

Lze při broušení kovů aplikovat metodu MQL?

Bartušek Tomáš, Ing., katedra obrábění a montáže, fakulta strojní, TU v Liberci
Jersák Jan, Doc.Ing. CSc., katedra obrábění a montáže, fakulta strojní, TU v Liberci

Jedním z aktuálních trendů v technologii obrábění je eliminace využívání procesních kapalin zatěžujících životní prostředí. Na katedře obrábění a montáže (KOM) TU v Liberci byly v této souvislosti provedeny experimenty, při kterých bylo na rovinné brusce BPH 320A od f. JUNKER BSH Machines porovnáno broušení bez přívodu procesní kapaliny a broušení s různými druhy procesních kapalin, přičemž byly současně porovnávány též různé druhy přívodu procesní kapaliny do prostoru broušení. Zajímavé poznatky byly získány při použití aplikátoru Accu-lube pro chlazení za minimálního množství procesní kapaliny metodou MQL. Vliv jednotlivých procesních kapalin a způsobů jejich přívodu byl posuzován z několika hledisek. Byla hodnocena velikost složek řezné síly při broušení, drsnost povrchu obrobených vzorků a metodou rentgenové difrakce bylo též hodnoceno zbytkové napětí na povrchu zkušebních vzorků.

Klíčová slova : obrábění kovů, broušení, procesní kapalina, ekologie, metoda MQL

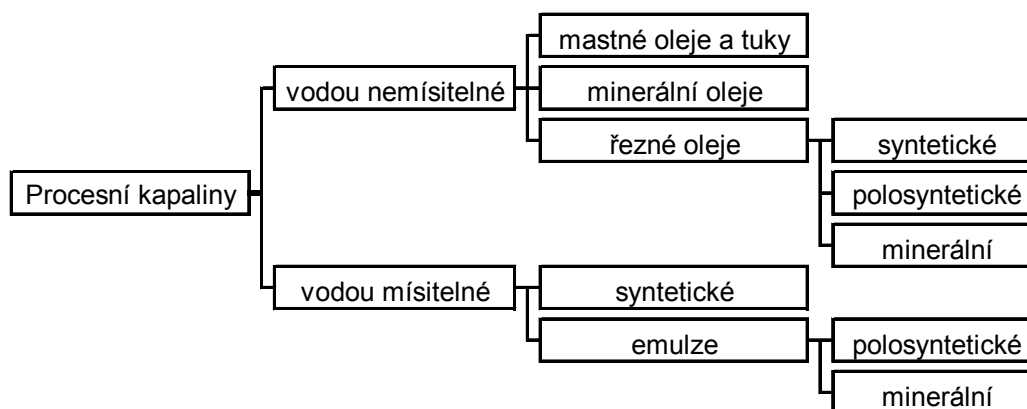
1. Úvod

Kvalita povrchové vrstvy a povrchové plochy strojních součástí po broušení závisí na řadě faktorů, jejichž teoretické zkoumání je značně ztíženo velkým množstvím ovlivňujících technologických vlivů i obtížně definovatelnými detaily broušicího nástroje. Při návrhu technologie broušení má zásadní význam správná volba nástroje, způsob upnutí a vyvážení broušicího kotouče, jeho orovnění a také volba procesní kapaliny a způsob jejího přívodu do prostoru řezání.

Na katedře obrábění a montáže Technické univerzity v Liberci bylo v rámci řešení výzkumného úkolu porovnáno broušení za sucha, broušení s různými druhy procesních kapalin a broušení metodou MQL, kdy se do místa řezu dodává minimální množství kapaliny. Současně byly zkoumány i různé varianty přívodu procesních kapalin do prostoru broušení.

2. Druhy a účinky procesních kapalin

Účinek procesních kapalin používaných při obrábění lze rozdělit na chladicí a mazací, k tomu pak přistupuje ještě účinek čistící a další účinky, které souvisejí se zlepšováním drsnosti obrobeného povrchu, vznikem nárůstků atp. V průmyslové praxi se používá celá řada různých procesních kapalin, jejich základní schématické rozdělení je naznačeno na obr. 1.



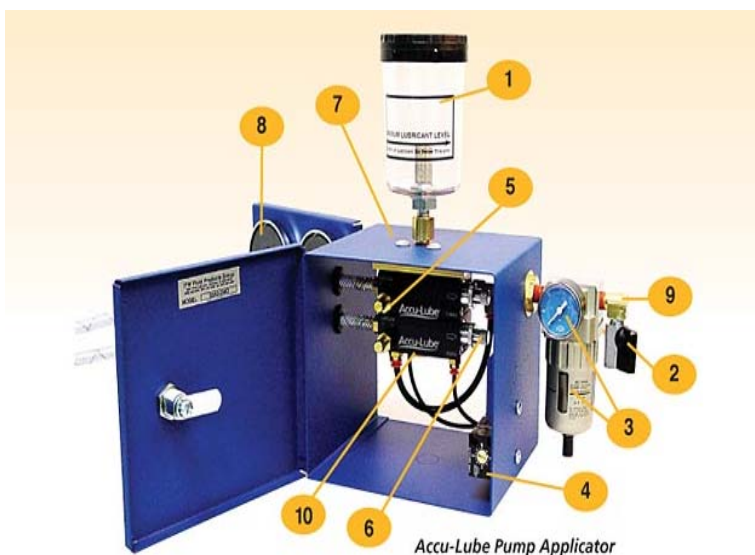
Obr.1 Schématické rozdělení procesních kapalin

Procesní kapaliny používané při broušení mají zejména odvádět vzniklé teplo, tudíž je kladen důraz na účinek chladicí, v řadě případů je požadován též účinek mazací, vedle toho také očišťují povrch obrobku a broušicího kotouče od produktů procesu řezání, zlepšují drsnost a kvalitu povrchové vrstvy obrobku. Procesní kapaliny musí mít co nejlepší chemickou a fyzikální stálost, musí splňovat baktericidní a hygienické požadavky, mít antikoroziční účinky, minimální pěnovost, zajišťovat bezpečnost před požárem a explozí a mají mít též příznivý vliv na sedimentaci odpadu při broušení.

3. Metoda MQL

Standardně platí, že při obrábění se k břitu nástroje do místa řezu přivádí dostatečně velké množství procesní kapaliny nebo se naopak nepřivádí procesní kapalina vůbec. Pokud se do místa řezu místo velkého objemu kapaliny dodává pouze nepatrné množství, pak se jedná o tzv. obrábění s minimálním množstvím procesní kapaliny a pro tuto metodu se používá označení - metoda MQL (Minimum Quantity Liquid).

Pro dávkování přesně řízeného množství procesní kapaliny byly vyvinuty speciální aplikátory Accu-Lube (obr. 2). Tyto aplikátory lze použít u většiny technologických operací. Aplikátor umožňuje realizovat téměř suchý mikrolubrikační proces obrábění.



1. Nádržka na procesní kapalinu
2. Vypínač
3. Vzduchový filtr
4. Pneumatický frekvenční generátor
5. Škrticí vzduchový ventil
6. Regulace průtoku kapaliny
7. Těleso aplikátoru
8. Magnetické příchytky
9. Vzduchový přívod aplikátoru
10. Čerpadlo

Obr. 2 Hlavní části aplikátoru Accu-Lube

Použitím metody MQL lze v řadě případů obrábění dosáhnout jak ekonomických, tak i ekologických přínosů.

4. Charakteristika a podmínky provedených měření

V laboratoři obrábění na KOM TU v Liberci bylo na rovinné brusce BPH 320A od f. JUNKER BSH Machines porovnáno broušení bez přívodu procesní kapaliny a broušení s různými druhy procesních kapalin, přičemž byly současně porovnávány též dva různé druhy přívodu procesní kapaliny do prostoru broušení a metoda MQL. V rámci provedených experimentů byly hodnoceny vybrané procesní kapaliny v zastoupení syntetické (SOLGREEN 540), polosyntetické (MICROCOOL 387) a procesní kapaliny na bázi emulzního typu (CIMSTAR 506).

U experimentů byly rozlišovány dvě etapy. V první etapě, která představovala hrubování, byl nastaven pracovní radiální záběr brousícího nástroje $a_e = 0,03$ mm a ve druhé etapě, která představovala dokončování, byl pracovní radiální záběr $a_e = 0,01$ mm. Příklad pracovních podmínek je uveden v tab.1. Každé měření bylo provedeno na pěti zkušebních vzorcích jako jedna série. Před každou započatou sérií byl brousící kotouč ořovnán jednokamenovým diamantovým ořovnávačem.

Hodnocení procesu broušení bylo zaměřeno jednak na vlastní technologický proces, kdy byla v průběhu broušení monitorována velikost řezné síly, a také na obrobenou součást, u které byly stanoveny parametry drsnosti povrchu a velikost zbytkového napětí v povrchové vrstvě. Praktická část experimentů byla převážně realizována v laboratoři katedry obrábění a montáže TU v Liberci. K měření řezné síly F_c a kolmé řezné síly F_{cN} byl použit piezoelektrický dynamometr KISTLER, typ 9265B. Signál z piezoelektrických snímačů byl zesílen nábojovým zesilovačem 5019B. Síly byly měřeny vždy od prvního zdvihu při sousledném broušení až do vyjiskření. Napěťový signál byl zpracován programem LabView 6.1. Pro vyhodnocení drsnosti povrchu byl použit laboratorní profiloměr Mitutoyo SV-2000 N2. Tímto indukčním měřicím přístrojem bylo měření drsnosti provedeno vždy po deseti vyjiskřovacích dvojdzvizích. Jakost obrobené plochy byla kontrolována na třech místech broušeného povrchu. U vybraných vzorků bylo provedeno měření zbytkového napětí na

povrchu obrobeného zkušební vzorku. Zbytkové napětí bylo stanoveno metodou rtg difrakce na FJFI ČVUT Praha.

Stroj	Bruska	BPH 320 A		
Zkušební vzorek	14 100.4	kaleno na 52±2 HRC		
Způsob broušení	rovinné zápichové			
Operace	dokončování na čisto			
Podmínky experimentu				
brousící kotouč	1 - 235x32x76 - A98 60 K9V - 35 m.s ⁻¹			
otáčky brousícího kotouče	n	2636	[ot.min ⁻¹]	
pracovní radiální záběr	a _{e1}	0,01	[mm]	
	a _{e2}	0,03	[mm]	
obvodová rychlost	v _c	32,4	[m.s ⁻¹]	
rychlost podélného vratného pohybu stolu	v _{ft}	10	[m.min ⁻¹]	
Chlazení	procesní kapalina	MICROCOOL 387 CIMSTAR 506 SOLGREEN 540 ACCU-LUBE 5000		
	přívod procesní kapaliny	původní kovová hubice PH plastická naklápěcí tryska TR		
	koncentrace	-	5	[%]
	průtočné množství	Q _v	7	[l.min ⁻¹]
	teplota procesní kapaliny	t	23	[°C]
Orovnávač	Jednokamenový diamantový orovnávač			
	rychlost posuvného pohybu orovnávacího nástroje	v _{fdh}	100	[mm.min ⁻¹]
	rychlost posuvného pohybu orovnávacího nástroje	v _{fdj}	50	[mm.min ⁻¹]
	radiální záběr orovnávacího nástroje	a _{dh}	0,03	[mm]
		a _{dj}	0,01	[mm]
otáčky brousícího kotouče	n	2636	[ot.min ⁻¹]	
Měřené parametry	řezná síla	F _c	[N]	
	kolmá řezná síla	F _{cN}	[N]	
	drsnot povrchu	R _a	[μm]	
	střední aritmetická hodnota drsnosti	R _a	[μm]	
	zbytkové napětí v povrchové vrstvě	σ _L , σ _T	[Mpa]	
Měřicí aparatura	piezoelektrický dynamometr KISTLER typ 9265B + nábojový zesilovač profiloměr MITUTOYO SV-2000N2 rentgenový přístroj KRISTALOFLEX 2H			

Tab. 1. Podmínky experimentů

5. Hodnocení experimentů

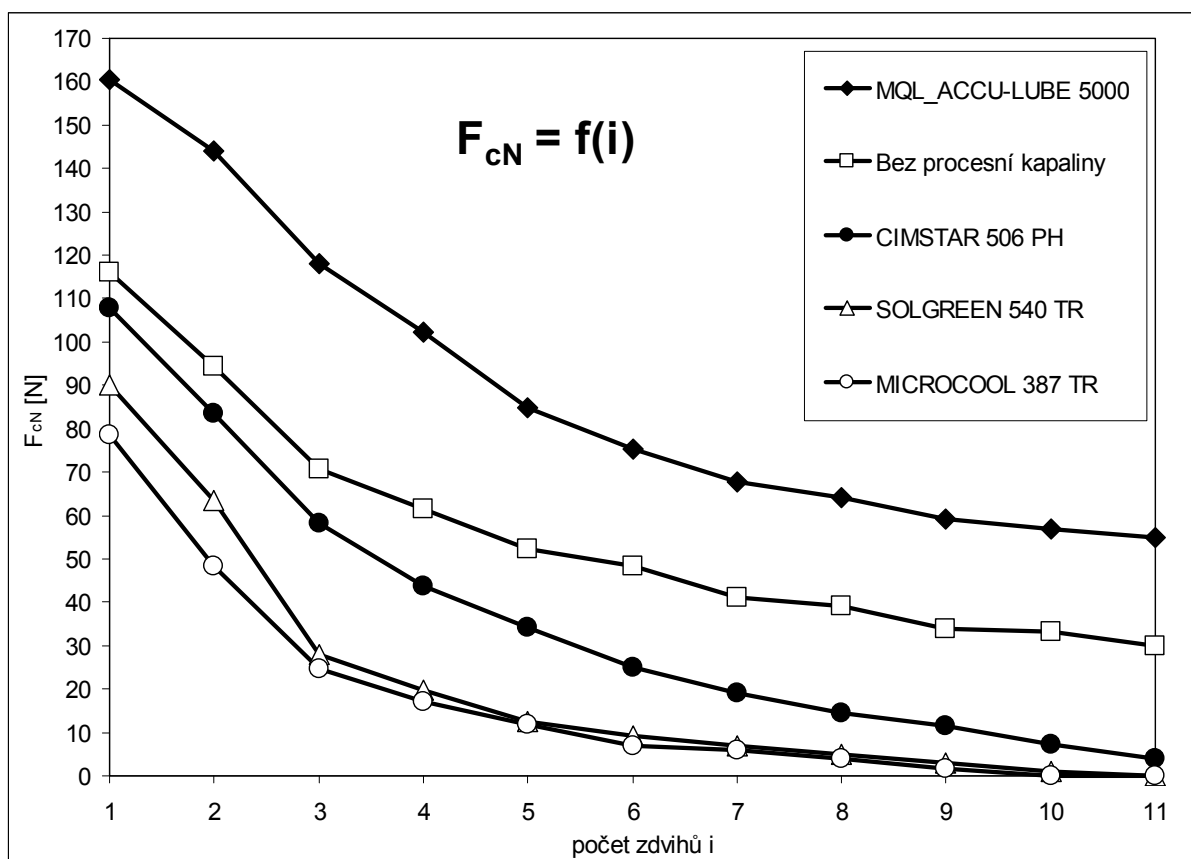
Cílem realizovaných experimentů bylo porovnat broušení za sucha, broušení s různými druhy procesních kapalin a broušení metodou MQL.

5.1 Hodnocení řezné síly

Při technologii broušení působí rozhodující složka síly ve směru kolmém na obráběnou plochu. Závislost kolmé řezné síly F_{cN} na počtu vyjiskřovacích zdvihů i při pracovním radiálním záběru $a_e = 0,01$ mm je pro experimenty broušení s různými procesními médii zřejmá z následujícího obr. 3.

Závislost kolmé řezné síly na počtu vyjiskřovacích zdvihů při broušení charakterizují tzv. vyjiskřovací křivky. Pokud je při broušení dosaženo požadovaného úběru materiálu, řezná síla je již od prvního zdvihu malá a současně dochází ke strmému poklesu vyjiskřovací křivky, jedná se o příznivý průběh procesu broušení. Jak je patrné z obr. 3, bylo tedy nejlepších výsledků dosaženo při broušení s procesními kapalinami MICROCOOL 387 TR, SOLGREEN 540 TR a CIMSTAR 506 PH. Při obrábění bez procesní kapaliny byly zjištěny vyšší hodnoty řezné síly a menší strmost poklesu vyjiskřovací křivky (nižší rychlost poklesu řezné síly). Nejméně příznivé výsledky byly zjištěny při

broušení metodou MQL, kdy byla při prvním zdvihu kolmá řezná síla přibližně dvojnásobně vysoká oproti broušení s procesní kapalinou MICROCOOL 387 a relativně vysoká byla též po jedenáctém zdvihu.



Obr. 3 Průběh kolmé řezné síly F_{cN} při radiálním záběru $a_e = 0,01$ [mm]

Při broušení metodou MQL byl povrch brousícího kotouče poměrně rychle silně zanesen produkty broušení, což je zřetelně vidět na obr. 5. Důsledkem bylo zhoršení úběru materiálu, které vedlo až ke vzniku spálenin na povrchu zkušební vzorku, což dokumentuje obr. 4.



Obr. 4 Zkušební vzorky broušené metodou MQL s patrnými spáleninami (vlevo) a s chladicí kapalinou MICROCOOL 387 (vpravo)



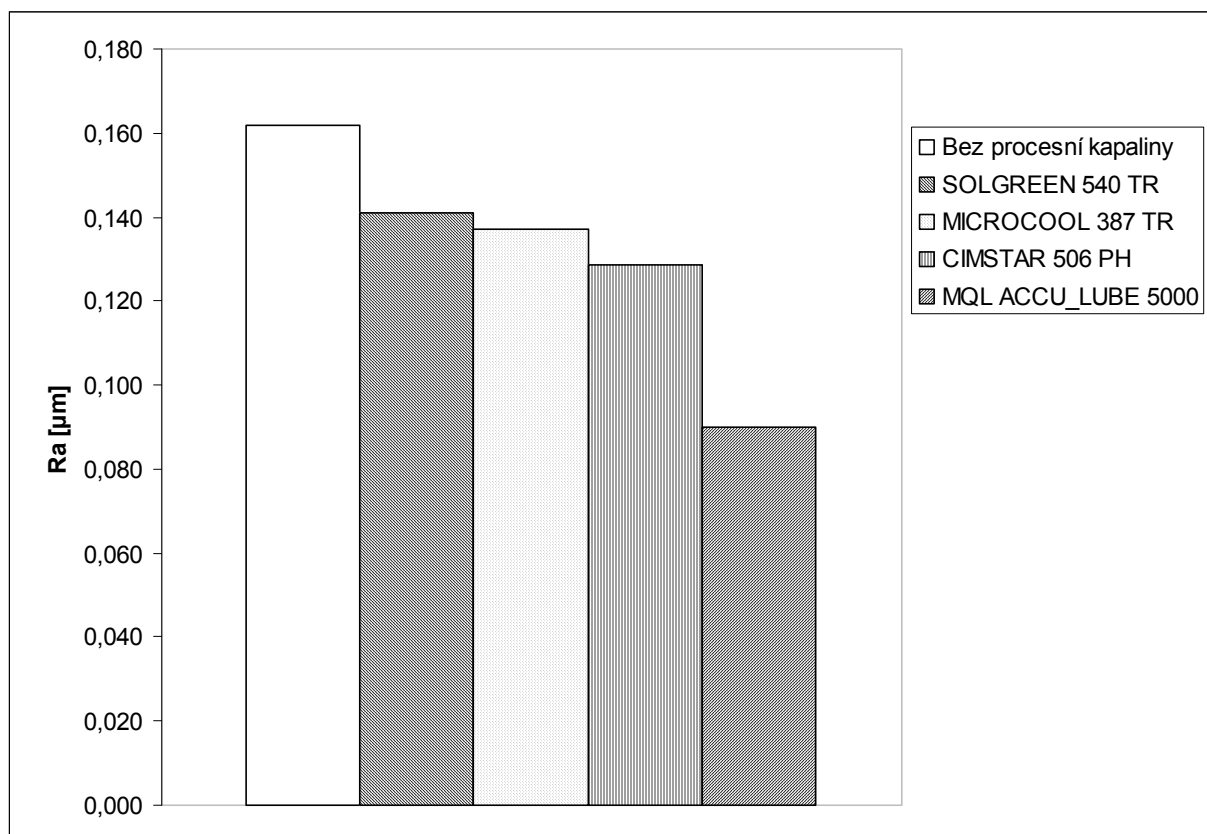
Obr. 5 Zanesený brousící kotouč při broušení metodou MQL

Při hodnocení experimentů z hlediska řezných sil bylo podle očekávání zjištěno, že nejhodnější je broušení s procesními kapalinami. Při jejich použití byla řezná síla již od prvního zdvihu poměrně malá a současně byl zjištěn strmý pokles vyjiskřovacích křivek.

5.2 Hodnocení drsnosti povrchu

Drsnost povrchu představuje jeden z významných kvalitativních parametrů obrobenej součásti. Na obr. 6 jsou prezentovány hodnoty průměrné aritmetické úchytky posuzovaného profilu R_a stanovené u zkušebních vzorků po broušení s pracovním radiálním záběrem $a_e = 0,01\text{mm}$.

Hodnoty parametru R_a se u broušených vzorků pohybovaly v rozsahu od 0,09 do 0,16 μm . Je patrné, že se účinek procesní kapaliny projevil poměrně výrazně. Největší drsnost byla zjištěna u vzorků broušených bez procesní kapaliny. Drsnost vzorků broušených s různými druhy procesních kapalin se pohybovala v úzkém intervalu od 0,125 do 0,14 μm . Nejnížší naměřené hodnoty drsnosti povrchu 0,09 μm byly stanoveny u vzorků broušených metodou MQL, kdy bylo do místa řezu přiváděno minimální množství procesní kapaliny ACCU-LUBE. Použití této metody však zřejmě vedlo k tomu, že na povrchu došlo k lokálnímu přehřátí obrobku vedoucímu až ke změně struktury, na povrchu vznikly tzv. „spáleniny“ (obr. 4) a to povrch broušené součásti znehodnocuje.



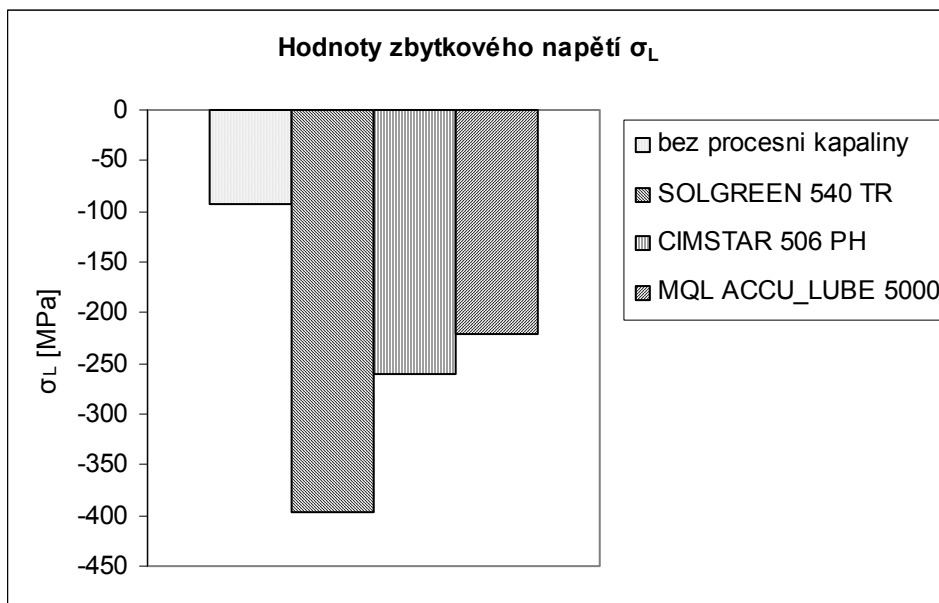
Obr. 6 Hodnoty parametru drsnosti profilu R_a po broušení s různými procesními médii

5.3 Měření zbytkového napětí v povrchové vrstvě

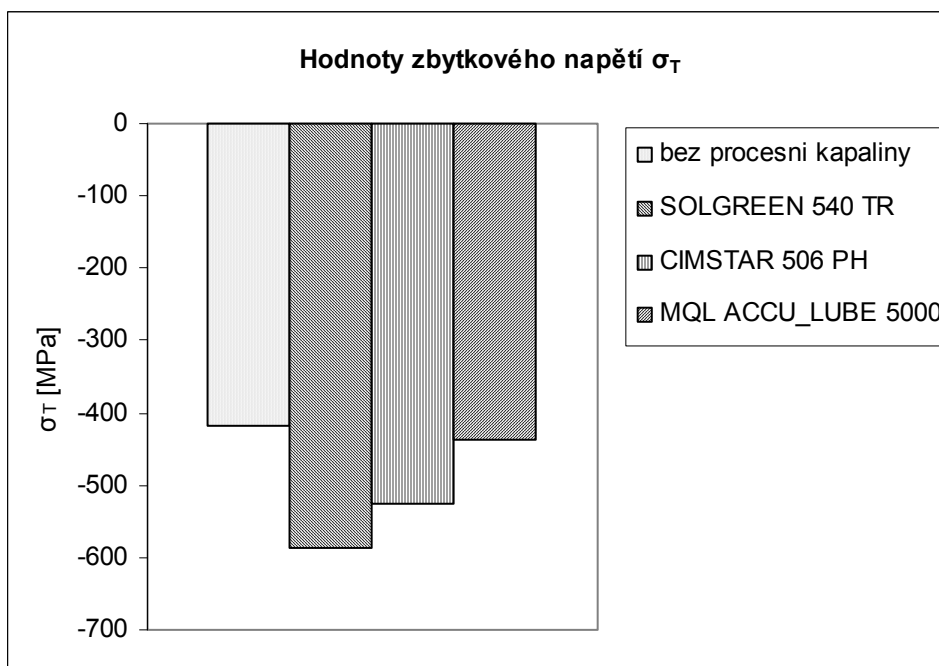
Zbytková napětí jsou přítomna v tuhých tělesech na něž nepůsobí žádné vnější síly ani momenty a v nichž neexistují žádné teplotní gradienty. Na následujících obrázcích jsou uvedena nejčastěji posuzovaná makroskopická zbytková napětí na povrchu zkušebních vzorků po broušení. Hodnota σ_L vyjadřuje napětí stanovené ve směru působení zrn brousícího nástroje a hodnota σ_T udává zbytkové napětí ve směru kolmém vůči směru působení zrn brusiva.

Při hodnocení zbytkového napětí byly zjištěny zajímavé výsledky. Ve všech případech broušení bylo na povrchu zkušebních vzorků naměřeno příznivé tlakové napětí. Z toho lze usoudit, že zde vlivem deformačních procesů při obrábění došlo ke zpevnění materiálu. Na obr. 7 jsou znázorněny velikosti zbytkových napětí σ_L ve směru působení zrn brousícího nástroje a na obr. 8 jsou zřejmé velikosti zbytkových napětí ve směru kolmém vůči směru působení zrn brusiva. Je patrné, že

nejpříznivější hodnota tlakového napětí byla vždy dosažena při broušení s procesní kapalinou SOLGREEN 540. V daném případě byla procesní kapalina přivedena do místa broušení tryskou. Příznivé hodnoty tlakového napětí byly dosaženy též při broušení s procesní kapalinou CIMSTAR 506 PH a také při broušení metodou MQL. Nejmenší hodnoty zbytkového napětí byly zjištěny v případě, kdy byly vzorky broušeny bez přívodu procesní kapaliny.



Obr. 7 Zbytková napětí stanovená ve směru působení zrn brousícího nástroje



Obr. 8 Zbytková napětí ve směru kolmém vůči směru působení zrn brusiva

6. Závěr

Při experimentech provedených na KOM TU v Liberci byly porovnávány účinky různých procesních kapalin a metody MQL s broušením za sucha. Byl posuzován vliv procesního média na technologii broušení a kvalitu obrobeneých součástí.

Závěry z provedených experimentů potvrdily známou skutečnost, že při broušení plní procesní kapalina důležitou úlohu a procesní médium má na vlastní proces obrábění i na kvalitu povrchu

broušených součástí významný vliv. Hodnoty technologických parametrů stanovené při broušení s použitím kapaliny a při broušení bez procesní kapaliny jsou výrazně rozdílné. Při experimentech byly zjištěny vztahy a souvislosti, které by se měly stát předmětem dalšího zkoumání.

Použití metody MQL při rovinném broušení zapříčinilo rychlé zanesení broušícího kotouče a následně vznikaly na povrchu zkušebních vzorků nežádoucí spáleniny. Měřením byly zjištěny vysoké hodnoty kolmé řezné síly a nežádoucí malá strmost vyjiskřovací křivky. Vedle toho však bylo také zjištěno, že po broušení s malým radiálním záběrem byla dosažena jednoznačně nejlepší drsnost povrchu a to při poměrně příznivých hodnotách zbytkového napětí v povrchové vrstvě vzorku.

Použití metody MQL při broušení tedy není vyloučeno, je však nutno přesněji stanovit oblasti a podmínky použití a racionálně využít zjištěných výhod, které tato metoda může přinést - maximální snížení množství procesní kapaliny při dosažení kvalitního povrchu broušené součásti.

Tento článek souvisí s řešením projektu MSM 4674788501, který je podporován MŠMT ČR.

Literatura

- 1 ITW ROCOL North America, Glenview: *Positive Displacement Pump Applicators*, 2008. (firemní prospekt).[online]. Dostupné na: <http://www.itwfpg.com/acculube/applicators/production.html>
- 2 BARTUŠEK, T. *Účinek procesní kapaliny na technologii broušení a kvalitu obrobených součástí. [Diplomová práce]*. Liberec, TU v Liberci, 2008. 67 s. V 122/08 S/1
- 3 BUMBÁLEK, B., OŠTĀDAL, B., ŠAFR, E. *Řezné kapaliny*. 1.vyd. Praha: SNTL – Nakladatelství technické literatury, 1963. 136 s. ISBN -.
- 4 HOLEŠOVSKÝ, F., HRALA, M. Vliv redukce procesní kapaliny na parametry broušené plochy. In: *Sborník Mezinárodního kongresu MATAR*. 1. vyd. Praha: 2000, s. 161 - 167. ISBN 80-238-5540-9.
- 5 KISTLER, *Winterthur: Schnittkraftmessung. Innovative präzision für mehr Wirtschaftlichkeit* [B. r.]. 12 s.
- 6 KRAUS, I., GANEV, N. *Technické aplikace difrakční analýzy*. Lektor: S. Holý. 1. vyd. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2004. 171 s. ISBN 80-01-03099-7.
- 7 MEČIAROVÁ, J., JERSÁK, J. Humánní aspekty používání procesních kapalin. *Strojírenská technologie*. Rec. prof. Mádl. roč. XI, prosinec 2006, č. 4. s. 4 - 8. ISSN 1211-4162.
- 8 NECKÁŘ, F., KVASNIČKA, I. *Vybrané statě z úběru materiálu*. 1. vyd. Praha: ES ČVUT, 1991. 88 s. ISBN 80-01-00696-4.
- 9 PALA, Z., GANEV, N., JERSÁK, J. X-Ray Diffraction Study of Distribution of Macroscopic Residual Stresses in Surface Layers of a Bearing Steel After Grinding. *Inżynieria Materiałowa*. Rec. neueden. roč. 28, 2007, č. 3 - 4. s. 455 - 458. ISSN 0208-6247.
- 10 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.
- 11 RÁZEK, V., MÁDL, J., KOUTNÝ, V. Metody zkoušení vlastností řezných kapalin. *Strojírenská technologie*. Rec. - . roč. 8, 2003, č. 3. s. 21 - 24. ISSN 1211-4162.



Article: Is possible to apply MQL method at metals grinding?

Authors: Tomas Bartusek, M.Sc. ; Assoc. Prof. Jan Jersak, M.Sc., Ph.D.

Workplace: Department of Machining and Assembly, Faculty of Mechanical Engineering, Technical University of Liberec

Keywords: Metal cutting, grinding, procedural liquid, environmentalism, MQL Method

Abstract:

Elimination of exploitation of procedural liquids that burden environment is one of actual tendency in cutting technology. Some experiments in this context were realised on Department of Machining and Assembly in Technical University of Liberec. Grinding without supply of procedural liquid and grinding with various sorts of procedural liquids were compared on grinding machine BPH 320A. Three various sort of supply of procedural liquid to grinding space were compared at the same time. Interesting knowledge was gained while using of applicator for cooling under minimum quantity of procedural liquid by MQL method Accu - lube. Influence of separate procedural liquids and method of their supply was judged of several aspects. Size of components of cutting forces at grinding, surface roughness of finished parts and residual stress in surface layer of sample parts by x-ray diffraction was evaluated.

