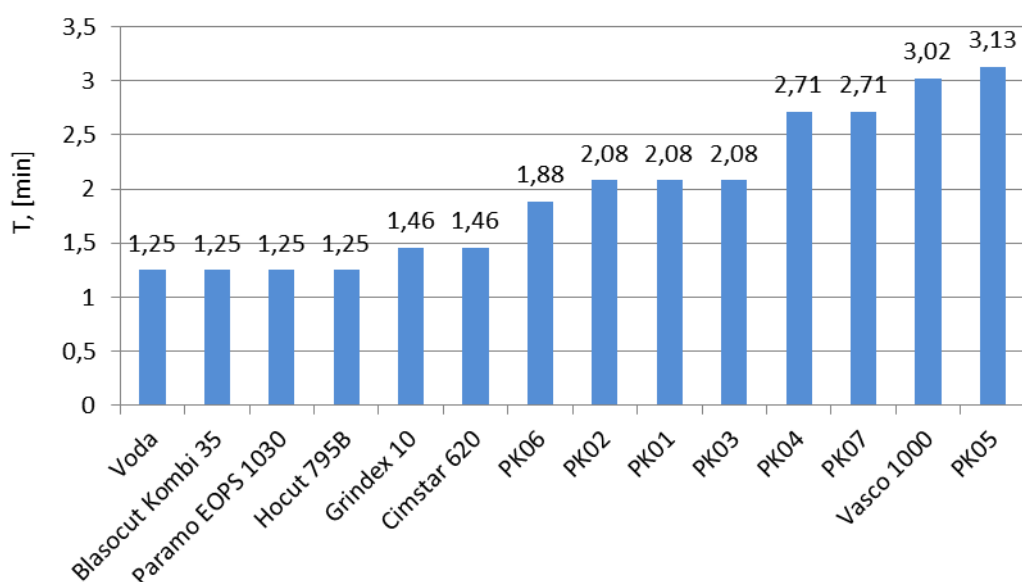
Při porovnávání vlivu PK od nejlepších světových výrobců na průměrnou trvanlivost vrtáků při vrtání konstrukční oceli 14 220.3 bylo zjištěno (obr. 67), že největší trvanlivost byla dosažena s použitím PK GRINDEX 10. S použitím PK

CIMSTAR 620, HOCUT 795 B, VASCO 1000, EOPS 1030 trvanlivost klesá o 35 - 49%. S použitím PK BLASOCUT BC 35 KOMBI trvanlivost klesá o 75%.

Při porovnávání vlivu PK od nejlepších světových výrobců na průměrnou trvanlivost vrtáků při vrtání antikorozi oceli 17 481 bylo zjištěno (obr. 68), že největší trvanlivost byla dosažena s použitím PK VASCO 1000. S použitím PK GRINDEX 10, CIMSTAR 620, HOCUT 795 B, EOPS 1030, BLASOCUT BC 35 KOMBI trvanlivost klesá o 52 - 59%.



Obr. 69 Vliv různých procesních médií na průměrnou trvanlivost vrtáků při vrtání konstrukční oceli 14220.3



Obr. 70 Vliv různých procesních médií na průměrnou trvanlivost vrtáků při vrtání antikorozi oceli 17 481

Při porovnávání vlivu PK od nejlepších světových výrobců na průměrnou trvanlivost vrtáků při vrtání konstrukční oceli 14 220.3 byla nejvyšší trvanlivost nástroje dosažena při použití PK GRINDEX 10 a při vrtání antikoroční oceli 17 481 byla nejvyšší trvanlivost nástroje dosažena při použití PK VASCO 1000.

Vliv PK od nejlepších světových výrobců a PK nově vyvíjených ve společnosti PARAMO a.s. na průměrnou trvanlivost vrtáků při vrtání konstrukční oceli 14 220.3 je dokumentován na obr. 69. Nejvyšší trvanlivost nástroje byla v tomto případě dosažena při použití PK GRINDEX 10 a PK03.

Vliv PK od nejlepších světových výrobců a PK nově vyvíjených ve společnosti PARAMO a.s. na průměrnou trvanlivost vrtáků při vrtání antikoroční oceli 17 481 je dokumentován na obr. 70. Nejlepší výsledky, tj. nejvyšší trvanlivost nástroje, byla v tomto případě dosažena při použití PK PK05, VASCO 1000, PK07 a PK04.

7.4 Výsledky hodnocení vlivu procesních kapalin na střední smluvní kolmou řeznou sílu při broušení

Při hodnocení vlivu procesních kapalin na proces broušení byl jako příznivý výsledek experimentu hodnocen takový, při kterém byla zjištěna nejmenší hodnota střední smluvní kolmé řezné síly.

Z naměřených hodnot středních smluvních kolmých řezných sil (tab. 2 a 3) a grafů pro jednotlivé materiály (obr. 71 a obr. 72) je patrné, že při procesu broušení konstrukční oceli 14 220 i antikoroční oceli 17 351 byla jako nejlepší kapalina vyhodnocena kapalina PK04. Při použití této PK byly naměřeny nejnižší hodnoty sil, a tudíž kapalina měla nejpříznivější vliv na mazací a chladicí účinek.

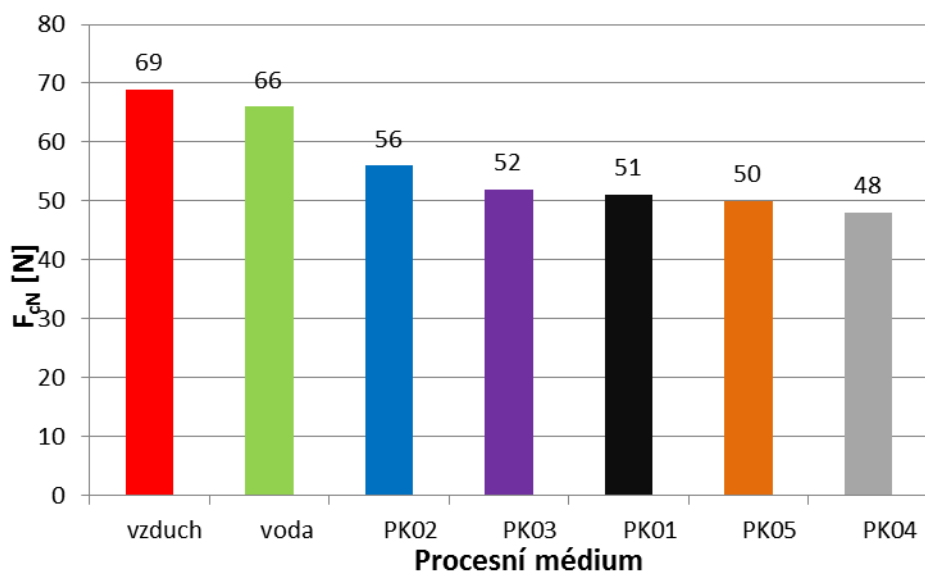
Tab. 2 Výsledná střední smluvní kolmá řezná síla po orovnaní BK při broušení oceli 14 220

Procesní médium	Výsledná smluvní kolmá řezná síla [N]
vzduch	69
voda	66
PK02	56
PK03	52
PK01	51
PK05	50
PK04	48

Při broušení konstrukční oceli 14 220 byly nejlepší výsledky zjištěny při aplikaci procesní kapaliny PK04, kdy byla naměřena střední smluvní kolmá řezná síla 48 N.

Jako druhá nejlepší kapalina byla vyhodnocena kapalina PK05, síla byla v tomto případě o 4,2% vyšší. Při broušení s použitím dalších procesních médií byly zjištěny následující nárůsty střední smluvní kolmé řezné síly: kapalina PK01 - 6,3%, PK03 - 8,3%, PK02 - 16,7%, voda - 37,5%, vzduch - 43,8%.

Závislost střední smluvní kolmé řezné síly na procesním médiu



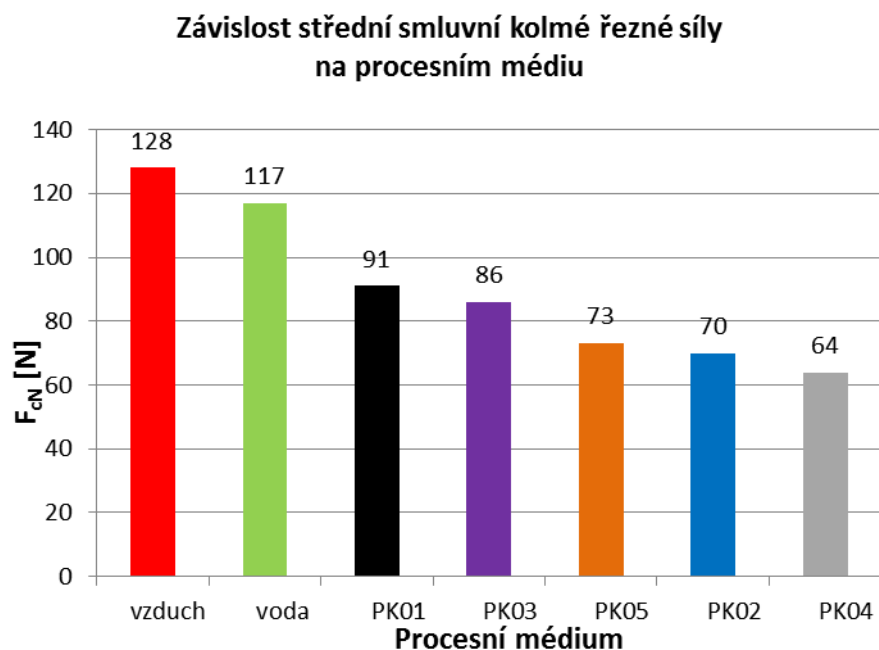
Obr. 71 Velikost střední smluvní kolmé řezné síly při broušení oceli 14 220

Při broušení antikorozi oceli 17 351 byly nejlepší výsledky zjištěny opět při aplikaci procesní kapaliny PK04. Střední smluvní kolmá řezná síla v tomto případě činila 64 N. Jako v pořadí druhá nejlepší kapalina byla vyhodnocena PK PK02, při aplikaci této kapaliny byla síla o 9,4% vyšší. Při broušení s použitím dalších procesních médií byly zjištěny následující nárůsty střední smluvní kolmé řezné síly: kapalina PK05 - 14,1%, PK03 - 37,5%, PK01 - 42,2%, voda - 82,8%, vzduch - 100%.

Tab. 3 Výsledná střední smluvní kolmá řezná síla po orovnění BK při broušení oceli 17 351

Procesní médium	Výsledná smluvní kolmá řezná síla [N]
vzduch	128
voda	117
PK01	91
PK03	86
PK05	73
PK02	70
PK04	64

Pro proces broušení konstrukční oceli 14 220 i antikorozi oceli 17 351 lze doporučit použití kapaliny PK04, která má největší vliv na pozitivní snížení sil. Pokud se budou experimenty posuzovat v širších souvislostech (i z hlediska dalších technologií obrábění), pak lze pro broušení konstrukční oceli 14 220 i antikorozi oceli 17 481 obecně doporučit také použití procesní kapaliny PK05, protože při použití této kapaliny byly také vždy dosaženy velmi dobré výsledky.



Obr. 72 Velikost střední smluvní kolmé řezné síly při broušení oceli 17 351

Při experimentech bylo zjištěno, že PK od světových výrobců vykazují při technologii broušení rovnaným broušícím kotoučem nepřilíš rozdílné hodnoty sledovaného parametru - střední smluvní kolmá řezná síla. Při broušení konstrukční oceli 14 220.3 byl z hlediska působících sil nejlepší výsledek zjištěn při použití PK VASCO 1000. Střední smluvní kolmá řezná síla v tomto případě dosáhla hodnoty 42,1 N. Při použití dalších médií byly zjištěny zvýšené hodnoty střední smluvní kolmé řezné síly. Z tab. 4 a obr. 73 je zřejmé, že nárůst této síly činil u PK CIMSTAR 620 - 0,5%, u PK Paramo EOPS 1030 - 2,4%, u PK BLASOCUT Kombi 35 - 4%, u HOCUT 795 B - 4,3%, u GRINDEX 10 - 5,5%, u VODA - 34,2% a u VZDUCH - 50,8%.

Při broušení antikorozi oceli 17 351 byl nejlepší výsledek, tj. nejnižší hodnota střední smluvní kolmé řezné síly, zjištěn při použití PK Paramo EOPS 1030. Při aplikaci této PK byla stanovena střední smluvní kolmá řezná síla 66,1 N. Při použití dalších procesních médií byly zjištěny vyšší hodnoty střední smluvní kolmé řezné síly. Z tab. 5 a obr. 74 je zřejmé, že nárůst této síly činil u PK HOCUT 795 B - 0,5%, u PK BLASOCUT Kombi 35 - 3%, u PK GRINDEX 10 - 7,6%, u VASCO 1000 - 8,6%, u CIMSTAR 620 - 13,2%, u VODA - 58,9% a u VZDUCH - 66,4%.

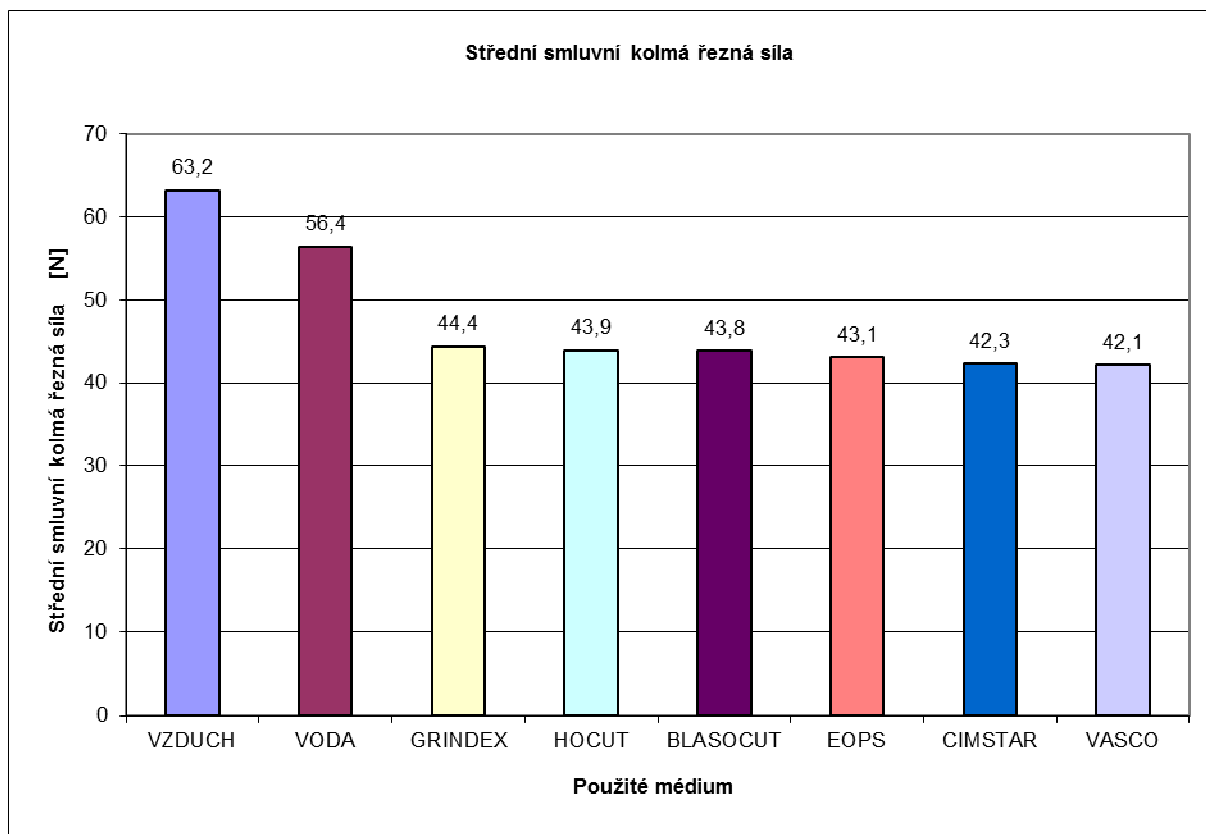
Tab. 4 *Střední smluvní kolmá řezná síla při broušení konstrukční oceli 14 220.3*

Procesní médium	Střední smluvní kolmá řezná síla [N]
VZDUCH	63,2
VODA	56,4
GRINDEX 10	44,4
HOCUT 795 B	43,9
BLASOCUT KOMBI 35	43,8
EOPS 1030	43,1
CIMSTAR 620	42,3
VASCO 1000	42,1

Při vzájemném porovnávání procesních kapalin od světových výrobců bylo zjištěno, že z hlediska velikosti kolmé řezné síly lze pro broušení antikorozi oceli 17 351 doporučit použití PK Paramo EOPS 1030 (obr. 74) a pro broušení konstrukční oceli 14 220.3 lze doporučit použití PK VASCO 1000 (obr. 73).

Tab. 5 *Střední smluvní kolmá řezná síla při broušení antikorozi oceli 17 351*

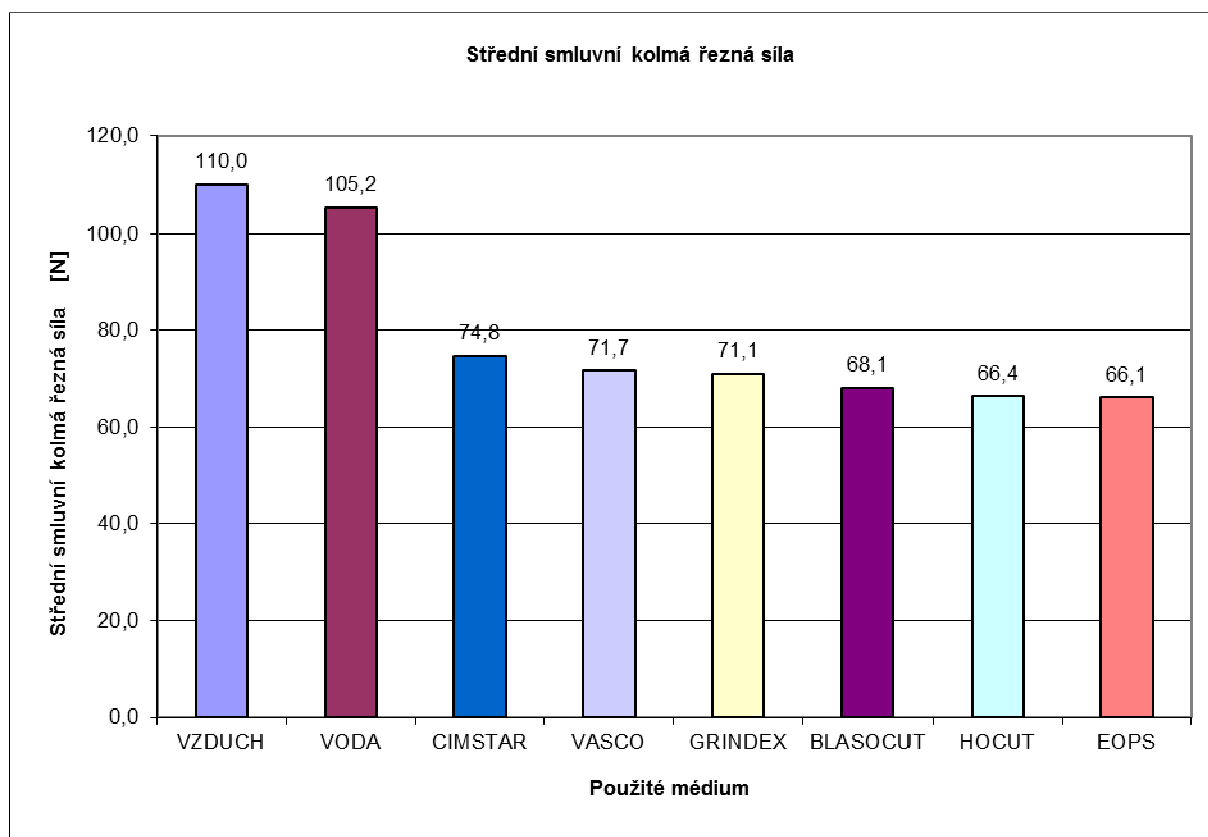
Procesní médium	Výsledná smluvní kolmá řezná síla [N]
VZDUCH	110,0
VODA	105,2
CIMSTAR 620	74,8
VASCO 1000	71,7
GRINDEX 10	71,1
BLASOCUT KOMBI 35	68,1
HOCUT 795 B	66,4
EOPS 1030	66,1



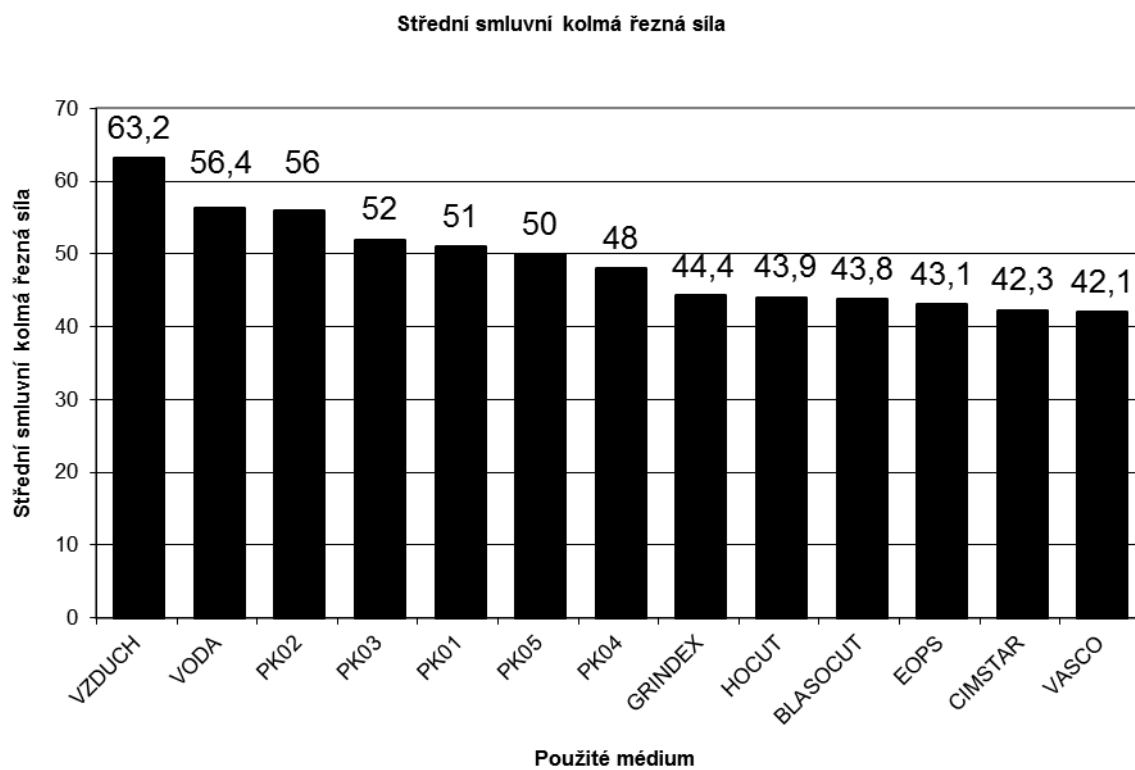
Obr. 73 Velikost střední smluvní kolmé řezné síly při broušení oceli 14 220.3

Tab. 6 Střední smluvní kolmé řezné síly při broušení oceli 14 220.3

Procesní médium	Střední smluvní kolmá řezná síla [N]
VZDUCH	63,2
VODA	56,4
PK02	56,0
PK03	52,0
PK01	51,0
PK05	50,0
PK04	48,0
GRINDEX 10	44,4
HOCUT 795 B	43,9
BLASOCUT KOMBI 35	43,8
EOPS 1030	43,1
CIMSTAR 620	42,3
VASCO 1000	42,1



Obr. 74 Velikost střední smluvní kolmé řezné síly při broušení oceli 17 351

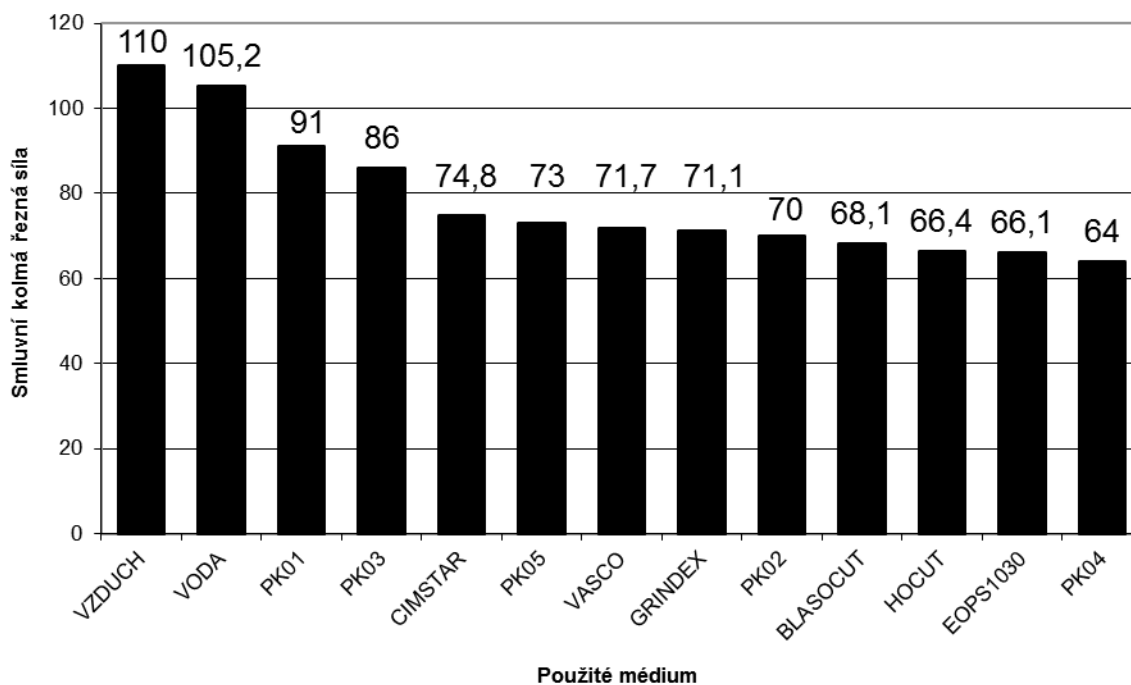


Obr. 75 Velikost střední smluvní kolmé řezné síly při broušení oceli 14 220.3

Tab. 7 Střední smluvní kolmé řezné síly při broušení oceli 17 351

Procesní médium	Střední smluvní kolmá řezná síla [N]
VZDUCH	110
VODA	105,2
PK01	91
PK03	86
CIMSTAR 620	74,8
PK05	73
VASCO 1000	71,7
GRINDEX 10	71,1
PK02	70
BLASOCUT KOMBI 35	68,1
HOCUT 795 B	66,4
EOPS1030	66,1
PK04	64

Střední smluvní kolmá řezná síla



Obr. 76 Velikost střední smluvní kolmé řezné síly při broušení oceli 17 351

Další tab. 6 a 7 a obr. 75 a 76 dokumentují výsledky porovnání PK nově vyvíjených ve společnosti PARAMO a.s. a PK od světových výrobců. Z tab. 6 a z obr. 75

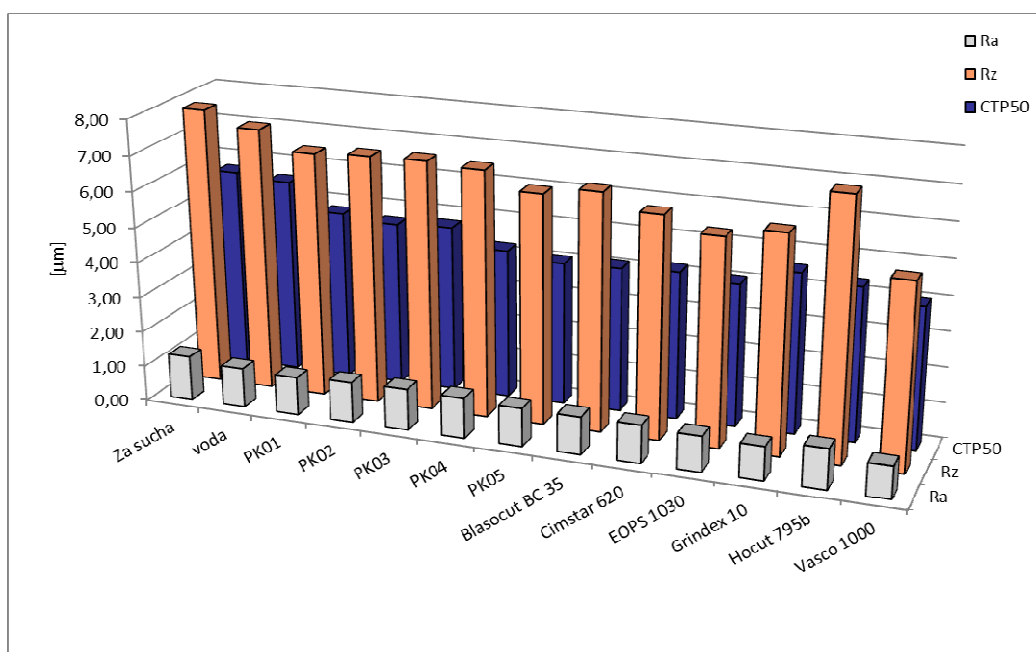
vyplývá, že při procesu broušení konstrukční ocele 14 220.3 byly nejlepší výsledky zjištěny při použití PK VASCO 1000 a PK CIMSTAR 620. V souboru PK nově vyvíjených ve společnosti PARAMO a.s. byly nejlepší výsledky zjištěny při použití procesní kapaliny PK04 a PK05. Z tab. 7 a z obr. 76 je patrné, že při broušení antikorozi ocele 17 351 byla nejmenší hodnota střední smluvní kolmé řezné síly zjištěna v případě použití PK z firmy PARAMO a.s. s označením PK04 a PK s označením EOPS 1030.

7.5 Výsledky hodnocení vlivu procesních kapalin na drsnost povrchu obrobených strojních součástí

7.5.1 Soustružení

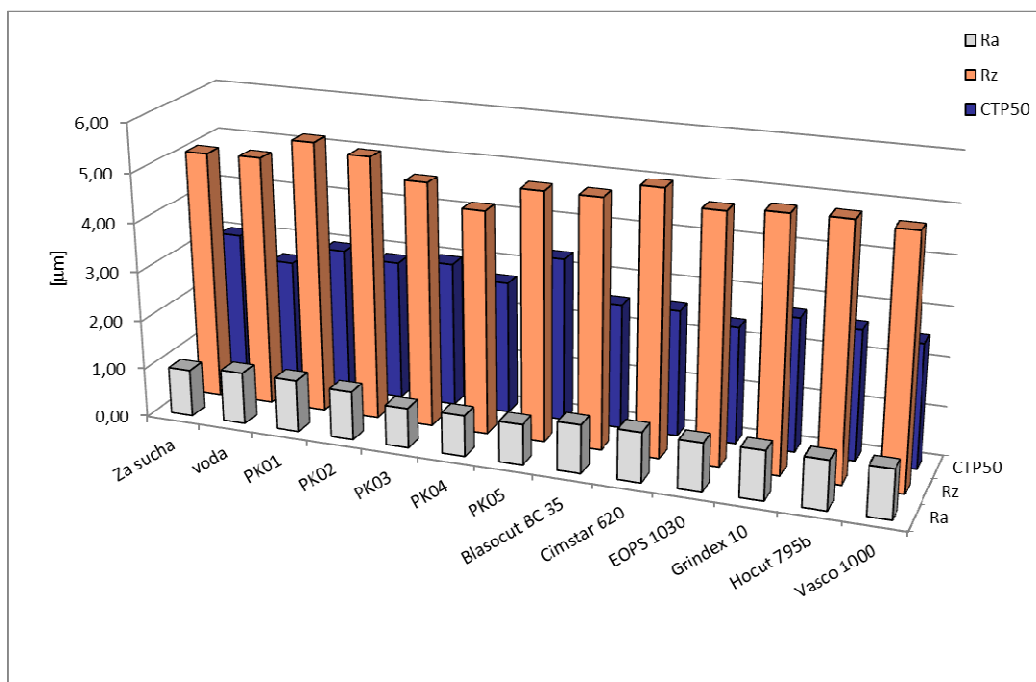
Z obr. 77 vyplývá, že při soustružení konstrukční ocele 14 220.3 bylo nejlepších hodnot parametrů drsnosti povrchu dosaženo při použití kapaliny VASCO 1000, nejhorších hodnot parametrů drsnosti povrchu bylo dosaženo při obrábění za sucha.

Z obr. 78 vyplývá, že při soustružení antikorozi ocele 17 481 bylo nejlepších hodnot parametrů drsnosti povrchu dosaženo při použití kapaliny PK03 a PK04, nejhorších hodnot parametrů drsnosti povrchu bylo dosaženo při použití kapaliny PK01 a vody.



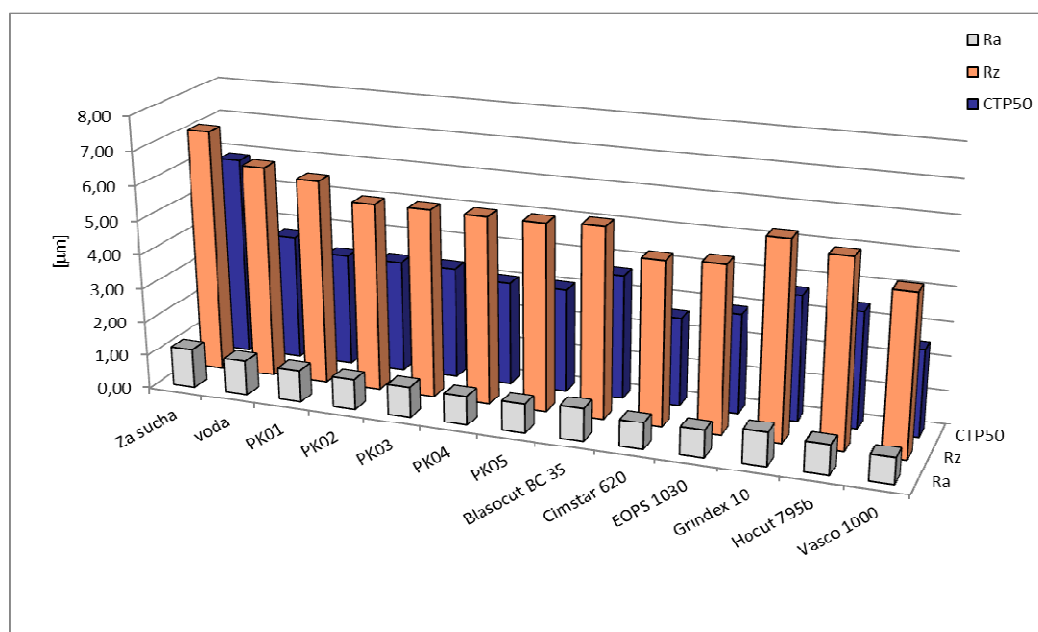
Obr. 77 Parametry drsnosti povrchu po soustružení oceli 14 220.3

Parametry drsnosti povrchu všech vzorků při obrábění konstrukční i antikorozi oceli byly velmi podobné. Nelze tedy jednoznačně říci, která z PK nejlépe působí na výslednou kvalitu povrchu při obrábění.



Obr. 78 Parametry drsnosti povrchu po soustružení oceli 17 481

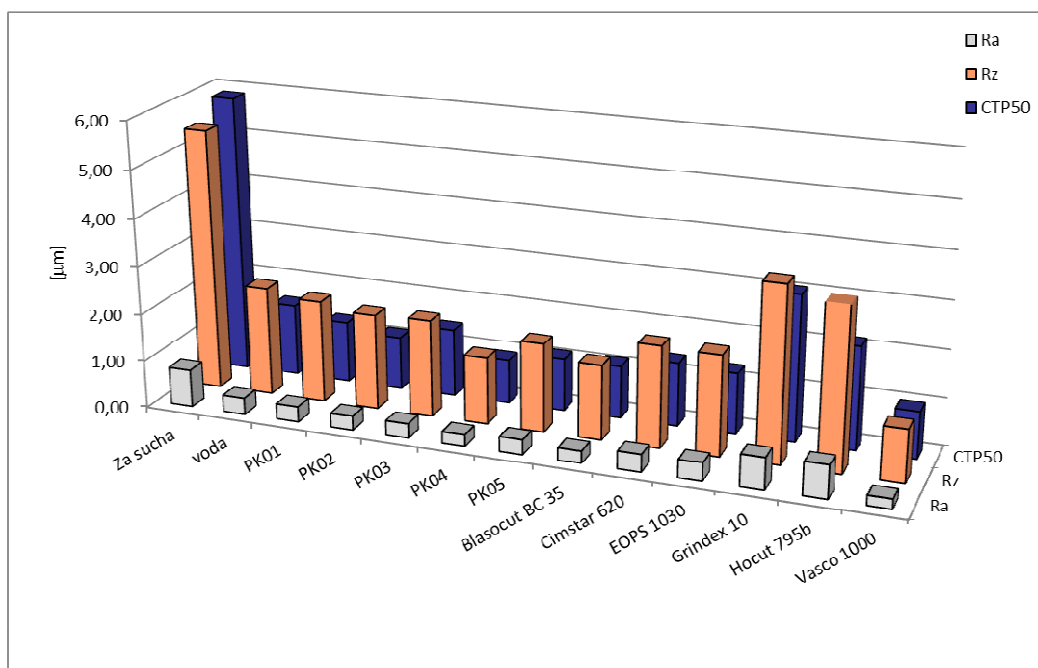
7.5.2 Frézování



Obr. 79 Parametry drsnosti povrchu po frézování oceli 14 220.3

Z obr. 79 vyplývá, že při frézování konstrukční oceli 14 220.3 bylo nejlepších hodnot parametrů drsnosti povrchu dosaženo při použití kapaliny VASCO 1000 a CIMSTAR 620, nejhorších hodnot parametrů drsnosti povrchu bylo dosaženo při obrábění za sucha.

Z obr. 80 vyplývá, že při frézování antikorozi oceli 17 351 bylo nejlepších hodnot parametrů drsnosti povrchu dosaženo při použití kapaliny VASCO 1000, nejhorších hodnot parametrů drsnosti povrchu bylo dosaženo při obrábění za sucha.



Obr. 80 Parametry drsnosti povrchu po frézování oceli 17 351

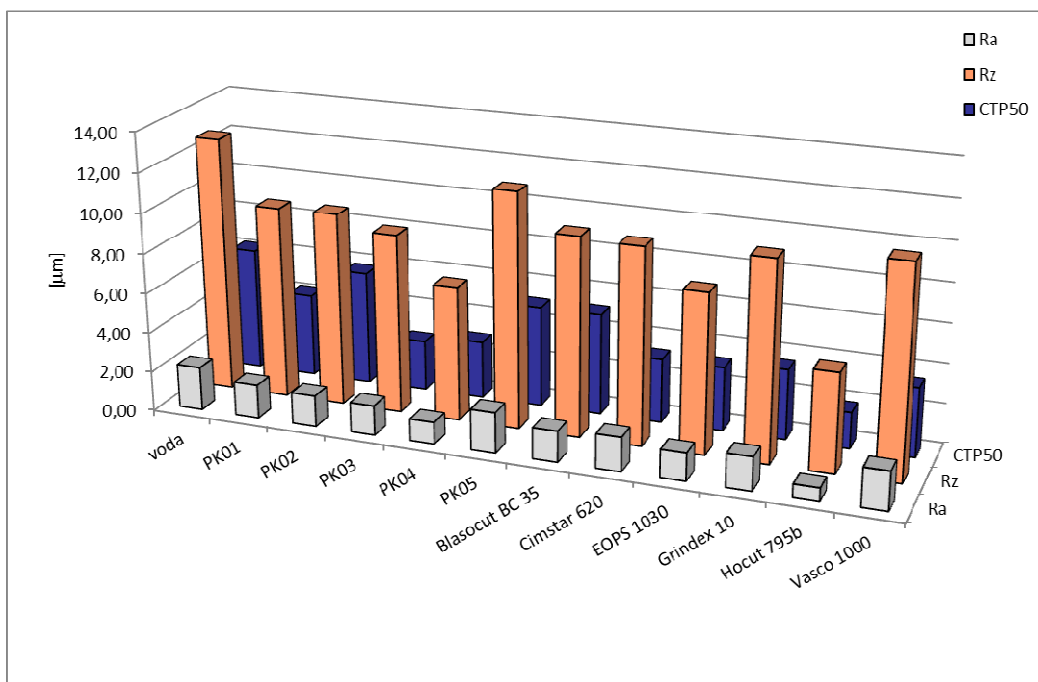
V případě frézování lze celkem jednoznačně konstatovat, že při použití PK VASCO 1000 byly dosaženy nejlepší výsledky z hlediska kvality obrobeného povrchu při obrábění konstrukční i antikorozi oceli. Ve skupině PK nově vyvíjených ve společnosti Paramo, a.s. byly dobré výsledky dosaženy u procesní kapaliny PK04. Nejhorší parametry drsnosti povrchu byly zjištěny při frézování konstrukční i antikorozi oceli za sucha.

7.5.3 Vrtání

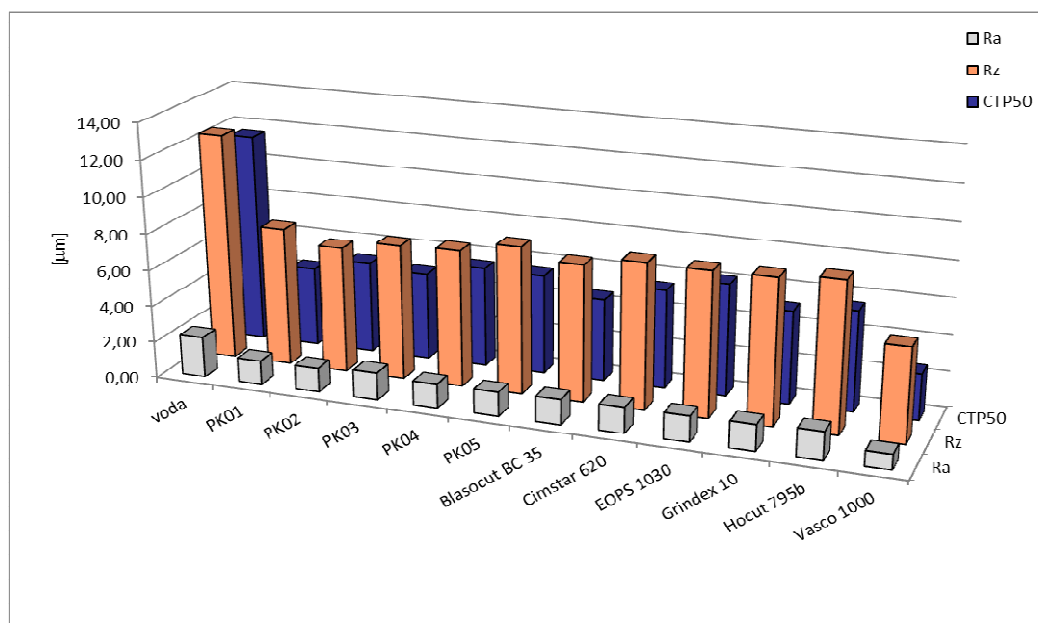
Z obr. 81 vyplývá, že při vrtání konstrukční oceli 14 220.3 bylo nejlepších hodnot parametrů drsnosti povrchu dosaženo při použití kapaliny HOCUT 795 B, nejhorších hodnot parametrů drsnosti povrchu bylo dosaženo při použití vody.

Z obr. 82 vyplývá, že při frézování antikorozi oceli 17 481 bylo nejlepších hodnot parametrů drsnosti povrchu dosaženo při použití kapaliny VASCO 1000, nejhorších hodnot parametrů drsnosti povrchu bylo dosaženo při použití vody.

V případě vrtání materiálu 14 220.3 bylo dosaženo nejlepších výsledků při použití PK HOCUT 795 B, velmi dobré výsledky byly též dosaženy u procesní kapaliny PK04. Při vrtání materiálu 17 481 se nejlépe osvědčila PK VASCO 1000. Ve skupině PK nově vyvíjených ve společnosti Paramo, a.s. byly při vrtání antikorozi oceli dobré výsledky dosaženy při použití PK01, PK02 a PK04. Nejhorší hodnoty drsnosti povrchu byly při vrtání konstrukční i antikorozi oceli zjištěny při použití vody jako procesního média.



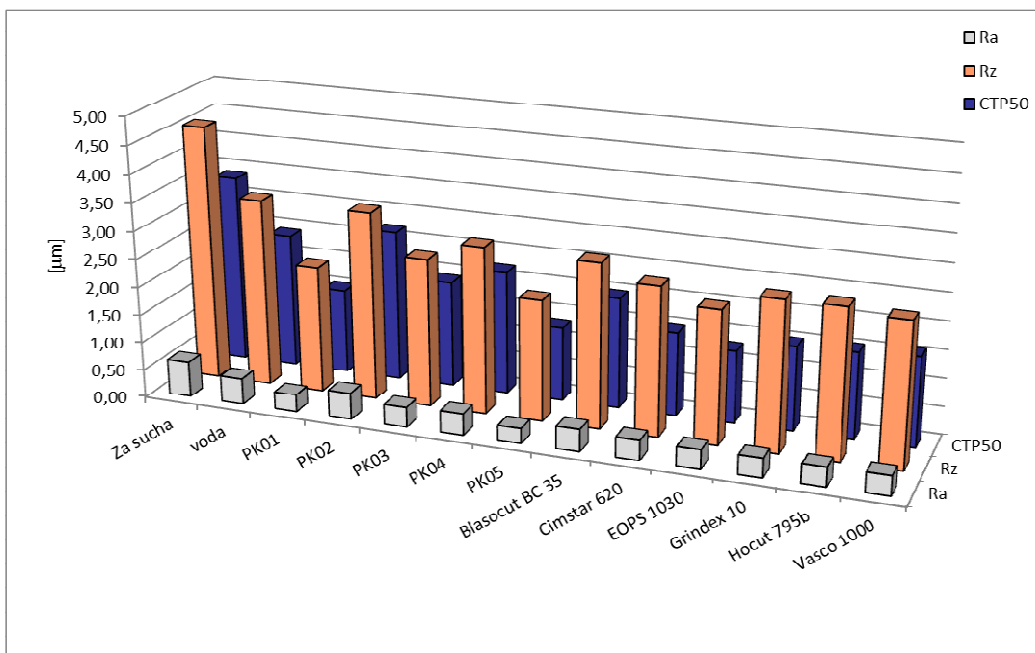
Obr. 81 Parametry drsnosti povrchu po vrtání oceli 14 220.3



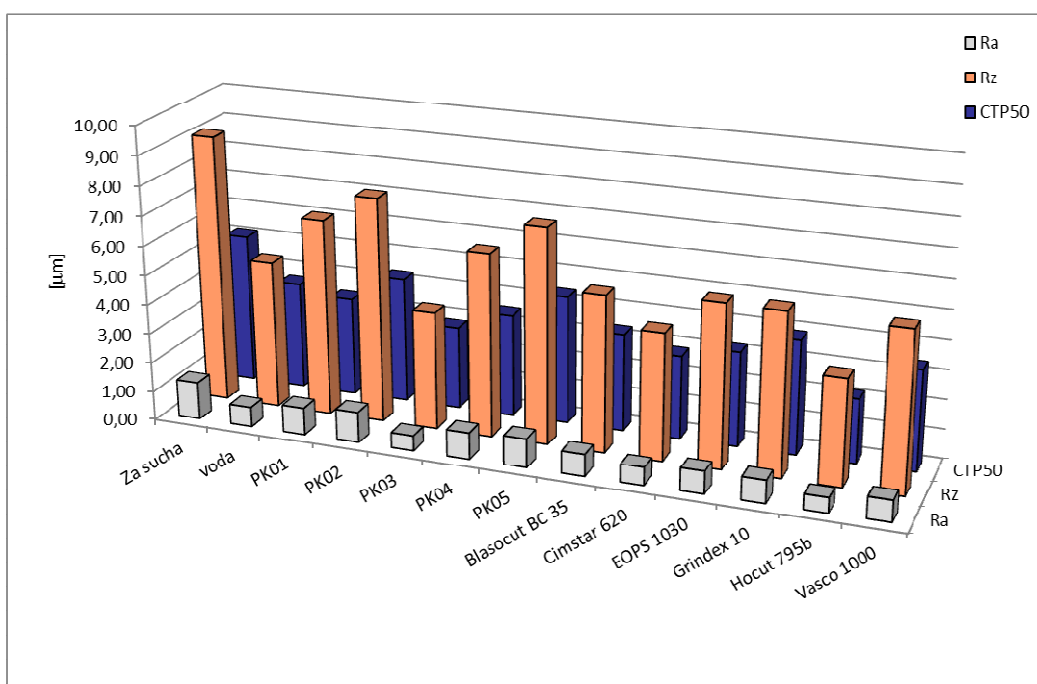
Obr. 82 Parametry drsnosti povrchu po vrtání oceli 17 481

7.5.4 Broušení

Z obr. 83 vyplývá, že při broušení konstrukční oceli 14 220.3 bylo nejlepších hodnot parametrů drsnosti povrchu dosaženo při použití kapaliny PK05, nejhorších hodnot parametrů drsnosti povrchu bylo dosaženo při obrábění za sucha.



Obr. 83 Parametry drsnosti povrchu po broušení oceli 14 220.3



Obr. 84 Parametry drsnosti povrchu po broušení oceli 17 351

Z obr. 84 vyplývá, že při broušení antikorozi ocele 17 351 bylo nejlepších hodnot parametrů drsnosti povrchu dosaženo při použití kapaliny HOCUT 795 B a PK03, nejhorších hodnot parametrů drsnosti povrchu bylo dosaženo při obrábění za sucha.

Při broušení s různými PK byly zaznamenány značné rozdíly v hodnotách drsnosti povrchu u konstrukční i antikorozi oceli. Při broušení oceli 14 220.3 se osvěd-

čila PK05, kdežto při broušení oceli 17 351 byly nejlepší výsledky zjištěny při aplikaci PK HOCUT 795 B a PK03. Nejhorší výsledky byly zaznamenány při obrábění za sucha.

Celkově lze konstatovat, že z hlediska hodnot parametrů drsnosti povrchu byly zpravidla lepší výsledky zjištěny u těch zkušebních součástí, které byly obráběny s použitím PK od světových výrobců. Z PK nově vyvíjených ve společnosti Paramo, a.s. se osvědčila procesní kapalina PK05 při broušení materiálu 14 220.3 a procesní kapalina PK03 při broušení materiálu 17 351.

7.6 Výsledky hodnocení vlivu procesních kapalin na tvar třísky při obrábění strojních součástí

Při soustružení konstrukční oceli s použitím jednotlivých druhů PK za daných řezných podmínek vznikala stále stejná tříška, dle normy ISO 3685 se jednalo o třísku vinutou smotanou. Při soustružení antikorozi oceli s použitím jednotlivých druhů PK vznikala také stále stejná tříška, ovšem v tomto případě vinutá dlouhá. Při experimentech soustružení bylo zjištěno, že jednotlivé druhy PK od nejlepších světových výrobců neměly žádný vliv na tvar třísky.

Podobné výsledky byly zjištěny při frézování. Při frézování konstrukční oceli s použitím jednotlivých druhů PK za daných řezných podmínek vznikala stále stejná tříška, konkrétně obloukovitá dělená. Stejný druh třísky, tříška obloukovitá dělená, vznikala také při frézování antikorozi oceli. Při experimentech frézování bylo také zjištěno, že PK od nejlepších světových výrobců neměly žádný vliv na tvar třísky.

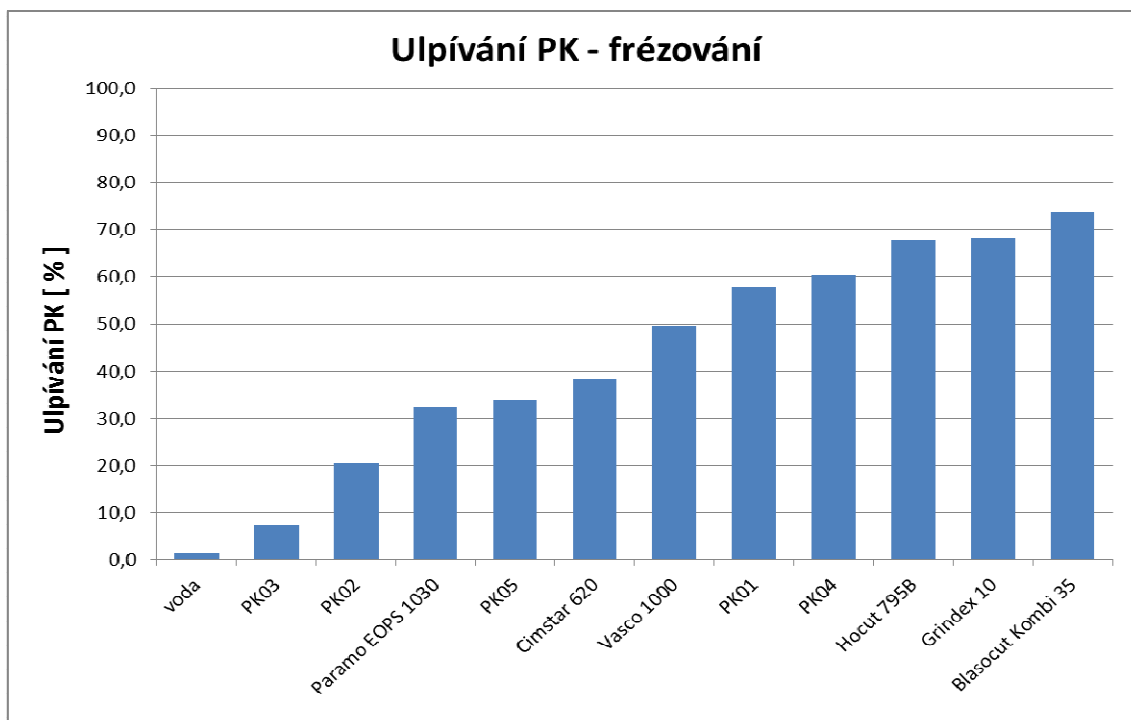
Také při vrtání se neprojevovala žádná závislost mezi PK a tvarem vzniklé třísky. Při vrtání konstrukční oceli vznikala stále stejná tříška, konkrétně kuželovitá šroubovitá krátká. Tříška kuželovitá šroubovitá krátká vznikala také při vrtání antikorozi oceli. Při experimentech vrtání bylo opět zjištěno, že PK od nejlepších světových výrobců neměly za daných řezných podmínek žádný vliv na tvar třísky.

Při hodnocení třísek, vznikajících při soustružení, frézování a vrtání konstrukční a antikorozi oceli bylo zjištěno, že hodnocené PK od nejlepších světových výrobců nemají žádný vliv na tvar třísky. Při jednotlivých způsobech obrábění vznikaly různé druhy třísek, druh použité PK však v rámci dané technologie obrábění (soustružení, frézování a vrtání) druh třísek neovlivňoval.

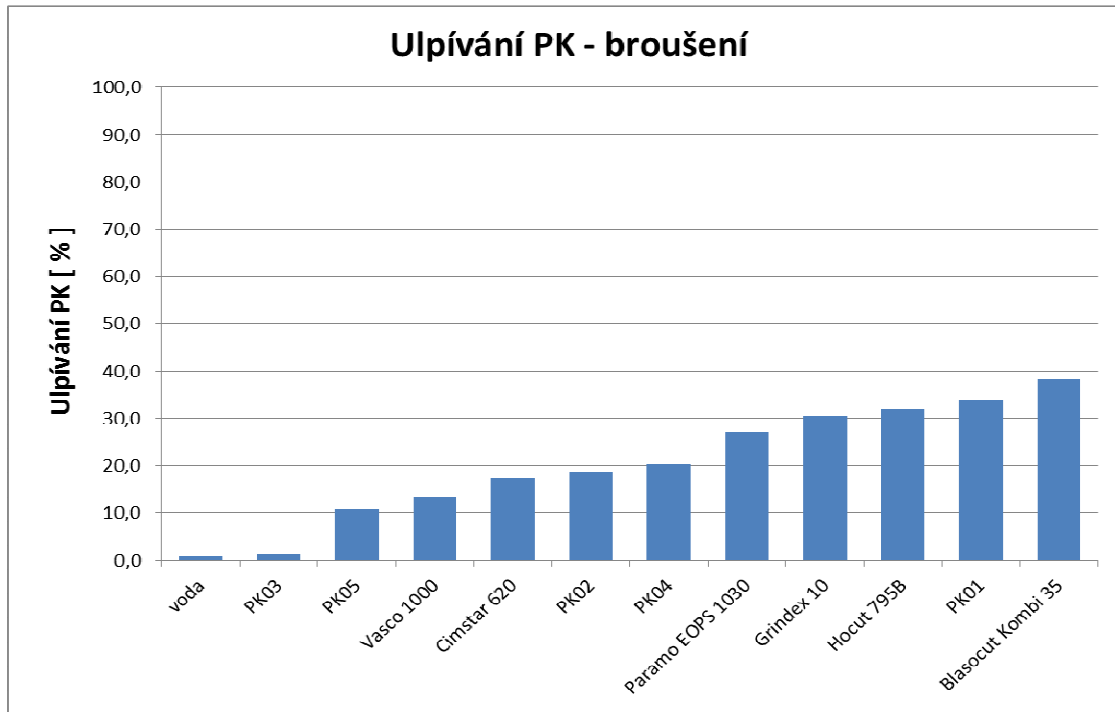
7.7 Výsledky hodnocení ulpívání procesních kapalin na obrobku

Na obr. 85 a obr. 86 jsou znázorněny grafy, které z hlediska ulpívání na obrobku umožňují porovnání již výše prezentovaného souboru nově vyvíjených PK ve spol. PARAMO, a.s. se souborem hodnocených PK od světových výrobců.

Z hlediska minimalizace objemu prací a nákladů na čištění obrobků byla PK s nejmenší hodnotou ulpívání hodnocena jako nejlepší. Na povrchu frézovaného i broušeného zkušební vzorku byla nejmenší hodnota ulpívání zjištěna u vody. Z hlediska ulpívání byly výborné výsledky také zjištěny při použití PK PK03.



Obr. 85 Ulpívání procesních kapalin nově vyvíjených ve společnosti PARAMO a.s. a PK od světových výrobců na povrchu frézovaného zkušebního vzorku



Obr. 86 Ulpívání procesních kapalin nově vyvíjených ve společnosti PARAMO a.s. a PK od světových výrobců na povrchu broušeného zkušebního vzorku

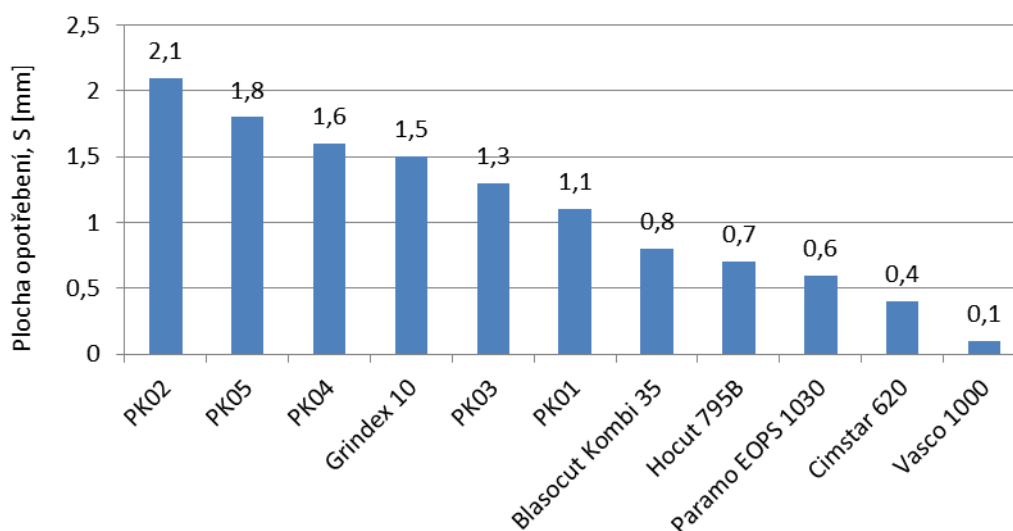
Pokud budeme hodnotit ulpívání PK na frézovaném zkušebním vzorku, pak se v původní skupině tři nejlepších PK od světových výrobců (obr. 85) umístily na nejlepších pozicích tři další nově vyvíjené PK ze společnosti Paramo, a.s., jmenovitě procesní kapaliny PK03, PK02 a PK05. Další dvě nově vyvíjené PK ze společnosti Paramo, a.s., jmenovitě PK01 a PK04 se umístily před dvě PK, které tvořily další skupinu hodnocených PK. Na povrchu frézovaného zkušebního vzorku ulpěla nejvíce PK BLASOCUT Kombi 35.

Při hodnocení ulpívání PK na broušeném zkušebním vzorku se v původní skupině tři nejlepších PK od světových výrobců (obr. 86) umístily dokonce čtyři nově vyvíjené PK ze společnosti Paramo, a.s., jmenovitě procesní kapaliny PK03, PK05, PK02 a PK04. Nově vyvíjená PK01 se však v další skupině, tvořené původně dvěma PK, umístila až za těmito PK. Na povrchu broušeného zkušebního vzorku ulpěla nejvíce opět PK BLASOCUT Kombi 35.

7.8 Výsledky hodnocení antiadhezní schopnosti procesních kapalin

Hodnocení antiadhezní schopnosti PK je zřejmé z obr. 87, kde jsou uvedeny průměrné hodnoty plochy opotřebení jak pro PK od nejlepších světových výrobců, tak i pro nově vyvíjené PK ve společnosti PARAMO a.s.

Při porovnání naměřených průměrných hodnot ploch opotřebení u jednotlivých PK od nejlepších světových výrobců a u nově vyvíjených PK ze společnosti PARAMO a.s. bylo experimentálně zjištěno, že nejlepší antiadhezní schopnost má PK VASCO 1000. Ve skupině PK nově vyvíjených ve společnosti Paramo, a.s. byly dobré výsledky dosaženy u procesní kapaliny PK01.

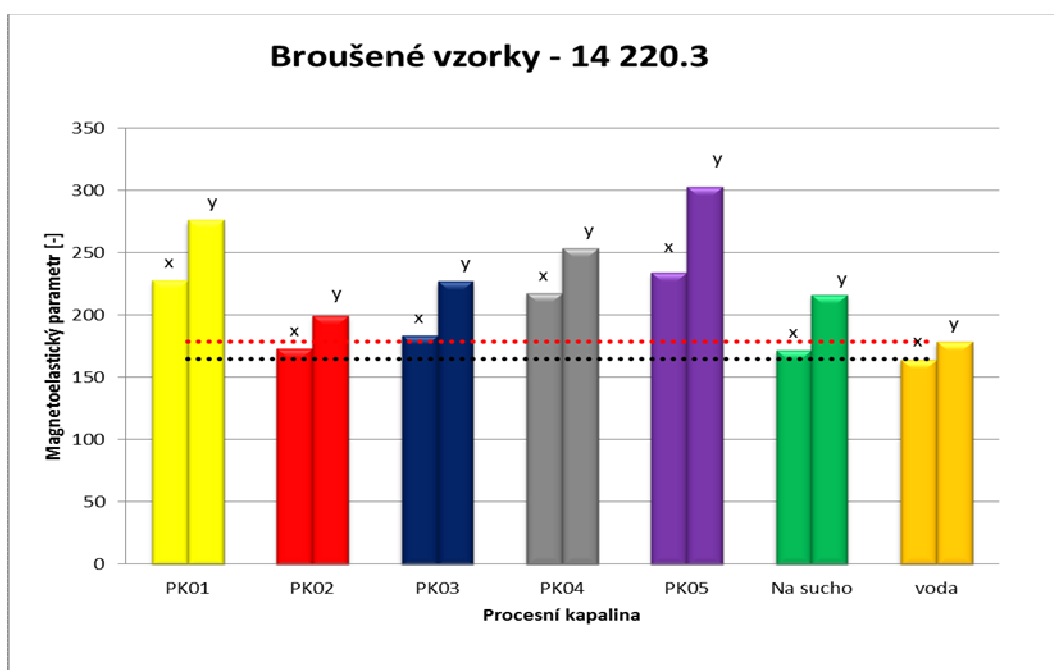


Obr. 87 Průměrné hodnoty plochy opotřebení pro PK od nejlepších světových výrobců a pro PK nově vyvíjené ve společnosti PARAMO a.s.

7.9 Výsledky hodnocení vlivu procesních kapalin na magnetoelastický parametr

Analýza Barkhausenova šumu patří mezi nedestruktivní metody hodnocení kvality povrchové vrstvy u strojních součástí. Metodou lze hodnotit součásti především z hlediska jejich zbytkových napětí, struktury a tvrdosti. Pokud jsou při hodnocení a vzájemném porovnávání několika součástí změřené hodnoty tzv. magnetoelastického parametru (m_p) relativně nízké, pak lze předpokládat, že se v tenké povrchové vrstvě hodnocené součásti charakter zbytkových napětí mění od tahových napětí směrem k tlakovým napětím (neznámá to ovšem, že absolutně jsou zbytková napětí tlaková) a tvrdost součásti se mění od tvrdosti nízké směrem k tvrdosti vysoké.

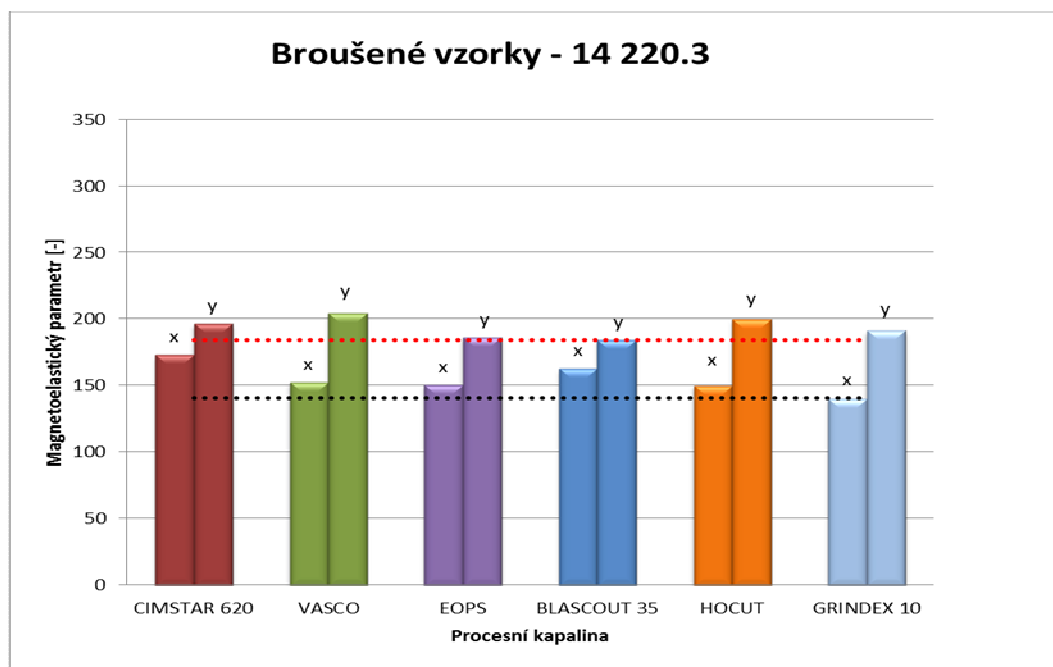
Metoda analýzy Barkhausenova šumu byla použita pro hodnocení stavu povrchové vrstvy u zkušebních vzorků z konstrukční oceli 14 220.3, které byly soustruženy, frézovány a broušeny při použití různých procesních kapalin. Zkušební vzorky z oceli 17 481 nebylo možné metodou analýzy Barkhausenova šumu hodnotit, protože tato ocel obsahuje pouze 3% magnetické fáze (neboli delta ferritu), což principiálně neumožňuje použít tuto magnetickou metodu pro hodnocení uvedených parametrů. Výsledky stanovené u zkušebních vzorků soustružených, frézovaných jsou k dispozici ve výzkumných zprávách [9], [12], [13], v této publikaci budou dále prezentovány výsledky stanovené u zkušebních vzorků broušených.



Obr. 88 Magnetoelastický parametr po broušení s použitím procesních kapalin ze společnosti Paramo, a.s.

Měření magnetoelastického parametru bylo vždy provedeno ve směru posuvu při broušení (osa y) a ve směru kolmém na směr posuvu při broušení (osa x). Změřené hodnoty byly statisticky zpracovány a stanovené průměrné hodnoty m_p po

broušení zkušebních vzorků z oceli 14 220.3 při použití procesních kapalin nově vyvíjených ve společnosti Paramo, a.s. jsou zřejmé z obr. 88. Z obrázku je patrné, že ve směru posuvu (tj. osa y) i ve směru kolmém na směr posuvu při obrábění (tj. osa x), je z hlediska kvality obráběného povrchu (mimo vody a procesního média vzduch) nejvhodnější procesní kapalina PK02.

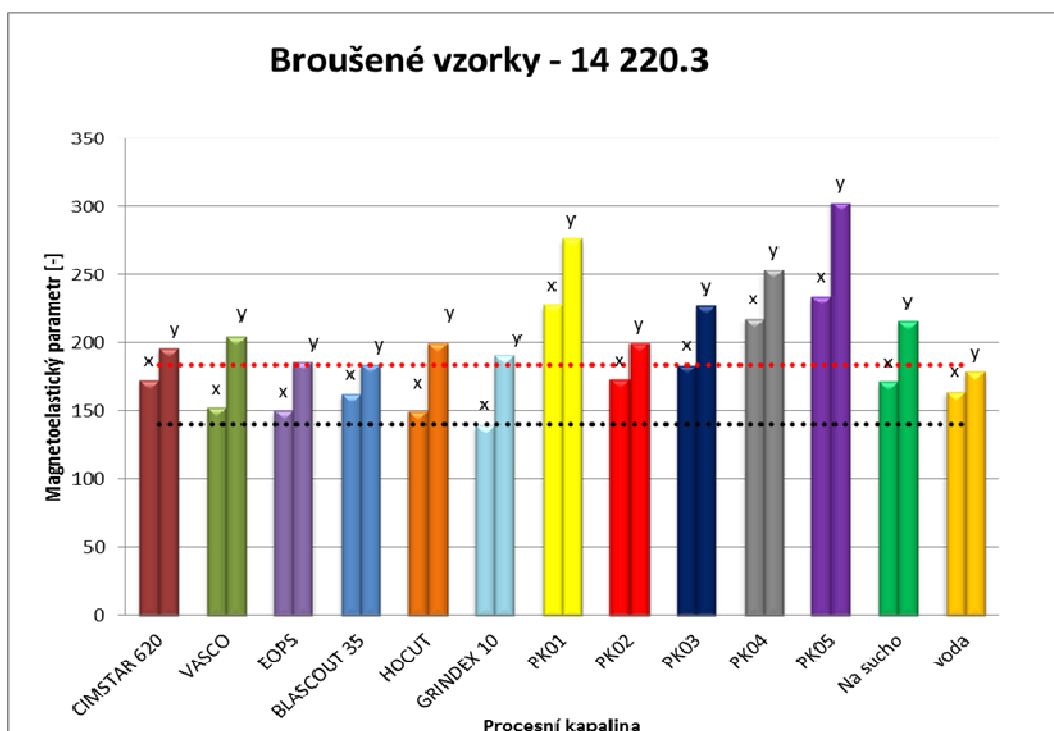


Obr. 89 Magnetoelastický parametr po broušení s použitím procesních kapalin světových výrobců

Průměrné hodnoty magnetoelastického parametru po broušení zkušebních vzorků při použití procesních kapalin od světových výrobců shrnuje obr. 89. Z obrázku je patrné, že zjištěné rozdíly mezi hodnotami mp jsou zcela minimální. Ve směru kolmém na směr posuvu při obrábění (tj. osa x), je z hlediska kvality obráběného povrchu nejvhodnější kapalina GRINDEX 10. Oproti tomu ve směru posuvu při broušení (tj. osa y) vykazuje nejlepší výsledky PK BLASCOUT 35. Velmi dobré výsledky byly také zjištěny u komerčně dostupné procesní kapaliny ze společnosti Paramo, a.s. EOPS 1030.

Změřené hodnoty mp se pro všechny hodnocené PK odlišují ve směru posuvu a ve směru kolmém na směr posuvu. Je tedy zřejmé, že souhrn parametrů zbytkových napětí, struktury a tvrdosti závisí na směru měření.

Hodnoty magnetoelastického parametru zjištěné u zkušebních vzorků broušených s použitím PK nově vyvíjených ve společnosti PARAMO a.s. byly vzájemně porovnány s hodnotami stanovenými u zkušebních vzorků, které byly broušeny s použitím PK od světových výrobců. Souhrn zjištěných středních hodnot magnetoelastického parametru je doložen na obr. 90.



Obr. 90 Vliv PK na hodnoty mp při broušení oceli 14 220.3

Jak již bylo uvedeno výše, je patrný vliv směru pohybu břitů nástroje při broušení. Ve směru posuvu při broušení (osa y) jsou naměřené hodnoty vyšší než ve směru kolmém k posuvu (osa x). Z hlediska stavu zbytkových napětí, struktury a tvrdosti v povrchové vrstvě broušených zkušebních vzorků byla ve směru osy x nejnižší hodnota magnetoelastického parametru zjištěna u zkušebního vzorku broušeného s použitím PK GRINDEX 10, tedy lze tuto PK označit jako nejvhodnější. Ve směru osy y vykazuje (kromě vody) nejlepší výsledky procesní kapalina BLASCOUT 35 a EOPS 1030. Celkově lze za velmi dobré považovat výsledky dosažené při aplikaci PK GRINDEX 10, BLASCOUT 35, EOPS 1030, HOCUT 795 B. U nově vyvíjených procesních kapalin ve spol. Paramo a.s. byly nejlepší výsledky dosaženy při použití PK02.

ZÁVĚR

Tato publikace shrnuje nejdůležitější výsledky a poznatky shromážděné během řešení výzkumného projektu TAČR TA02021332 - Ekologické obráběcí kapaliny nové generace. Cílem řešení projektu bylo vyvinout nové procesní kapaliny pro obrábění, které se vyznačují tím, že v maximální míře garantují ochranu zdraví a ekologické požadavky, což vytváří předpoklad pro zvýšení kvality životního prostředí v podnicích, které se zabývají strojírenskou výrobou. Výzkumný projekt byl řešen ve společnosti Paramo, a.s. Pardubice a na Technické univerzitě v Liberci.

Ve společnosti Paramo, a.s. byly v rámci řešení projektu vyvinuty zcela nové formulace procesních kapalin pro obrábění. Základní složkou všech nových procesních kapalin byla demineralizovaná voda a všechny kapaliny obsahovaly korozní inhibitor založený na produktech neutralizace polykarboxylových kyselin a terciálních alkanolaminů. Také biocidní a protipěnovostní systém byl u všech formulací kapalin stejný. Jednotlivé hodnocené procesní kapaliny se vzájemně odlišovaly především systémem mazivostních přísad.

V laboratořích Katedry obrábění a montáže Fakulty strojní Technické univerzity v Liberci byly při experimentech obrábění nově vyvinuté procesní kapaliny hodnoceny z řady hledisek. Vedle toho byly v laboratořích analogickým způsobem hodnoceny také standardní a komerčně dostupné procesní kapaliny světových výrobců. Tyto, např. polosyntetické PK, při jejichž výrobě nebylo kritériem zdravotní nezávadnosti a ekologické šetrnosti takovou prioritou, byly porovnávány se zdravotně nezávadnými a ekologicky šetrnými procesními kapalinami, které byly v rámci řešení výzkumného projektu nově vyvinuty ve společnosti Paramo, a.s.

Tato publikace si klade za cíl seznámit čtenáře zejména s postupy a poznatky, které byly při řešení projektu použity a dosaženy. V první části publikace jsou prezentovány obecné poznatky vztahující se k druhům a účinkům procesních kapalin, dále jsou uvedeny zásady péče o procesní kapaliny a informace o zkouškách procesních kapalin. Druhá část publikace seznamuje čtenáře s jednotlivými metodikami hodnocení, které byly uplatněny při posuzování všech hodnocených obráběcích kapalin v laboratořích Technické univerzity v Liberci. Ve třetí části jsou pak čtenáři předloženy výsledky experimentů zaměřené na hodnocení vlivu procesních kapalin na trvanlivost rezných nástrojů při soustružení, frézování a vrtání, na hodnocení vlivu PK na střední smluvní kolmou reznou sílu při broušení, na hodnocení vlivu PK na drsnost povrchu obrobků strojních součástí, na vliv procesních kapalin na tvar třísky, na hodnocení ulpívání procesních kapalin na obrobku, na hodnocení antiadhezní schopnosti PK a na hodnocení vlivu PK na magnetoelastický parametr.

Prezentované výsledky mohou sloužit jako uživatelský manuál pro výběr optimálního druhu obráběcí kapaliny v podnicích, které se strojírenskou výrobou zabývají.

Podkladem pro tuto publikaci byly poznatky a výsledky, které byly získány v průběhu řešení výzkumného projektu. V plném rozsahu jsou výsledky experimentálního výzkumu, který byl realizován na pracovištích TU v Liberci, uvedeny ve výzkumných zprávách [9], [10], [11], [12], [13], [14], [15], [16], [17], [18], [19].

Tato publikace byla realizována za finanční podpory z prostředků státního rozpočtu prostřednictvím České republiky - Technologické agentury České republiky (projekt TA02021332).

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] BARTUŠEK, T. *Účinek procesní kapaliny na technologii broušení a kvalitu obrobených součástí. [Diplomová práce].* Liberec, TU v Liberci, 2008. 67 s.
- [2] BARTUŠEK, T., JERSÁK, J. Metoda MQL a její vliv na technologické parametry procesu broušení. *Strojírenská technologie.* Rec. prof. Mádl. 14. roč., březen 2009, č. 1. s. 12 - 18. ISSN 1211-4162.
- [3] BENEŠ, P. *Chladicí a mazací schopnost procesních kapalin při obrábění. [Diplomová práce].* Liberec, TU v Liberci, 2009. 78 s.
- [4] BUMBÁLEK, B., OŠŤÁDAL, B., ŠAFR, E. *Řezné kapaliny.* 1. vyd. Praha: SNTL, 1963. 136 s. ISBN -.
- [5] ČSN EN ISO 4287. Geometrické požadavky na výrobky (GPS) - Struktura povrchu: Profilová metoda - Termíny, definice a parametry struktury povrchu. 1999. Praha: Český normalizační institut.
- [6] ČSN ISO 8688-1. Testovanie trvanlivosti pri frézovaní, Časť 1: Rovinné frézovanie. 1993. Praha: Centrum služeb pro normalizaci.
- [7] DIN 51360-2. Testing of cooling lubricants; determination of corrosion preventing characteristics of cooling lubricants mixed with water; chip/filter paper method. Jul 1981. Berlin: DIN Deutsches Institut für Normung e. V.
- [8] GABRIEL, V., HOLUB, L., JERSÁK, J. *Ověření vlastností řezných olejů při podélném soustružení: Výzkumná zpráva.* Liberec: TU v Liberci, prosinec 2000. 181 s.
- [9] JERSÁK, J. *Průběžná zpráva o výsledcích řešení na pracovišti dalšího účastníka projektu v roce 2012, Název projektu: Ekologické obráběcí kapaliny nové generace. [Výzkumná zpráva].* Liberec: TU v Liberci, prosinec 2012. 10 s.
- [10] JERSÁK, J. *Průběžná zpráva o výsledcích řešení na pracovišti dalšího účastníka projektu v roce 2013, Název projektu: Ekologické obráběcí kapaliny nové generace. [Výzkumná zpráva].* Liberec: TU v Liberci, prosinec 2013. 16 s.
- [11] JERSÁK, J. *Průběžná zpráva o výsledcích řešení na pracovišti dalšího účastníka projektu v roce 2014, Název projektu: Ekologické obráběcí kapaliny nové generace. [Výzkumná zpráva].* Liberec: TU v Liberci, - 2014. - s. (v tisku).
- [12] JERSÁK, J., AJ. *Dílčí výzkumné zprávy z měření procesních kapalin - část 1. [Výzkumná zpráva].* Liberec: TU v Liberci, prosinec 2012. 146 s.
- [13] JERSÁK, J., AJ. *Dílčí výzkumné zprávy z měření procesních kapalin - část 2. [Výzkumná zpráva].* Liberec: TU v Liberci, prosinec 2012. 198 s.
- [14] JERSÁK, J., AJ. *Dílčí výzkumné zprávy z měření procesních kapalin. [Výzkumná zpráva].* Liberec: TU v Liberci, - 2014. - s. (v tisku).
- [15] JERSÁK, J., AJ. *Ekologické obráběcí kapaliny nové generace - metodiky hodnocení procesních kapalin - 2013. [Výzkumná zpráva].* Liberec: TU v Liberci, prosinec 2013. 31 s.

- [16] JERSÁK, J., AJ. *Ekologické obráběcí kapaliny nové generace - metodiky hodnocení procesních kapalin*. [Výzkumná zpráva]. Liberec: TU v Liberci, prosinec 2012. 106 s.
- [17] JERSÁK, J., AJ. *Hodnocení procesních kapalin od světových výrobců - dílčí výzkumné zprávy z měření procesních kapalin - část 2*. [Výzkumná zpráva]. Liberec: TU v Liberci, prosinec 2013. 231 s.
- [18] JERSÁK, J., AJ. *Hodnocení procesních kapalin z hlediska materiálových vlastností broušených obrobků - dílčí výzkumné zprávy z měření procesních kapalin - část 3*. [Výzkumná zpráva]. Liberec: TU v Liberci, prosinec 2013. 156 s.
- [19] JERSÁK, J., AJ. *Hodnocení procesních kapalin ze společnosti Paramo, a.s. při vrtání - dílčí výzkumné zprávy z měření procesních kapalin - část 1*. [Výzkumná zpráva]. Liberec: TU v Liberci, prosinec 2013. 54 s.
- [20] KAPLAN, F. *Metodiky zkoušek obráběcích kapalin a jejich hodnocení při čelním frézování*. [Bakalářská práce]. Liberec, TU v Liberci, 2012. 57 s.
- [21] KOČMAN, K., PROKOP, J. *Technologie obrábění*. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., 2000. ISBN 80-214-1996-2.
- [22] *Měření ochlazovací rychlosti kalících médií - Quench test*. TU Liberec [cit. 01. února 2013]. Dostupné na: http://www.kmt.tul.cz/edu/podklady_kmt_bakalari/TZZ/cv%20quench.PDF.
- [23] NOVÁK, P. *Návrh metodiky hodnocení procesních kapalin při osových operacích obrábění*. [Disertační práce]. Praha, ČVUT Praha, 2005. 142 s.
- [24] POHOŘALÝ, M., JERSÁK, J. Výzkum vybraných parametrů jakosti broušeného povrchu v závislosti na povaze použitého chladicího média. *Strojírenská technologie*. Rec. F. Holešovský. Prosinec 2003, 8, č. 4. s. 4 - 8. ISSN 1211-4162.
- [25] *Prodloužení životnosti řezných kapalin*. MM Průmyslové spektrum [cit. 01. února 2013]. Dostupné na: <http://www.mmspektrum.com/clanek/prodlouzeni-zivotnosti-reznych-kapalin.html>
- [26] STŘELCOVÁ, R. *Řezné kapaliny a jejich uplatnění v moderní výrobě*. [Bakalářská práce]. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2008. 48s.
- [27] ŠAFR, E. DYK, A. *Technika mazání v průmyslových závodech*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1956. 425 s. ISBN-
- [28] ŠTĚPINA, V. VESELÝ, V. *Maziva v tribologii*. 1. vyd. Bratislava: Veda, 1985. 406 s. ISBN-
- [29] *Top trendy v obrábění - VI. část - Procesné médiá (příručka)*. ČILLÍKOVÁ, M., aj. Žilina: MEDIA/ST, s.r.o., Január 2008. ISBN 978-80-969789-3-9.

Název	Ekologické obráběcí kapaliny nové generace
Autor	Jan Jersák, Alexey Popov a kolektiv autorů
Určeno pro	Publikace je určena pro pracovníky ze strojírenské praxe, technology a studenty strojních fakult vysokých škol
Vydavatel	Technická univerzita v Liberci
Schváleno	Rektorátem TU v Liberci dne 30.10.2014, čj.RE 113/14
Vyšlo	v říjnu 2014
Počet stran	88
Vydání	1.
Rok prvního vydání	2014
Tiskárna	Vysokoškolský podnik Liberec, spol. s r.o., Hálkova 6, Liberec
Číslo publikace	55-113-14

Tato publikace neprošla redakční ani jazykovou úpravou.