



ZJIŠŤOVÁNÍ VLIVU PROCESNÍCH KAPALIN NA JAKOST OBROBENÉHO POVRCHU PŘI VRTÁNÍ RŮZNÝCH MATERIÁLŮ

Diplomová práce

Studijní program: N2301 – Strojní inženýrství
Studijní obor: 2301T048 – Strojírenská technologie a materiály
Autor práce: **Bc. Petr Uždil**
Vedoucí práce: prof. Ing. Alexey Popov, DrSc.



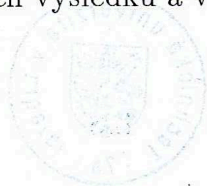
ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Petr Uždil**
Osobní číslo: **S14000658**
Studijní program: **N2301 Strojní inženýrství**
Studijní obor: **Strojírenská technologie a materiály**
Název tématu: **Zjišťování vlivu procesních kapalin na jakost obrobeného povrchu při vrtání různých materiálů**
Zadávací katedra: **Katedra obrábění a montáže**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Rešerše literárních poznatků o vlivu procesních kapalin na jakost obrobeného povrchu, definice pojmu drsnost povrchu, metody měření drsnosti povrchu, klasifikace procesních kapalin pro obrábění, vlastnosti a charakteristiky procesních kapalin.
2. Shrnutí poznatků o procesu vrtání různých materiálů.
3. Návrh metodiky experimentů pro zkoumání vlivu procesních kapalin na jakost obrobeného povrchu při vrtání různých materiálů v laboratořích KOM FS TUL.
4. Realizace experimentů v laboratořích KOM FS TUL.
5. Hodnocení vlivu procesních kapalin na jakost obrobeného povrchu při vrtání různých materiálů.
6. Shrnutí a zhodnocení dosažených výsledků a vyvození závěrů.



Rozsah grafických prací: dle potřeby
Rozsah pracovní zprávy: cca 50 - 60 stran textu
Forma zpracování diplomové práce: tištěná/elektronická
Seznam odborné literatury:

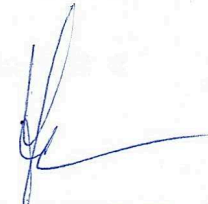
- [1] LICEK, R., POPOV, A. Modern fluids and tool materials for turning of construction steel. *Manufacturing Engineering. Rec. M. Havrila aj. roč. 10, červen 2011, č. 2., s. 42 - 44. ISSN 1335-7972.*
- [2] MÁDL, J. Řezné kapaliny v současné technologii obrábění. In: *Ekologie obrábění - Strojírenská technologie knihovnička. 1. vyd. 2000. s. 9 - 18. ISBN 80-7044-232-8.*
- [3] HUMÁR, A. *Materiály pro řezné nástroje. Rec. P. Holubář, V. Šída. 1. vyd. Praha: MM publishing s.r.o., 2008. ISBN 978-80-254-2250-2.*
- [4] SANDVIK Coromant, Sandviken: *Technická příručka obrábění, soustružení, frézování, vrtání, vyvrtávání, upínání nástrojů. 2005.601 s.*
- [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.*

Vedoucí diplomové práce: prof. Ing. Alexey Popov, DrSc.
Katedra obrábění a montáže
Konzultant diplomové práce: Ing. Miloslav Ledvina
Katedra obrábění a montáže

Datum zadání diplomové práce: 10. března 2015
Termín odevzdání diplomové práce: 10. června 2016


prof. Dr. Ing. Petr Lenfeld
děkan




doc. Ing. Jan Jersák, CSc.
vedoucí katedry

V Liberci dne 10. března 2015

Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Diplomovou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé diplomové práce a konzultantem.

Současně čestně prohlašuji, že tištěná verze práce se shoduje s elektronickou verzí, vloženou do IS STAG.

Datum:

Podpis:

Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkoval vedoucímu diplomové práce Prof. Ing. Alexeyi Popovovi, DrSc. za pomoc, důležité rady a konzultace při tvorbě práce.

Dále děkuji konzultantovi diplomové práce panu Ing. Miloslavu Ledvinovi za pomoc a cenné rady. Též děkuji panu Ing. Jiřímu Karáskovi za pomoc v laboratoři metrologie a dalším pracovníkům katedry obrábění a montáže, kteří podpořili tvorbu této práce.

Také bych rád poděkoval své rodině za velkou trpělivost a podporu při mém studijním úsilí. Děkuji všem ostatním, kteří mě podpořili při studiu a tvorbě této práce.

Bc. Petr Uždil

Zjišťování vlivu procesních kapalin na jakost obrobeného povrchu při vrtání různých materiálů.

ANOTACE:

Diplomová práce obsahuje informace o vrtání, drsnosti povrchu, procesních kapalinách a o tvorbě třísky. Tato práce se zabývá vlivem procesních kapalin na parametry drsnosti obrobeného povrchu při vrtání různých materiálů a sleduje vliv těchto kapalin na tvorbu třísky. Výsledky vlivu procesních kapalin jsou hodnoceny z hlediska drsnosti povrchu a tvorby třísky.

Klíčová slova: VRTÁNÍ, PROCESNÍ KAPALINY, DRSNOST POVRCHU

Investigating the influence of process fluids on the quality of the machined surface during drilling different materials.

ANNOTATION:

Diploma thesis contains information about drilling, surface roughness, process fluid and the creation of chips. This work deals the influence of process fluids on machined surface roughness parameters for drilling different materials and focuses the influence of these liquids on creation of chips. The results of process fluids are evaluated in terms of surface roughness and chip creation.

Keywords: DRILLING, PROCESS FLUIDS, SURFACE ROUGHNESS

Zpracovatel: TU v Liberci, KOM

Dokončeno: 2015

Archivní znač. zprávy:

Počet stran: 79

Počet příloh: 10

Počet obrázků: 44

Počet tabulek: 4

Počet grafů: 15

Katedra obrábění a montáže

Evidenční číslo práce: **KOM 1274**

Jméno a příjmení: **Bc. Petr UŽDIL**

Vedoucí práce: Prof. Ing. Alexey Popov, DrSc.
Konzultant: Ing. Miloslav Ledvina

Počet stran: 79
Počet příloh: 10
Počet tabulek: 4
Počet obrázků: 44
Počet diagramů: 15

Obsah

SEZNAM POUŽITÝCH ZNAČEK A SYMBOLŮ	10
ÚVOD.....	12
I. TEORETICKÁ ČÁST	13
1. REŠERŠE LITERÁRNÍCH POZNATKŮ O VLIVU PROCESNÍCH KAPALIN NA JAKOST OBROBENÉHO POVRCHU, DEFINICE POJMU DRSNOST POVRCHU, METODY MĚŘENÍ DRSNOSTI POVRCHU, KLASIFIKACE PROCESNÍCH KAPALIN PRO OBRÁBĚNÍ, VLASTNOSTI A CHARAKTERISTIKY PROCESNÍCH KAPALIN.....	13
1.1. Rešerše literárních poznatků o vlivu procesních kapalin na jakost obrobeného povrchu	13
1.2. Klasifikace procesních kapalin pro obrábění	15
1.2.1. Vodní roztoky	16
1.2.2. Emulzní kapaliny	16
1.2.3. Řezné oleje.....	16
1.2.4. Syntetické a polysyntetické kapaliny	16
1.3. Vlastnosti a charakteristiky procesních kapalin	17
1.4. Definice pojmu jakost povrchu	19
1.5. Metody měření drsnosti povrchu.....	21
1.5.1. Porovnávací metoda	21
1.5.2. Bezdotyková metoda	21
1.5.3. Dotyková metoda	22
2. SHRUTÍ POZNATKŮ O PROCESU VRTÁNÍ RŮZNÝCH MATERIÁLŮ	23
2.1. Proces vrtání	23
2.2. Vrtání různých materiálů	26
2.3. Třísky při vrtání různých materiálů	32
II. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST.....	36
3. NÁVRH METODIKY EXPERIMENTŮ PRO ZKOUMÁNÍ VLIVU PROCESNÍCH KAPALIN NA JAKOST OBROBENÉHO POVRCHU PŘI VRTÁNÍ RŮZNÝCH MATERIÁLŮ V LABORATOŘÍCH KOM FS TUL.....	36
3.1. Popis použitých strojů a přístrojů	36
3.2. Příprava experimentu	42
4. REALIZACE EXPERIMENTŮ V LABORATOŘÍCH KOM FS TUL.	46
4.1. Postup při obrábění	46
4.2. Postup při měření drsnosti.....	49
4.3. Postup při hodnocení vzniklé třísky při obrábění různých materiálů	50

5. HODNOCENÍ Vlivu PROCESNÍCH KAPALIN NA JAKOST OBROBENÉHO POVRCHU PŘI VRTÁNÍ RŮZNÝCH MATERIÁLŮ.....	51
5.1. Porovnání vlivu PK na parametr drsnosti R_a při vrtání různých materiálů.....	51
5.2. Porovnání vlivu PK na parametr drsnosti R_z při vrtání různých materiálů.....	54
5.3. Porovnání vlivu PK na parametr drsnosti C_{TP50} při vrtání různých materiálů.....	57
5.4. Porovnání vlivu PK na tvorbu třísky při vrtání různých materiálů.	60
6. SHRUTÍ A ZHODNOCENÍ DOSAŽENÝCH VÝSLEDKŮ A VYVOZENÍ ZÁVĚRŮ.....	63
Seznam použité literatury:	65
Seznam příloh:	68

SEZNAM POUŽITÝCH ZNAČEK A SYMBOLŮ

KOM	[-]	katedra obrábění a montáže
TUL	[-]	Technická univerzita v Liberci
ČSN	[-]	česká technická norma (česká soustava norem)
ISO	[-]	mezinárodní organizace pro normalizaci
SK	[-]	slinutý karbid
RO	[-]	rychlořezná ocel
HSS	[-]	rychlořezná ocel
PK	[-]	procesní kapalina
V_c	[m/min]	řezná rychlost
a_p	[mm]	hloubka záběru
f	[mm/ot]	rychlost posuvu
f_{ot}	[mm]	posuv na otáčku
n	[1/min]	otáčky
HB	[-]	tvrdost podle Brinella
HRC	[-]	tvrdost podle Rockwella
Re	[MPa]	mez napětí v kluzu
Rm	[MPa]	mez pevnosti v tahu
Ra	[μ m]	střední aritmetická úchylka profilu
Rz	[μ m]	výška nerovnosti profilu určená z 10 bodů
C_{tp50}	[μ m]	hloubka, ve které je podíl materiálu a vzduchu 1:1
L	[mm]	obráběná délka obrobku
D	[mm]	průměr nástroje

Cr	[-]	chemická zkratka chromu
C	[-]	chemická zkratka uhlíku
Mn	[-]	chemická zkratka manganu
Mo	[-]	chemická zkratka molibdenu
Ni	[-]	chemická zkratka niklu
Co	[-]	chemická zkratka kobaltu
Cu	[-]	chemická zkratka mědi
Al	[-]	chemická zkratka hliníku
Fe	[-]	chemická zkratka železa
V	[-]	chemická zkratka vanadu
W	[-]	chemická zkratka wolframu
N	[-]	chemická zkratka dusíku
Pb	[-]	chemická zkratka olova
S	[-]	chemická zkratka síry
P	[-]	chemická zkratka fosforu

ÚVOD

Procesní prostředí hrají vysokou roli při obrábění, proto je tato diplomová práce zaměřená právě na procesní kapaliny. Musíme dbát na vlastnosti a složení každé kapaliny, aby byla vhodně zvolená na metodu obrábění, použitý materiál obrobku a řezné podmínky. Vhodně zvolená procesní kapalina může pozitivně ovlivnit průběh obrábění, dokáže zmenšit řezné síly, odvádět teplo, efektivně odplavovat třísku, prodloužit životnost nástroje, zlepšit jakost obrobené plochy a mnoho dalších kladných vlivů.

V této práci je nejprve zpracována teoretická část, kde jsou shrnuty poznatky o vlivu procesních kapalin na jakost obrobeného povrchu. Rozdělení, vlastnosti a charakteristiky procesních kapalin pro obrábění. Dále je rozebrána integrita povrchu a její měření. Na závěr teoretické části jsou shrnuty poznatky o vrtání různých materiálů. Následuje experimentální část, kde bylo úkolem navrhnout metodu pro měření a analýzu procesních kapalin na drsnost povrchu a tvorbu třísky při vrtání různých materiálů.

Veškerá výzkumná práce vlivu procesních kapalin na jakost obrobeného povrchu, byla provedena v laboratořích katedry obrábění a montáže Technické univerzity v Liberci. K obrábění byly použity následující materiály: ocel, litina, mosaz a hliník. Pro obrábění byl zvolen nástroj z rychlořezné oceli šroubovitý vrták Ø 8 mm ČSN 22 1121.

Cílem této práce je porovnat a odzkoušet procesní kapaliny od světových výrobců jako jsou Paramo, Houghton, Cimcool a Blaser. Při vrtání různých materiálů. Zvolená procesní prostředí byla hodnocena ze dvou vlivů. Jednak z pozitivního vlivu na kvalitu obrobeného povrchu, tak i z hlediska tvorby třísky při totožných řezných podmínkách. Na závěr byla určena kapalina, která má nejlepší účinky na oba měřené parametry.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1. REŠERŠE LITERÁRNÍCH POZNATKŮ O VLIVU PROCESNÍCH KAPALIN NA JAKOST OBROBENÉHO POVRCHU, DEFINICE POJMU DRSNOST POVRCHU, METODY MĚŘENÍ DRSNOSTI POVRCHU, KLASIFIKACE PROCESNÍCH KAPALIN PRO OBRÁBĚNÍ, VLASTNOSTI A CHARAKTERISTIKY PROCESNÍCH KAPALIN.

1.1. Rešerše literárních poznatků o vlivu procesních kapalin na jakost obrobeného povrchu

Použití procesních kapalin při obrábění má pozitivní účinek na ovlivnění mnoha složek řezného procesu, které vedou ke zlepšení jakosti obrobeného povrchu. Napomáhá ke snížení teploty, k odvodu třísky z místa řezu, zvyšuje trvanlivost nástrojů, snižuje velikost řezných sil a ovlivňuje geometrickou a povrchovou jakost hotového výrobku. [3]

Řezné prostředí ovlivňuje množství tepla přecházejícího do obrobku, nástroje, třísky a množství tepla odváděné vlastní kapalinou. To znamená, že prostředí ovlivňuje takzvanou tepelnou bilanci obrábění. Snížením teploty v místě řezu se zároveň sníží možnost výskytu degradace mechanických vlastností nástrojového materiálu a následné ovlivnění trvanlivosti nástroje. [3]

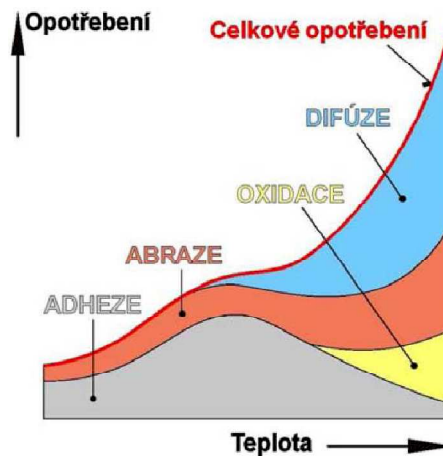


Obr. 1 Teplota a teplo v místě řezu [17]

Použití procesních kapalin má velký vliv na správnou tvorbu a odvod třísky z místa řezu. Jelikož tříška odvádí největší podíl vzniklého tepla z řezného procesu, musíme zabezpečit její plynulý odchod, tím zabráníme jejímu hromadění v místě řezu a případnému tepelnému ovlivnění obrobku a nástroje. Při špatném odvodu

třísky by mohla nastat situace takzvaného namotání třísky na nástroj nebo obrobek, které by mohlo vést ke zhoršení povrchové a geometrické přesnosti obrobku. [3]

Další z důležitých vlastností procesních kapalin je schopnost zpomalení rychlosti vzniku opotřebení, které má za následek zvýšení trvanlivosti řezných nástrojů. Jak již bylo uvedeno výše, kvalitní odvod tepla může vést k vyšší trvanlivosti nástroje. [3]



Obr. 2 Vliv teploty na jednotlivé mechanismy opotřebení [12]

Procesní kapaliny mají vliv na velikost řezné síly, ale je mnoho ovlivňujících faktorů. Jedním z největších je přívod a množství použité procesní kapaliny do místa řezu a také samozřejmě řezné podmínky a to hlavně řezná rychlost a posuv. [3]

Procesní kapalina zapříčiní změnu objemu plasticky deformované oblasti, zabrání tvorbě nárůstku na čele nástroje a to vede ke zlepšení drsnosti obrobenej plochy. Vhodné zvolení procesní kapaliny, může kladně ovlivnit faktory, na kterých je závislá jakost obrobenej povrchu. Může být ovlivněna rozměrová stálost, tvarová přesnost a jakost povrchu obrobku. [3]

Vliv na dosahovanou drsnost mají přísady, které působí na zlepšení řezného účinku. Důležitým parametrem procesních kapalin je správná koncentrace, která vede k výraznému zlepšení drsnosti výsledného povrchu oproti obrábění bez přivádění procesní kapaliny. [3]

Vliv na zpevnění povrchové vrstvy obrábenej materiálu je také výrazný v porovnání obrábění bez procesní kapaliny a s procesní kapalinou. Se zlepšováním řezných materiálů a zvyšováním řezných rychlostí se tloušťka zpevněnej vrstvy zvětšuje, proto je vhodné, že při obrábění s řeznou kapalinou se hloubka zpevněnej

vrstvy zmenšuje. Tento faktor si můžeme jednoduše určit porovnáním tvrdosti základního materiálu a tvrdosti povrchové vrstvy po obrábění, rozdíl tvrdostí může být až trojnásobný. Tento rozdíl se s použitím řezné kapaliny snižuje. [3]

Vliv na zbytková napětí v povrchové vrstvě po obrábění mají fázové změny, které jsou vyvolány plastickou deformací povrchové vrstvy za působení teploty řezání. Zbytková napětí mohou vzniknout tahová nebo tlaková, jsou závislá na charakteru energetického působení. Tlakové napětí je vyvoláno působením mechanických sil. Přivedeme-li procesní kapalinu do místa řezu, sníží se teplota a také dojde k ovlivnění zbytkových tahových napětí. Vlivem mazacího účinku řezné kapaliny zmenšíme tření a velikost řezné síly, tudíž dojde k ovlivnění tlakového napětí. [3]

U materiálů kde dochází k velkému zpevnění, mají procesní kapaliny ještě příznivější účinek na povrchovou vrstvu, jelikož napětí snižují. Toto se nejvíce projevuje při obrábění nástroji s negativním úhlem čela. V tomto případě, kdy při obrábění bez procesní kapaliny vznikala nežádoucí tahová napětí, se s přívodem procesní kapaliny změnila na tlaková napětí, která jsou z pohledu namáhání a únavy příznivější. [3]

1.2. Klasifikace procesních kapalin pro obrábění

Procesní kapaliny se dělí do dvou základních skupin, a to s převyšujícím chladícím nebo mazacím účinkem. Dnes je toto rozdělení zanedbatelné, jelikož se stávající výrobci procesních kapalin snaží vyvíjet kapaliny takové, kde se prolnou tyto dva účinky současně. [5,16]

Řezné kapaliny se dále dělí:

- vodní roztoky
- emulzní kapaliny
- řezné oleje
- syntetické a polysyntetické kapaliny

1.2.1. Vodní roztoky

Tyto roztoky jsou nejlevnější a nejjednodušší řezné kapaliny, ale další pozitivní vlastnosti už nemají. Před použitím těchto roztoků se musí udělat řada úprav. Základní přísady jsou změkčovadla, přísady proti korozi a pěnivosti, přísady pro zlepšení smáčivosti. Roztoky na vodní bázi musí být vždy alkalické. Nevýhodou těchto roztoků je případné rozmnožování bakterií, následný kal a zápach kapaliny. Tyto roztoky se vyznačují velmi dobrým chladícím a čistícím účinkem, ale s minimálním mazacím účinkem. [5,16]

1.2.2. Emulzní kapaliny

Emulzní kapaliny jsou disperzní soustavy jemných kapek oleje rozptýlených ve vodě. Aby se tato směs stabilizovala, musí se přidat další přísady, které jsou tzv. emulgátory zmenšující mezipovrchové napětí, inhibitory koroze, biocidy, fungicidy, odpěňovače a aditiva která zlepšují proces obrábění. Tyto kapaliny slučují přednosti vody a mazacích olejů, ale s přibývajícím koncentrací olejů klesá chladící účinek. Emulze jsou nejpoužívanější řezné kapaliny. [5,16]

1.2.3. Řezné oleje

Řezné oleje jsou minerální oleje, převážně zušlechtěné přísadami zvětšujícími mazací účinek a tlakovou únosnost. Jejich účinek je především mazací, používá se jich při požadavku velké trvanlivosti ostří nástroje a malé drsnosti obráběného povrchu. [5,16]

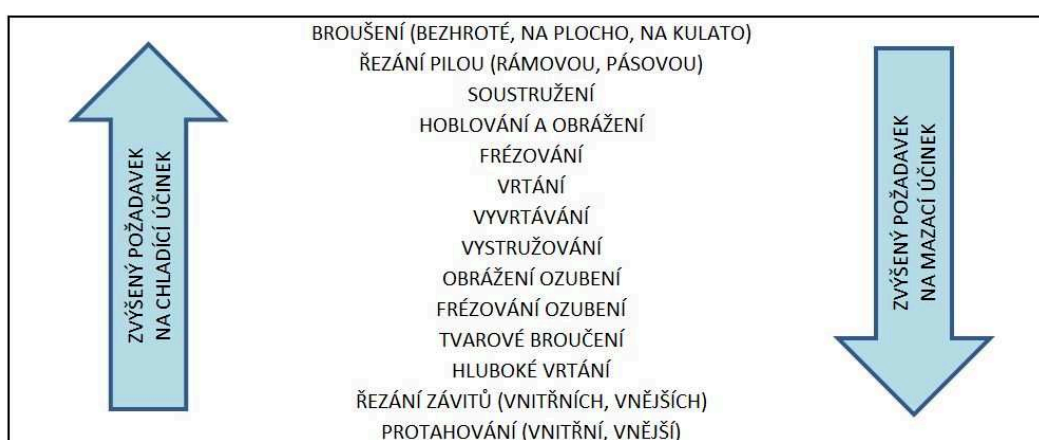
1.2.4. Syntetické a polysyntetické kapaliny

Tyto řezné kapaliny se vyznačují velkou provozní stálostí. Nejčastěji jsou rozptýlené ve vodě. Jejich výhody jsou v dobrých mazacích, chladicích a ochranných účincích. Tyto kapaliny neobsahují minerální oleje, jejich hlavní složkou jsou rozpouštědla (glukoly), které se ve vodě rozpustí nebo emulgují.

Syntetické řezné kapaliny umožňují rovněž rozptýlení olejů, čímž vznikne polysyntetická kapalina, která má velice příznivé mazací schopnosti. [5,16]

1.3. Vlastnosti a charakteristiky procesních kapalin

- Chladicí účinek
- Mazací účinek
- Čistící účinek
- Provozní stálost
- Ochranný účinek
- Přiměřené náklady
- Zdravotní nezávadnost



Obr. 3 Doporučené požadavky na procesní kapaliny [15]

Chladicí účinek vyjadřuje schopnost řezné kapaliny odvádět teplo z místa řezu. Chladicí účinek má každé prostředí, které je schopné se smáčet s povrchem kovů, nastane tepelný spád a odvod tepla. Teplo se odvede z nástroje, obrobku a třísky. Díky odvodu tepla se sníží teplota řezu a tím se zlepší trvanlivost nástroje a kvalita obrobené plochy. Účinek chlazení závisí na smáčecí schopnosti, výparném teple, tepelné vodivosti a průtokovém množství chladicí kapaliny. Vysoké odpaření řezné kapaliny je nežádoucí. [5,16]

Mazací účinek je schopnost řezné kapaliny vytvořit na nástroji a obrobku tenkou vrstvu, která zapříčiní přímému styku nástroje a obrobku. Snížením tření se zmenší i řezné síly, snížení spotřeby energie, zlepšení kvality obrobené plochy a také se sníží plastické deformace v místě řezu. Mazací schopnost řezné kapaliny na viskozitě a pevnosti vzniklé mezní vrstvy. Negativně se projeví vyšší viskozita, která

zhorší průnik kapaliny do místa řezu, odvod tepla a tím i její proudění. U kapalin s vyšší viskozitou se také projeví vyšší ztráty, kapalina zůstává na třískách. Pevnost mazací vrstvy se dá zlepšit přísadami povrchově aktivních látek, které pronikají do trhlin a usnadňují proces obrábění. [5,16]

Čistící účinek řezné kapaliny je důležitý k odplavení třísek z místa řezu. Důležité je, aby byla kapalina řádně vyčištěna pomocí čistících a filtračních zařízení, než se vrátí zpět do místa řezu. Špatně vyčištěná kapalina by mohla zapříčinit zhoršení kvality obrobené plochy. Čistící účinek je nejvíce znatelný při broušení, řezání závitů a vrtání hlubokých děr. [5,16]

Provozní stálost řezné kapaliny je dána dobou, kdy musí být vyměněna. Kapalina po dlouhodobém používání může ztratit své kladné vlastnosti a tím se znehodnotí a zhorší se i kvalita obrobené plochy, trvanlivost nástroje. [5,16]

Ochranný účinek dbá na to, aby obrobky nepodléhaly korozi mezi jednotlivými úseky výroby, toho se dá docílit pomocí přísad, které ochrání obrobky proti korozi. Dalším důležitým ochranným požadavkem procesních kapalin je aby nerozpouštěly nátěry, gumové a plastové díly stroje. [5,16]

Přiměřené náklady jsou nejvíce spjaty se spotřebou řezné kapaliny. Při zavádění nové kapaliny do výroby se musí provést rozbor nákladů a zjistit jaké příznivé vlivy má na proces obrábění. Musí se brát ohled i na její provozní stálost, spotřebu a také brát v potaz i náklady na její případnou ekologickou likvidaci. [5,16]

Zdravotní nezávadnost je důležitá z pohledu obsluhy, obsluha přijde skoro vždy do styku s procesní kapalinou. Proto nesmí být řezná kapalina zdraví škodlivá a nesmí obsahovat jedovaté látky a látky dráždící pokožku a sliznici. Z těchto aspektů je nutné dbát na základní hygienická opatření. [5,16]

1.4. Definice pojmu jakost povrchu

Proces obrábění je velice rozmanitý proces, který na sebe váže celou řadu závislostí, podmínek a omezení. Technologie obrábění zahrnují celou škálu strojů a nástrojů, ale mají jedno společné. Při všech obráběcích procesech vzniká nový povrch. Tento povrch se nazývá obrobená plocha, která má určité vlastnosti. Tyto vlastnosti jsou závislé na použité technologii, stanovených řezných podmínkách a řezném prostředí. Existuje tedy mnoho faktorů, které musí být uvažovány, aby se zachovaly parametry jednotlivých složek jakosti povrchu a nedošlo k negativním vlivům. [7,16]

Na jakost povrchu obrobené plochy mají největší vliv tyto faktory:

- drsnost povrchu
- přesnost rozměrů a tvarů
- vlastnosti povrchové vrstvy
- mikrostruktura povrchu

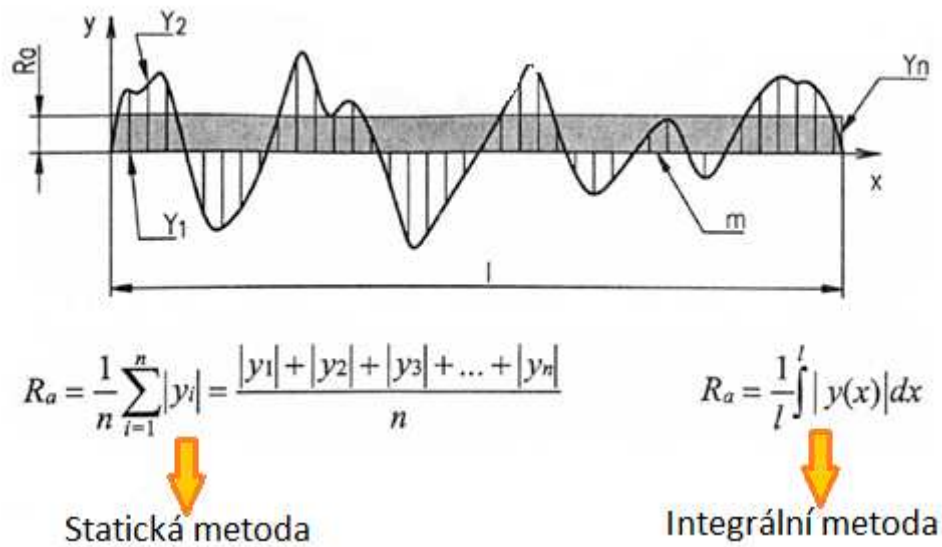
Drsnost povrchu

Je to důležitý faktor zejména pro dynamicky namáhané součásti. Horší jakost kvality povrchu má nepříznivé účinky na únavu materiálu. Obrobená plocha není nikdy ideálně hladká a určují ji stupně drsnosti. Tyto stupně se určí mikronerovnostmi vzniklými při obrábění. Drsnost povrchu je způsobena stopami od břítu nástroje. [6,8,16]

Drsnost závisí především na těchto vlivech:

- Druh obráběného materiálu
- Materiál a tvar břítu nástroje
- Způsob obrábění
- Řezné podmínky
- Tuhost soustavy stroj, nástroj, obrobek a přípravek
- Procesní prostředí
- Opotřebení nástroje

Metodika hodnocení drsnosti povrchu udává norma ISO 486:



Obr. 4 Metodika hodnocení drsnosti povrchu [6,8]

Parametry určující drsnost povrchu:

R_a - střední aritmetická úchylka profilu

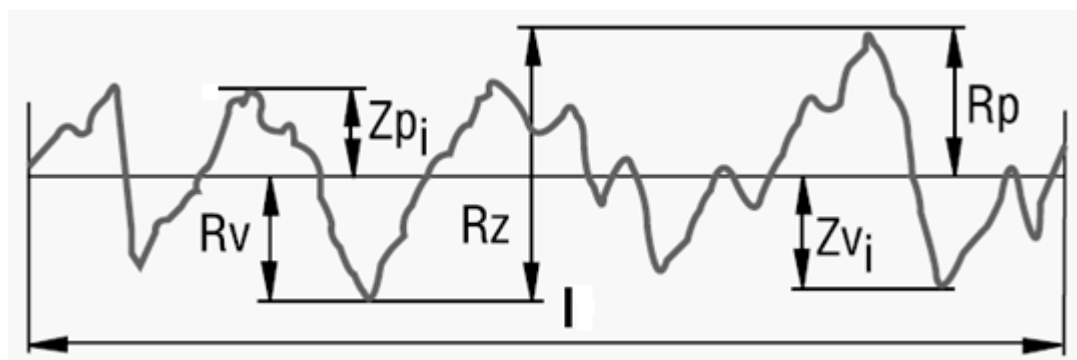
R_z - největší výška profilu

R_p - největší výška výstupku

R_v - největší hloubka prohlubně profilu

C_{tp50} - hloubka, ve které je podíl materiálu 50% a okolního vzduchu 50%

l - délka měřeného vzorku



Obr. 5 Výškové parametry profilu R_v , R_z , R_p

1.5. Metody měření drsnosti povrchu

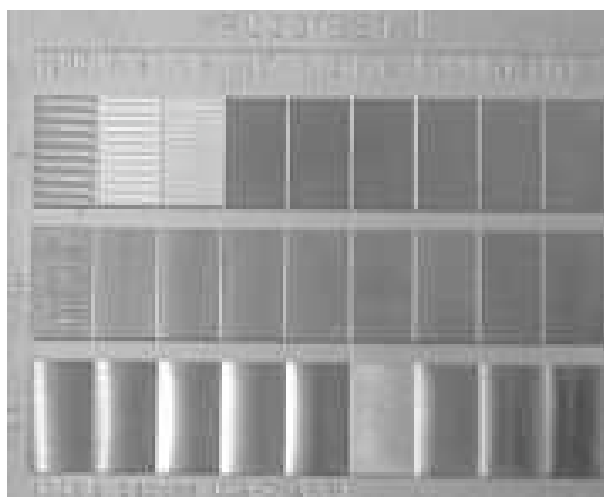
Jsou tři základní metody pro měření drsnosti a to porovnávací metoda, dotyková a bezdotyková metoda. [9,16]

1.5.1.Porovnávací metoda

Nejprimitivnější metoda je založená na lidských smyslech, posuzuje obrobenou plochu s příslušnými etalony se stejnou hodnotou drsnosti. Toto se používá pro orientační měření ve výrobě. [9,16]

Při této metodě se musí dodržet jistá pravidla:

- stejný nebo podobný materiál obou porovnávaných vzorků
- určit stejný směr trajektorie obrábění vzorků
- porovnávat vzorky za stejných pozorovacích podmínek



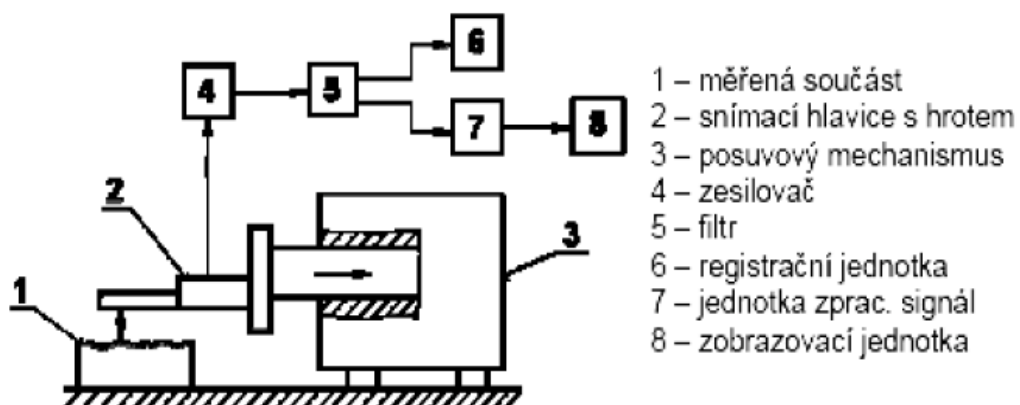
Obr. 6 Vzorkovnice drsností (etalony) pro porovnávací metodu

1.5.2.Bezdotyková metoda

Tato metoda je založena na světelném řezu. Světelný paprsek prochází soustavou čoček objektivu pod úhlem 45° na měřený povrch. Vznikne obraz profilu šikmého řezu nerovnosti plochy, který se dále pozoruje. Pomocí speciálních okulárů je možné odečíst příslušné hodnoty, které se dále vyhodnocují. [9,16]

1.5.3. Dotyková metoda

Dotykové profiloměry jsou nejdokonalejšími a nejrozšířenějšími přístroji pro měření drsnosti. Základem této metody je dotyk, který se posouvá po měřeném vzorku. Dotyk zaznamenává výškové změny způsobené nerovnostmi povrchu. Informace z dotyku se přes speciální vyhodnocovací jednotky zpracují a v příslušném softwarovém vybavení se snadno vyhodnotí veškeré výsledky a charakteristiky drsnosti povrchu. [9,16]

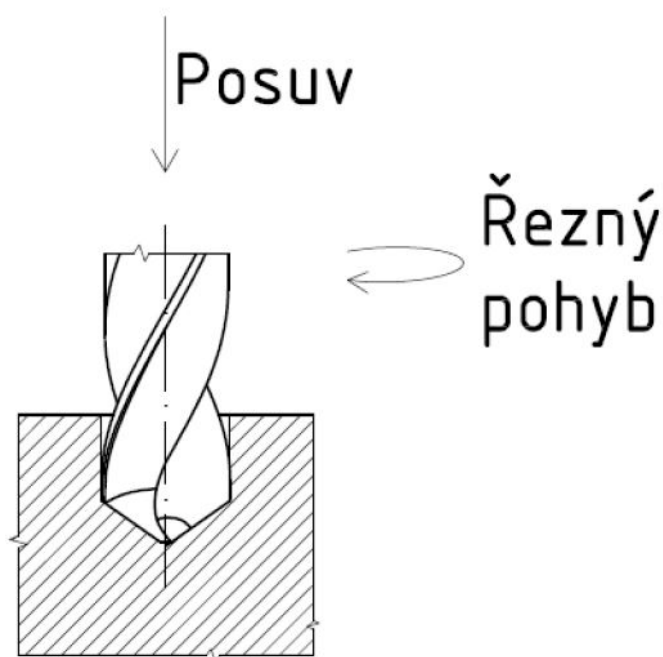


Obr. 7 Princip měření dotykovým profilometrem[9]

2. SHRUTÍ POZNATKŮ O PROCESU VRTÁNÍ RŮZNÝCH MATERIÁLŮ

2.1. Proces vrtání

Jedná se o jednu z nejrozšířenějších technologií obrábění sloužící k výrobě vnitřních ploch strojních součástí. Touto metodou se zhotovují otvory do plného materiálu nebo se rozšiřují předem připravené díry. Připravené mohou být předvrtáním, předlitím, předlisování a dalšími, jak třískovými, tak i netřískovými metodami. Nástroj se nazývá vrták, ten koná hlavní řezný rotační pohyb, ale v některých případech může vykonávat hlavní řezný pohyb obrobek, jako například u soustružení. Vedlejší pohyb je přímočarý posuvný ve směru osy nástroje, který vykonává také nástroj. Při procesu obrábění je v převážné většině osa nástroje kolmá na obráběnou plochu. [2,12]



Obr. 8 Hlavní a vedlejší pohyb při vrtání[2]

Vrtané otvory rozdělujeme do dvou skupin a to na průchozí díry a neprůchozí díry, takzvané slepé. Průchozí díry se obrábí snadno, ale je vhodné, zajistit odostření otřepu otvoru, po vyjetí nástroje. U neprůchozích děr musíme dbát na dostatečnou hloubku otvoru a to i s ohledem na konečnou kuželovou plochu, která vzniká špičkou vrtáku, dalším rizikem je zbylá tříska na dně otvoru, tomuto riziku se předejde, když zastavíme posuv a necháme nástroj vykonat několik otáček, ten zbylé třísky odřízne. [2,12]

Nástroje pro vrtání

Charakteristickým znakem vrtacích nástrojů na otvory je, že v ose nástroje je nulová obvodová rychlost, tato obvodová rychlost se zvětšuje až na její maximum, které je na největším jmenovitém průměru nástroje. Rychlost na jmenovitém průměru se považuje za řeznou rychlost vrtání. [2,12]

- šroubovitě vrtáky
- kopinaté vrtáky
- středící vrtáky
- dělové a hlavňové vrtáky
- vrtací hlavy a ejektorové vrtáky
- sdružené vrtáky a odstupňované vrtáky
- vrtáky s vyměnitelnými destičkami nebo špičkou a jiné



Obr. 9 Ukázka nástrojů pro vrtání

Druhy vrtání

- Navrtávání začátku díry středícím vrtákem do plného materiálu [12]
- Vrtání krátkých děr, kde poměr $D/L = 1/5 \div 1/10$ (D – průměr díry, L – délka díry) do plného materiálu. K těmto operacím se využívají vrtáky šroubovitě, kopinaté, s vyměnitelnými špičkami a s vyměnitelnými břitovými destičkami. [12]
- K vrtání děr do předpracovaných otvorů se používají stejné nástroje jako při vrtání krátkých děr do plného materiálu. Výjimečně se využívají dělové vrtáky. [12]
- K vrtání hlubokých děr, kde je poměr $L/D > 1/10$, se do plného nebo předpracovaného materiálu používají vrtáky dělové, ejektorové vrtání děr malých průměrů se mohou použít vrtáky šroubovitě. [12]
- Vrtání „na jádro” – jedná se o odřezávání obráběného materiálu ve tvaru mezikruží jednobřítým nebo vícebřítým korunkovým vrátkem. Používá se pro vrtání průchozích děr převážně větších průměrů. [12]
- Speciální druhy vrtání, například vrtání děr do plechu termálním tvářecím vrtákem, vrtání odstupňovaných děr odstupňovaným vrtákem, vrtání díry se současným vystružováním, závitováním, zahlubováním nebo hlazením sdruženými nástroji. [12]
- Vrtání do těžkoobrobitelných, kompozitních a nekovových materiálů jako jsou například pryž, beton, kámen, cihly, pomocí vrtáků se provádí nástroji se speciální konstrukcí nebo geometrií. [12]

2.2. Vrtání různých materiálů

Při vrtání různých materiálů je nutností porovnat jednotlivé materiály z pohledu obrábění a k tomuto porovnání nám slouží obrobitelnost materiálu.

Obrobitelnost materiálů

Obrobitelnost materiálu je schopnost materiálu obrobku být obráběn, s tím související opotřebení vznikající na břitu a výslednou kontrolu utváření třísky, které je možné dosáhnout. Obrobitelnost je v technologii obrábění kovů široce rozšířený výraz. Je to systémová vlastnost, která vyjadřuje, jak efektivní může být obrábění při nízkých nákladech a za daných technologických podmínek. I když je obrobitelnost ovlivněna mnoha faktory (materiál obrobku, řezné nástroje a řezné podmínky, strojní vybavení, strategie řezného procesu, upnutí obrobků a nástrojů, způsob chlazení, odborné znalosti technologů), obvykle se hovoří o obrobitelnosti jako o vlastnosti materiálu. [18,19]

V tomto ohledu, je obrábění nízkolegované uhlíkové oceli jednodušší, než je tomu v případě na obrábění náročnější austenitické korozivzdorné oceli. Proto je nízkolegovaná uhlíková ocel považována za lépe obrobitelnou ve srovnání s korozivzdornou ocelí. Pojem “dobrá obrobitelnost” proto obvykle znamená klidný průběh obráběcího procesu a přiměřenou životnost nástroje. Určení obrobitelnosti určitého materiálu se ve většině případů provádí praktickými zkouškami, přičemž výsledky jsou udávány ve vztahu k jiné zkoušce pro jiný typ materiálu za přibližně stejných podmínek. Při těchto zkouškách je třeba uvážit také další činitele, jako například mikrostrukturu, sklon k ulpívání na břitu, typ obráběcího stroje, stabilitu, hlučnost, životnost nástroje. [18,19]

Obráběný materiál	Třída obrobitelnosti	Materiál nástroje	Šroubovitě vrtáky		Dělové vrtáky		Vrtáky s VBD	
			$v(m \cdot mm^{-1})$	fo(mm)	$v(m \cdot mm^{-1})$	fo(mm)	$v(m \cdot mm^{-1})$	fo(mm)
Ocel 500-800MPa	13-14b	RO	25-30	0,1-0,5	20-30	0,05-0,5		
		SK	50-70	0,05-0,2	80-100	0,07-0,5	200-300	0,04-0,1
Ocel 800-1000MPa	11-12b	RO	10-20	0,01-0,3	15-25	0,05-0,3		
		SK	40-60	0,05-0,1	60-100	0,07-0,5	170-250	0,06-0,2
Šedá litina 200HB	11a	RO	10-25	0,1-0,8				
		SK	40-100	0,1-0,5			210-280	0,1-0,2
Slitiny Cu 90HB		RO	40-70	0,12-0,4				
		SK	80-100	0,08-0,3			250-350	0,05-0,2
Slitiny Al 100HB		RO	120-200	0,15-0,5				
		SK	200-300	0,15-0,4			250-400	0,05-0,2

Tab. 1 Doporučené řezné podmínky při vrtání různých materiálů[2]

Faktory ovlivňující obrobiteľnosť materiálu

Vlastnosti obráběného materiálu

Vlastnosti obráběného materiálu, které významně ovlivňují řezný proces, můžeme rozdělit do sedmi základních skupin. [19]

Mechanické vlastnosti: Obrábění je proces deformace, čili přetváření materiálu obrobku. Tvrdost je odolnost proti deformaci. Vysoká tvrdost materiálu obrobku znamená vysoké řezné síly. [19]

Chemické složení (obsah legujících prvků): Při obrábění je odebraný materiál odváděn po čele nástroje. Například mangan je velmi abrazivní materiál. Obrobek s vyšším obsahem manganu v materiálu způsobí větší opotřebení nástroje. [19]

Negativní prvky	Mn	Ni	Co	Cr	V	0,3% < C > 0,6%	Mo	Nb	W
Pozitivní prvky		Pb	S	P		C 0,3 - 0,6 %			

Obr. 10 Všeobecný vliv legujících prvků na obrobiteľnosť [2]

Tepelné vlastnosti: Při správném obráběcím procesu je náležitě regulováno vytváření tepla a následně vysoké teploty v oblasti řezu. To v praxi znamená, že teplo musí být odváděno třískami. Pokud má ale materiál obrobku nízkou tepelnou vodivost, není to tak snadné a odvod tepla musí zajistit procesní kapalina. [19]

Vměstky: Vměstky vytvářejí tvrdé části, jejichž následkem je větší opotřebení nástroje a riziko vylomení řezné hrany. [19]

Sklon k mechanickému zpevnění: Při prvním řezu může dojít ke zpevnění v povrchové vrstvě obráběného materiálu. Druhý řez se s tím následně musí vypořádat. [19]

Struktura materiálu: Některé materiály jsou snadněji obrobiteľné než jiné. Například při obrábění austenitických materiálů dochází k tvorbě třísek nepravidelného tvaru. To představuje obtížnější kontrolu utváření třísky. [19]

Původ materiálu: Jak důsledně jsou materiálové normy dodržovány dodavatelem materiálu. [19]

Ostatní faktory ovlivňující obrobiteľnosť

Ale jak již bylo zmíněno, obrobiteľnosť nezávisí pouze na vlastnostech obráběného materiálu ale i zbylých činitelích řezného procesu jako jsou:

- metoda obrábění
- stroj a upnutí
- řezné podmínky
- pracovní prostředí
- geometrie nástroje
- druh a vlastnosti nástroje a nástrojového materiálu
- lidský faktor

Metody stanovení obrobiteľnosti materiálů

Z hlediska charakteristik obrobiteľnosti a řezivosti je možné obrobiteľnosť a řezivost rozdělit na obrobiteľnosť a řezivost absolutní a relativní. Nutno podotknout, že obrobiteľnosť a řezivost spolu úzce souvisí a řada kritérií obrobiteľnosti je současně i kritérií řezivosti. [13]

Absolutní obrobiteľnosť, resp. řezivost je charakterizována buď funkčním vztahem a parametry spolu souvisejícími, nebo určitou velikostí dané veličiny charakterizující obrobiteľnosť, resp. řezivost. [13]

Relativní obrobiteľnosť, resp. řezivost je charakterizována bezrozměrnými čísly, která udávají poměr velikostí určité veličiny, a sice poměr velikosti této veličiny vztahující se k danému materiálu obrobku, resp. k nástroji a velikostí této veličiny odpovídající etalonovému materiálu obrobku, resp. nástroji. [13]

Existuje několik možností jak rychle, dostatečně přesně a objektivně stanovit obrobiteľnosť pro zatím neznámé kombinace materiálů – nově vyvinutý řezný a rovněž doposud „neotestovaný“, vysoce houževnatý (pevný a tvrdý) obráběný materiál. Jedná se konkrétně o tyto vybrané, níže uvedené možnosti:

- míra závislosti na řezné rychlosti
- dosažená drsnost obroběné plochy

- velikost opotřebení bříty nástroje
- množství energie potřebné k odřezání dané vrstvy materiálu
- vztah k dosahované teplotě řezání
- druh a tvar tvořící se třísky

Značení obrobiteľnosti materiálů

Pokud je obrobiteľnost posuzována hodnotou úběru obráběného materiálu (velikost objemu materiálu odebraná za jednotku času) pomocí daného nástroje při smluveném konstantním průřezu třísky, v daném řezném prostředí. Pro potřeby vyhodnocování obrobiteľnosti jsou technické konstrukční materiály rozděleny do devíti základních skupin, označovaných malými písmeny:

a – litiny

b – oceli

c – těžké nezelezné kovy (měď a slitiny mědi)

d – lehké nezelezné kovy (hliník a slitiny hliníku)

e – plastické hmoty

f – přírodní nerostné hmoty

g – vrstvené hmoty

v – tvrzené litiny pro výrobu válců

V jednotlivých skupinách je vždy vybrán jeden konkrétní materiál, který slouží jako etalon obrobiteľnosti a ve vztahu k tomuto materiálu je pak stanovována relativní obrobiteľnost všech ostatních materiálů celé skupiny. [13]

Třídy jsou označovány číslem umístěným před písmeno, které určuje danou skupinu materiálů (např. 11a. 14b. atd.). Odstupňování střední hodnoty indexu obrobiteľnosti v jednotlivých třídách je dáno geometrickou řadou s kvocientem $q = 1,26$ (třída referenčního (etalonového) materiálu má hodnotu $q = 1$), což znamená, že hodnota řezné rychlosti dané třídy je vždy 1,26 krát vyšší (nižší), než hodnota v sousední třídě. Materiály v třídách s nižším číslem, než má třída referenčního (etalonového) materiálu mají horší obrobiteľnost než referenční (etalonový) materiál.

Relativně nejhorší obrobiteľnosť (nejnesnadnejši se obrábějící) v dané skupině má vždy materiál zařazený do třídy s nejnižším číslem. Nejlepší obrobiteľnosť má materiál zařazený do třídy s nejvyšším číslem. [13]

Značení obrobiteľnosti dle ISO systému

Používané materiály byly rozděleny do šesti hlavních skupin v souladu se standardy ISO, každá tato skupina má specifické vlastnosti z hlediska obrobiteľnosti:



Obr. 11 Skupiny obráběných materiálů dle ISO [18]

ISO P – Oceli představují největší skupinu materiálů pro oblast obrábění kovů a dále se dělí do skupin od nelegovaných až po vysokolegované materiály, včetně ocelí na odlitky a feritických a martenzitických korozivzdorných ocelí. Obrobiteľnosť je obvykle dobrá, ale značně se liší v závislosti na tvrdosti materiálu, obsahu uhlíku, atd. [18]

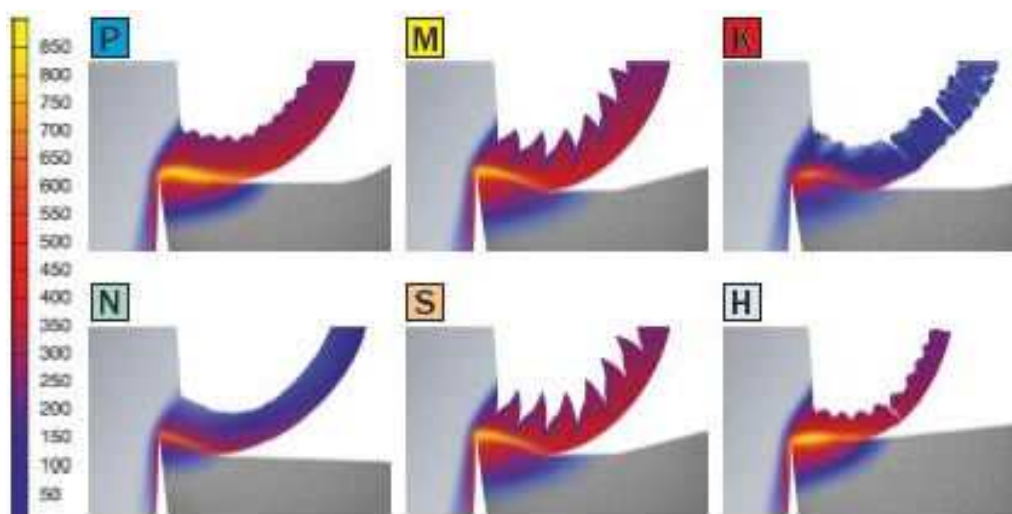
ISO M – Korozivzdorné oceli jsou materiály s přísadou minimálně 12% chromu, mezi ostatní přísady patří nikl a molybden. Různé druhy, jako například feritické, martenzitické, austenitické a austeniticko-feritické (duplexní), dohromady tvoří velkou skupinu. Společnou vlastností všech těchto typů je, že břity jsou vystaveny účinkům velkého množství tepla, opotřebení ve tvaru vrubu a tvoření nárůstu. [18]

ISO K – Litina, na rozdíl od oceli, je typem materiálu, který tvoří krátké třísky. Obrábění šedé litiny a temperované litiny je skutečně jednoduché, zatímco obrábění nodulární litiny, kompaktní litiny s červíkovým grafitem a izotermicky kalené litiny je mnohem obtížnější. Všechny litiny obsahují SiC, který působí velice abrazivně na břit. [18]

ISO N – Neželezné kovy jsou měkčí kovy, jako například hliník, měď nebo mosaz atd. Hliník s obsahem Si 13% je velice abrazivní. Obecně je u břitových destiček s ostrými břity možné předpokládat použití vysokých řezných rychlostí a dlouhou životnost nástroje. [18]

ISO S – Žárovzdorné superslitiny zahrnují celou řadu vysokolegovaných ocelí a materiály na bázi niklu, kobaltu, a titanu. Tyto materiály snadno ulpívají na břitu a tvoří nárůstek, během obrábění dochází k jejich zpevňování (mechanické zpevňování) a během jejich obrábění vzniká velké množství tepla. Jejich vlastnosti jsou velmi podobné jako u oblasti ISO M, ale jejich obrábění je ještě mnohem obtížnější a životnost břitu je kratší. [18]

ISO H – Tato skupina zahrnuje oceli o tvrdosti mezi 45-65 HRC a také tvrzené litiny v rozmezí 400-600 HB. Jejich tvrdost činí všechny tyto materiály obtížně obrobitelnými. Při jejich obrábění vzniká velké množství tepla a na břit působí velice abrazivně. [18]



Obr. 12 Teploty (°C) v místě řezu při obrábění SK různých skupin dle ISO [18]

Pro názornost je v příloze 4, 5, 6 přidána převodní tabulka mezi typy značení obrobitelnosti a tvrdostmi materiálů.

2.3. Třísky při vrtání různých materiálů

Většina vrtáků má dva břity a dvě drážky pro odvod třísek. U vrtání je jedním z nejdůležitějších požadavků procesu, kvalitní a včasný odvod třísek z místa řezu. Utváření třísek a jejich odvádění z díry, je třeba při vrtání vnímat, jako naprosto rozhodující otázku. Závisí na obráběném materiálu, zvoleném vrtáku a jeho geometrii, tlaku a množství řezné kapaliny a na řezných podmínkách. [2,18]

Hromadění třísek může být příčinou vychýlení vrtáku v radiálním směru a může ovlivňovat kvalitu díry, životnost vrtáku a jeho spolehlivost, nebo být příčinou lomu vrtáku. [2,18]



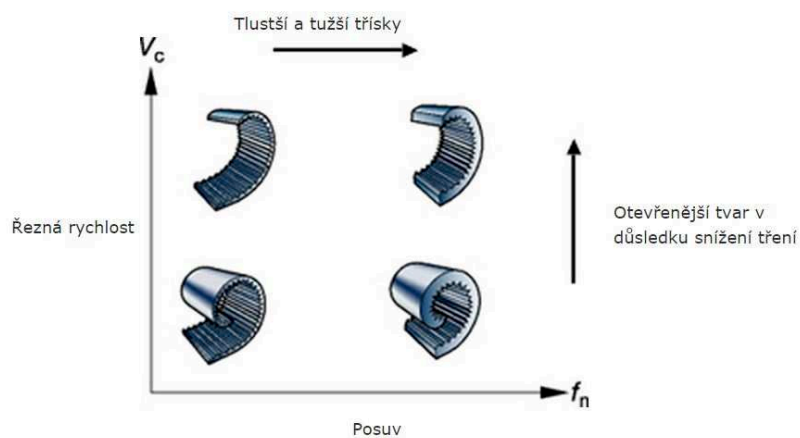
Obr. 13 Porovnání otvorů s dobrým (vlevo) a špatným odvodem třísky [18]

Za vhodné utváření třísek lze považovat, pokud vrták odvádí třísky bez zjevných problémů. Nejlepším způsobem, jak zjistit, zda dochází k vhodnému utváření třísek, je poslouchat zvuky, které nástroj vydává během vrtání. Pokud nástroj vydává spojitý zvuk, odvádění třísek probíhá správně, pokud je ale zvuk vydávaný nástrojem přerušovaný, signalizuje to, že dochází k hromadění třísek. Provádějte kontrolu síly posuvu nebo monitorování výkonu stroje. Pokud dochází ke kolísání, může být jeho příčinou hromadění třísek. Zkontrolujte třísky. Jestliže jsou třísky rovné nebo ohnuté, aniž by byly stočené do spirály, dochází k jejich hromadění. Zkontrolujte díru. Pokud dochází k hromadění a zasekávání třísek, povrch obrobené díry se jeví jako hrubý a nerovnoměrný. [2,18]

Zásady proti hromadění třísek:

- Volba správných hodnot řezných parametrů a vhodné geometrie vrtáku
- Provádějte kontrolu tvaru třísek – upravte posuv a řeznou rychlost
- Zkontrolujte průtok a tlak řezné kapaliny
- Provádějte kontrolu břitů. Dochází-li k vylamování ostří, mohou v důsledku toho vznikat dlouhé třísky, které se špatně dělí
- Ověřte, zda u nové dávky obrobků nedošlo ke změně obrobitelnosti – upravte řezné podmínky

Diagram utváření třísky ukazuje, jak se dá řeznými podmínkami ovlivnit tvar a tloušťka třísky. Každý materiál potřebuje několik zkušebních testů, různých kombinací řezných rychlostí a posuvů, aby se našla vhodná oblast kombinací řezných podmínek pro ideální tvorbu třísky. [2,18]



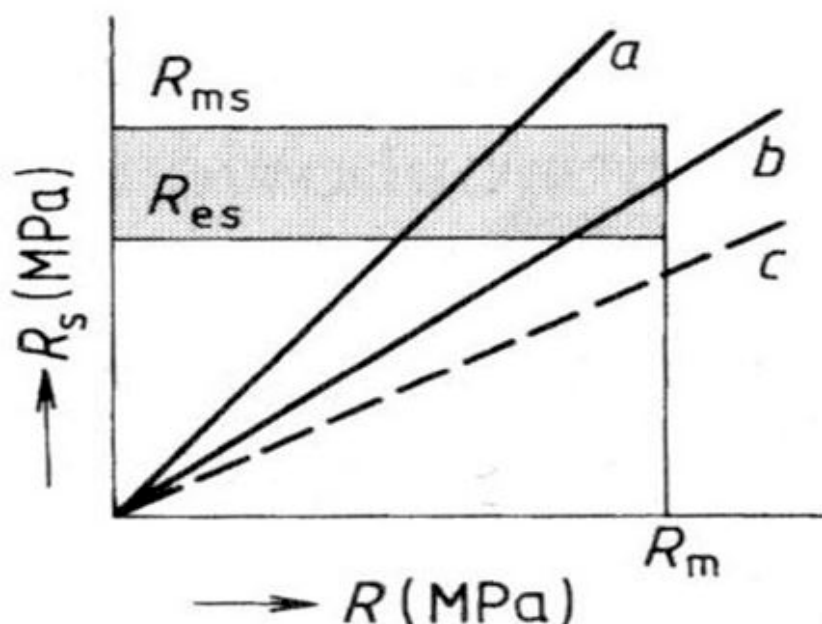
Obr. 14 Závislost tvorby třísky na posuvu a řezné rychlosti [18]

Druhy třísek obráběných materiálů

Tvářená tříška vzniká při namáhání podle přímky a. Tečné napětí dosáhne meze kluzu ve stříhu R_{es} a meze pevnosti ve stříhu R_{ms} dříve než normálové napětí meze pevnosti v tahu R_m . Materiál odřezávané vrstvy se intenzivně plasticky tváří a pak odděluje. Vzniká tříška tvářená plastickým kluzem. Je soudržná, celistvá a může být celistvá, nebo článkovitá. Je typická při obrábění ocelí, slitin hliníku, mědi a podobných houževnatých kovových materiálů. [18,20]

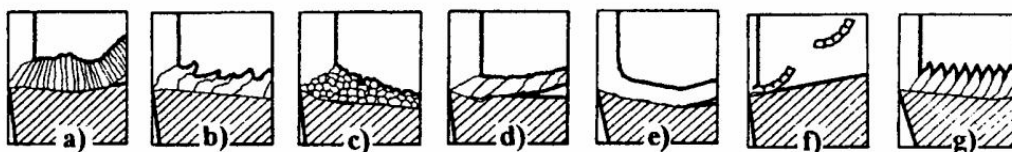
Netvářená tříška vzniká, při namáhání podle přímky c. Dosáhneme normálového napětí meze pevnosti v tahu R_m , dříve než tečné napětí meze kluzu ve stříhu R_{es} . Materiál odřezávané vrstvy je odtržen, aniž by byl tvářen. Vzniká tříška štěpením bez předchozího tváření (typické pro dřevo, sklo, lité horniny a plasty). Je to elementární tříška vytrhávaná. Netvářená tříška nemá další rozdělení. [18,20]

Částečně tvářená tříška vzniká při namáhání podle přímky b. Normálové napětí dosáhne meze pevnosti v tahu R_m dříve než tečné napětí meze pevnosti ve stříhu R_{ms} , ale později než meze stříhu R_{es} a materiál je před odtržením částečně tvářen. Vzniká elementární, částečně tvářená tříška. Typická pro obrábění litiny, bronzu a podobných křehkých kovových materiálů. [18,20]



Obr. 15 Způsoby namáhání odřezávané vrstvy [18,4]

Druhy tvářených třísek



Obr. 16 Druhy tvářených třísek [18,1]

- a) Plynulá článková soudržná tříska, vznikající u většiny ocelí.
- b) Plynulá soudržná lamelovitá tříska, vznikající u většiny korozivzdorných ocelí.
- c) Tvářená elementární tříska, vznikající u většiny litin.
- d) Nepravidelně článková plynulá tříska, vznikající u většiny vysoce legovaných materiálů.
- e) Tvářená plynulá soudržná tříska, vznikající při malých řezných silách, například při obrábění hliníku.
- f) Dělená segmentová tříska vznikající při velkých řezných silách a vysokých teplotách řezání, například při obrábění tvrdých materiálů.
- g) Plynulá segmentová tříska vznikající při obrábění titanu.

Charakteristické druhy vznikajících třísek se zpracovávají podle normy ISO 3685. Přehled základních druhů třísek je uveden na následujícím souhrnném obrázku.

1. Stužkové * třísky	2. Vlnité * třísky	3. Spirálové * třísky	4. Vlnité šroubovitě třísky	5. Kuželovité * šroubovitě třísky	6. Obloukovité ♦ třísky	7. Elementární třísky	8. Jehlovité třísky
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. Kuželovité	4.2. Krátké	5.2. Krátké	6.2. Dělené		
1.3. Smotané	2.3. Smotané		4.3. Smotané	5.3. Smotané			

Obr. 17 Tvary třísek dle normy ISO 3685 [4]

II. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

3. NÁVRH METODIKY EXPERIMENTŮ PRO ZKOUMÁNÍ VLIVU PROCESNÍCH KAPALIN NA JAKOST OBROBENÉHO POVRCHU PŘI VRTÁNÍ RŮZNÝCH MATERIÁLŮ V LABORATOŘÍCH KOM FS TUL.

3.1. Popis použitých strojů a přístrojů

Nástrojová frézka FNG 32

Veškeré obrábění se bude provádět na nástrojařské frézce FNG 32, výrobce tohoto stroje je TOS Olomouc s.r.o. Tato frézka je vybavená číslíkovou indikací polohy pro lepší odečítání ujetých drah.

Upnutí nástroje zajišťuje pneumaticko-hydraulické zařízení. Na tomto stroji je možné frézovat, vrtat, vyvrtávat a závitovat. Je vhodný pro malosériovou výrobu.

Technické parametry stroje (podrobněji v příloze 1):

Výkon hlavního motoru:	4,0	[kW]
Řazení otáček	plynulé	
Vertikální vřetenno: rozsah otáček	50-4000	[ot/min]
Pracovní zdvih: podélný (X)	600	[mm]
	příčný (Y)	400 [mm]
	svislý (Z)	400 [mm]



Obr. 18 Frézka FNG32 a detail ovládacího panelu s displejem

Pasová pila PILOUS

Pásová pila byla použita k přípravě veškerých vzorků, které byly potřeba pro realizaci experimentu.



Obr. 19 Pásová pila PILOUS

Pouzdro upínací ISO PN 241490 40x16

Pro upnutí nástroje do stroje byl zvolen kleštinový upínač rozměru 40x16 od firmy Narex. Do kterého byla vložena kleština o jmenovitém průměru 8 mm.



Obr. 20 Pouzdro upínací ISO 40x16 a kleština Ø8 mm

Vrták Ø8 ČSN 22 1121

Za nástroj byl zvolen šroubovitý vrták Ø8 mm ČSN 22 1121 z rychlořezné oceli.



Obr. 21 Šroubovité vrtáky Ø8mm z HSS

Laboratorní profiloměr Mitutoyo Surftest SV-2000 N2

Pro měření drsnosti byl použit dotykový laboratorní profiloměr Mitutoyo Surftest SV-2000 N2 a osobní počítač. Uživatelské rozhraní v počítači obstarává program Surfpack, výstupy jsou ve formě grafické, tak i datové.



Obr. 22 Profiloměr Mitutoyo Surftest SV-2000 N2

Chladící zařízení

K dopravě procesní kapaliny do místa řezu byla použita speciální nádoba s regulací průtoku množství procesní kapaliny. Použitím tohoto zařízení se usnadnila výměna procesních kapalin.



Obr. 23 Chladící zařízení

Refraktometr

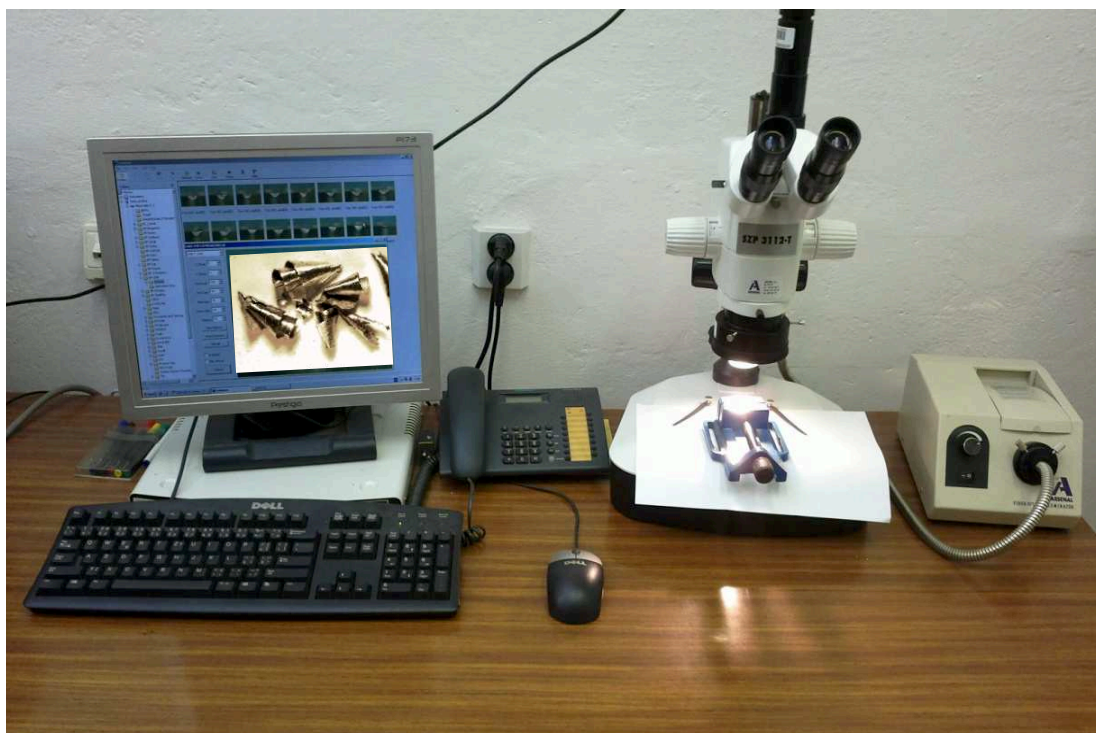
Přístroj určený pro měření koncentrace procesní kapaliny. Refraktometr Optech Brix pro rozsah koncentrace 0 – 18% s přesností na 0,1%.



Obr. 24 Refraktometr Optech Brix

Mikroskop Arsenal SZP 3112-T

Pomocí tohoto mikroskopu byly nafoceny třísky, je vybaven speciálním osvětlovacím zařízením a laboratorní kamerou LABO 3MP, která je propojena s osobním počítačem, kde se pořízené fotky zobrazí v programu Minisee.



Obr. 25 Osobní počítač a Mikroskop Arsenal SZP 3112-T

Procesní kapaliny

Procesní kapaliny pro tento experiment dodaly firmy PARAMO, Cimcool, Bleser, Houghton .Procesní kapaliny mají doporučenou koncentrací 5 %.

PARAMO ESOK 1.0D	VASCO 1000
PARAMO ESOK 1.0E	HOCUT 795B
PARAMO ESOK 1.0F	BLASOCUT 35 Kombi
PARAMO ESOK 1.1B	GRINDEX 10
PARAMO ESOK 1.1D	CIMSTAR 620
PARAMO EOPS 1030	

Obráběné materiály

Ocel 11 373 (ČSN 41 1373)

Neušlechtilá konstrukční ocel obvyklé jakosti, vhodná ke svařování. Součásti konstrukcí a strojů tavně svařované, namáhané staticky i mírně dynamicky, méně namáhaná svařovaná potrubí a odbočnice, jezové konstrukce. Součásti svařované kovářsky. [10]

Chemické složení			Mechanické vlastnosti		
C	max. 0,17	[%]	HB	max. 225	[-]
S	0,045	[%]	R _m	340-440	[MPa]
P	max. 0,045	[%]	R _e	186	[MPa]

Mosaz (ČSN 42 3212)

Dobře zpracovatelná slitina třískovým obráběním na automatech, krátká, lámavá tříska. Vhodná k použití na armatury, šrouby, matice, sériově vyráběné produkty. [10]

Chemické složení			Mechanické vlastnosti		
C _u	max. 60	[%]	HB	max. 100	[-]
S _n	max. 0,3	[%]	R _m	343-440	[MPa]
P _b	max. 2,5	[%]	R _e	118	[MPa]
F _e	max. 0,5	[%]			

Hliník EN AW 2030 (ČSN 42 4254)

Jedná se o automatový dural, vhodný ke zpracování na automatech pro krátkou třísku. Dělají se pouze tyče. Materiál je nevhodný ke svařování a eloxování, v nevytvrzeném stavu je pevnost v tahu 220MPa a tvrdost 70HB ve vytvrzeném stavu je pevnost v tahu min. 370MPa a tvrdost 90HB. Více informací o materiálu v příloze 2.

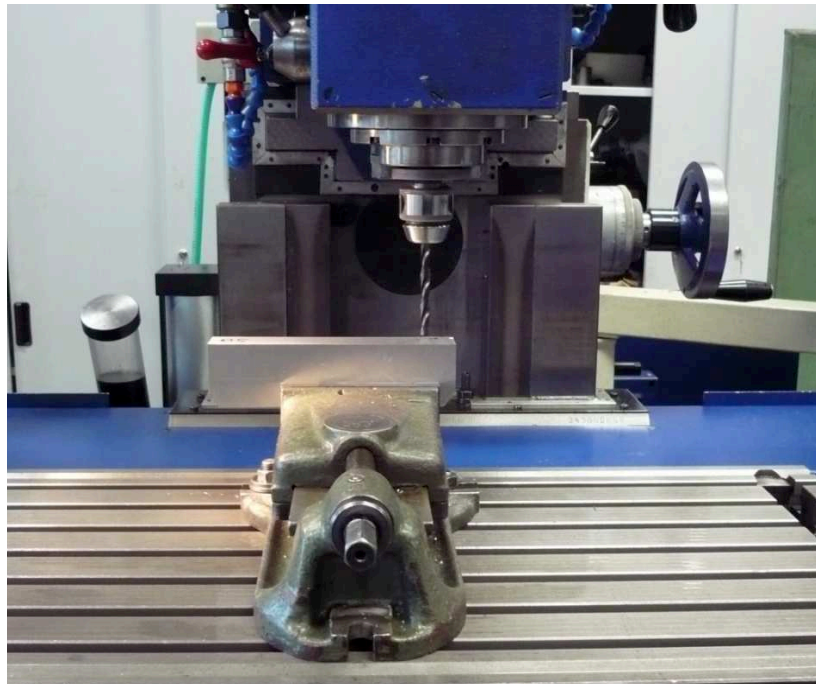
Litina Unibar 250 EN-1561-GJL-250

Velmi dobrá kombinace pevnosti, tvrdosti a struktury. Univerzálně použitelný materiál pro strojní součásti. Dobře tlumí chvění. Velmi dobrá obrobiteľnosť. Svařitelnost obtížná. Válce motorů, ozubená kola, lože obráběcích strojů, formy, řemenice. Více informací o materiálu v příloze 3.

3.2. Příprava experimentu

Příprava univerzální frézky FNG 32

Příprava frézky nebyla nijak složitá, stačilo zajistit přívod tlakového vzduchu do systému upínání nástroje, který obstarává externí pístový kompresor. Do stroje bylo upnuto kleštinové pouzdro, do kterého se vložil nástroj šroubovitý vrták \varnothing 8mm z rychlořezné oceli. Následně se pomocí upínek připevnil svěrák na pracovní stůl frézky. Na závěr byla na těle vřetene upevněna nádobka na procesní kapalinu.



Obr. 26 Připravený stroj pro obrábění

Příprava materiálu

Hloubka vrtání a druhy obráběných materiálů byly určeny z předběžného experimentu, ze kterého se dále vycházelo. Bylo vyvrtáno pět rozdílných hloubek materiálu (10 – 50 mm), kde byla následně změřena drsnost. Výsledná optimální hloubka vyšla 30 mm, kde byla výsledná drsnost nejlepší.

Pro tento experiment byly zvoleny čtyři rozdílné materiály. Jako první byl připraven vzorek ze slitiny hliníku EN AW 2030, který byl na pásové pile uříznut z kulatého kotouče, výsledný tvar byl hranol o rozměrech 30 x 30 - 200 mm. Jako druhý materiál byla zvolena litina, která byla uříznuta pasovou pilou z hranolu výsledný tvar obrobku byl 80 x 80 – 30 mm. Následovala příprava mosazi, ta byla nařezána z tyče \varnothing 60 mm na 30 mm vysoké válečky, na kterých byly zfrézovány

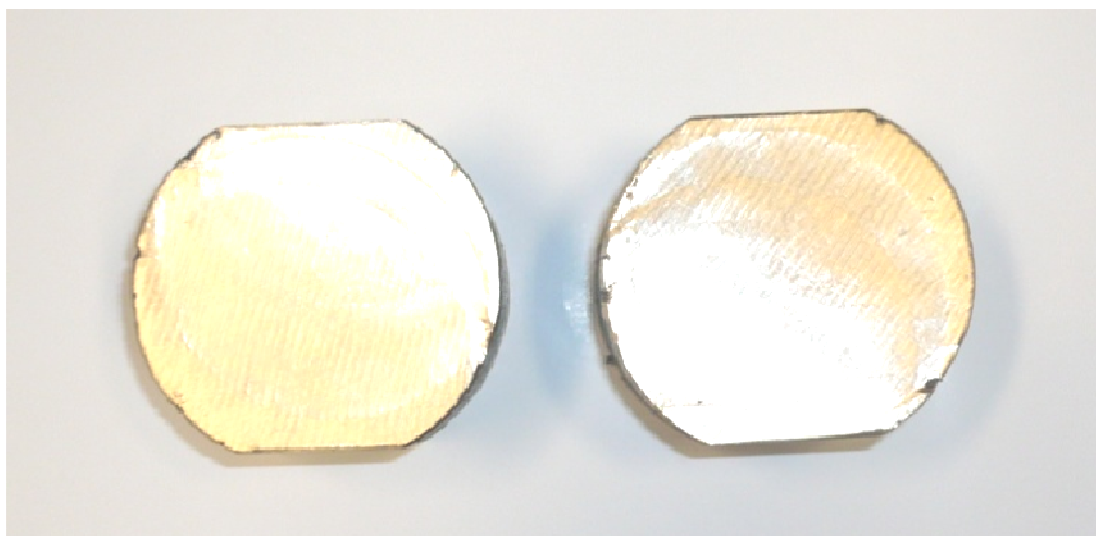
plošky pro bezpečné upnutí do svěráku. Jako poslední a čtvrtý materiál byla zvolena ocel 11 373, ta byla také uříznuta z kulatiny \varnothing 120 mm, uříznutý 30mm tlustý kotouč byl opět ofrézován pro bezpečné a přesné upnutí do svěráku.



Obr. 27 Připravené vzorky oceli (vlevo) a litiny (vpravo) pro experiment



Obr. 28 Připravený vzorek hliníku pro experiment



Obr. 29 Připravené vzorky mosazi pro experiment

Příprava procesních kapalin

Z dodaných emulzních olejů od světových výrobců je nutné namíchat 5% roztoky vody a oleje. Příprava proběhla tak, že do připravené nádoby se nalila voda, do které se pomalu přiléval emulzní olej, až se dosáhlo požadované koncentrace. Koncentrace se měří pomocí refraktometru (obr. 24). Hodnota pro refraktometr se musela dopočítat z refrakčního faktoru a koncentrace.

$$r = \frac{c}{K}$$

K – refrakční faktor

r – hodnota na refraktometru

c – požadovaná koncentrace

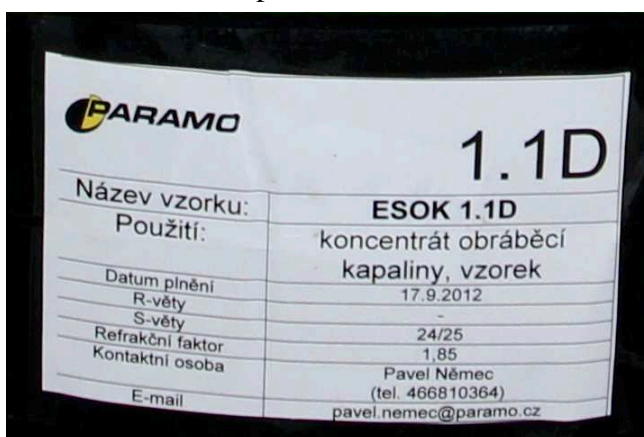
Příklad výpočtu:

kapalina ESOK 1.1D

K – 1,85

c – 5%

$$r = \frac{5\%}{1,85} = 2,7\%$$



Koeficienty kapalin:

Obr. 30 Štítek barelu dodaných kapalin

PARAMO ESOK 1.0D	K = 3	r = 1,66 %
PARAMO ESOK 1.0E	K = 3,1	r = 1,61 %
PARAMO ESOK 1.0F	K = 3,1	r = 1,61 %
PARAMO ESOK 1.1B	K = 2,1	r = 2,38 %
PARAMO ESOK 1.1D	K = 1,85	r = 2,7 %
PARAMO EOPS 1030	K = 1,11	r = 4,5 %
VASCO 1000	K = 1,0	r = 5,0 %
BLASOCUT 35 KOMBI	K = 1,0	r = 5,0 %
GRINDEX 10	K = 1,6	r = 3,1 %
HOCUT795B	K = 1,0	r = 5,0 %
CIMSTAR 620	K = 1,4	r = 3,6 %

Správná koncentrace kapalin byla kontrolována i v průběhu obrábění aby nedošlo na základě špatné koncentrace k ovlivnění výsledků. Použité kapaliny byly nality do nádob, určených k ekologické likvidaci.



Obr. 31 Dodané procesní kapaliny od firmy PARAMO a.s.

Řezné podmínky

Řezné podmínky se volily opět jako hloubka vrtání podle počátečního experimentu. Bylo vyvrtáno několik děr při rozdílných řezných podmínkách, kde byla následně změřena drsnost. Výsledné optimální řezné podmínky, kde byla výsledná drsnost nejlepší, byly použity pro experiment.

$$\begin{aligned}v_c &= 20 \quad [\text{m/min}] \\ f &= 40 \quad [\text{mm/min}] \\ f_{ot} &= 0,05 \quad [\text{mm/ot}] \\ n &= 800 \quad [\text{ot/min}]\end{aligned}$$



Obr. 32 Ovládací panel s nastavenými řeznými podmínkami

4. REALIZACE EXPERIMENTŮ V LABORATOŘÍCH KOM FS TUL.

Použité stroje a přístroje:

- Frézka FNG 32
- Pouzdro upínací ISO PN 241490 40x16
- Šroubovitý vrták Ø8 mm ČSN 22 1121
- Chladicí zařízení
- Drsnoměr Mitutoyo SV-2000
- Osobní počítač s programem Surfpak
- Ruční refraktometr Brix 0-18% ATC

4.1.Postup při obrábění

Do stroje byl upnut nový vrták. Do svěráku byl pevně a přesně upnut zkušební vzorek. Pomocí posuvů a rychloposuvů stroje bylo najeto na požadovanou pozici otvoru, velikost náběhu byla zvolena 1mm, digitální indikátor polohy v příslušných směrech byl vynulován, pro referenční polohu. Provedlo se seřízení zvolených řezných podmínek. Následovalo naplnění chladicího zařízení zvolenou předem připravenou procesní kapalinou. Po závěrečné kontrole veškerých parametrů, mohlo začít obrábění. Jako první se spustily otáčky vřetene, dále pak seřízení trysky chladicího zařízení, aby kapalina směřovala do místa řezu, následovalo spuštění posuvu vřetene, na digitálním displeji byla sledována poloha nástroje, po dosažení požadované hodnoty, byl zastaven posuv a otáčky vřetene. Najetí zpět do výchozí polohy nad obrobek, zastavení chladicí kapaliny. Po vyvrtání každého otvoru byla šetrně odebrána tříska pro další zkoumání. Následovalo přejetí na pozici dalšího otvoru, očištění obrobku a důkladné vyčištění chladicího zařízení a výměna procesní kapaliny, aby nemohlo dojít ovlivnění jednotlivých měření.

V tomto sledu pokračovalo obrábění pro všech jedenáct procesních kapalin, když bylo vyvrtáno všech 11 otvorů, proběhla změna obráběného materiálu, takto se vyvrtaly všechny čtyři předem připravené materiály. Při změně materiálu proběhla i výměna nástroje za nový. Každý vyvrtaný otvor byl důkladně označen, aby nemohlo dojít k záměně otvoru. Z tohoto důvodu se zachovávalo i periodické pořadí procesních kapalin.



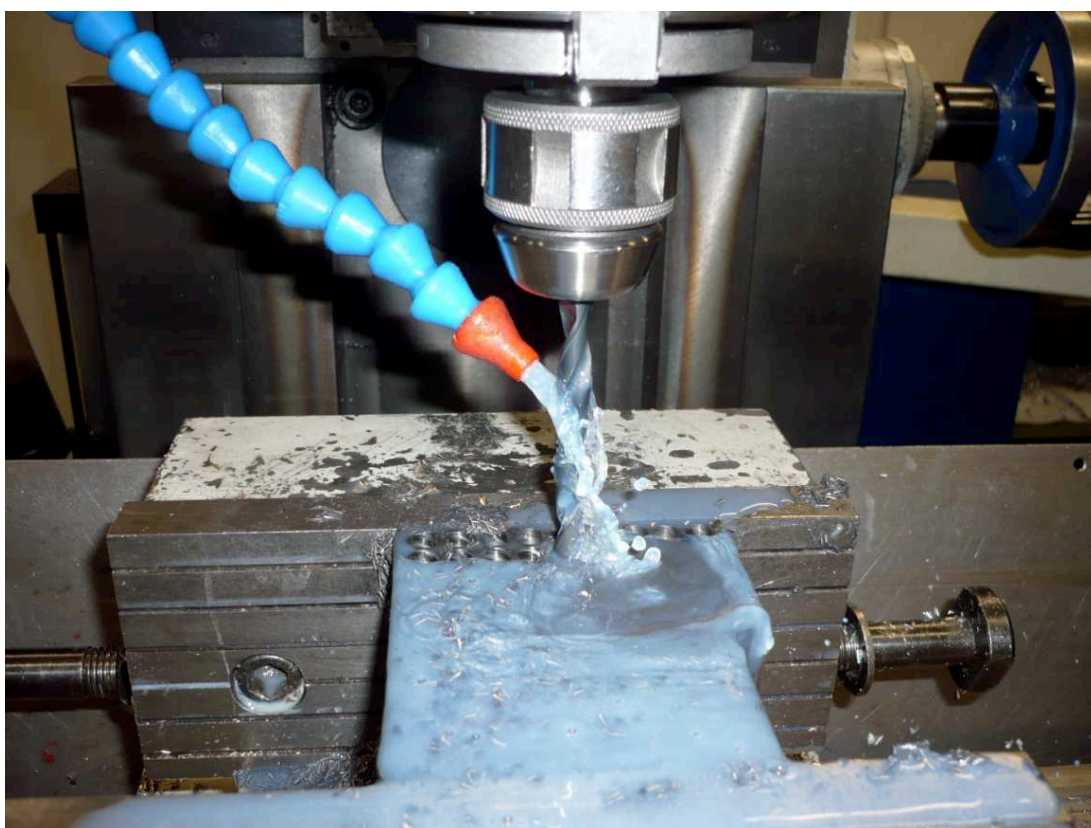
Obr. 33 Proces obrábění oceli



Obr. 34 Proces obrábění mosazi



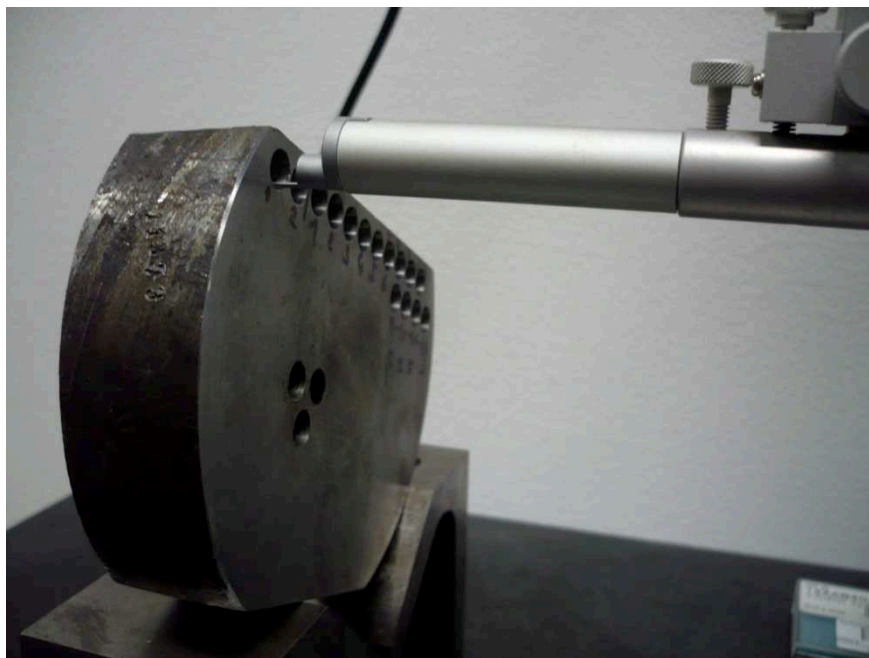
Obr. 35 Proces obrábění hliníku



Obr. 36 Proces obrábění litiny

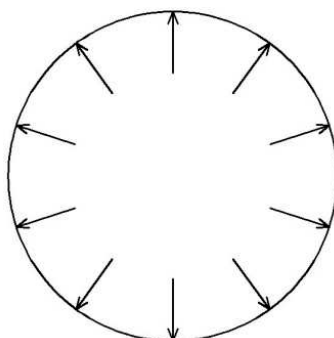
4.2. Postup při měření drsnosti

Po dokončení obrábění následovalo přenesení vzorků na pracoviště laboratoře KOM, která je určena pro měření drsnosti. Měření bylo provedeno na profiloměru Mitutoyo Surftest SV-2000.



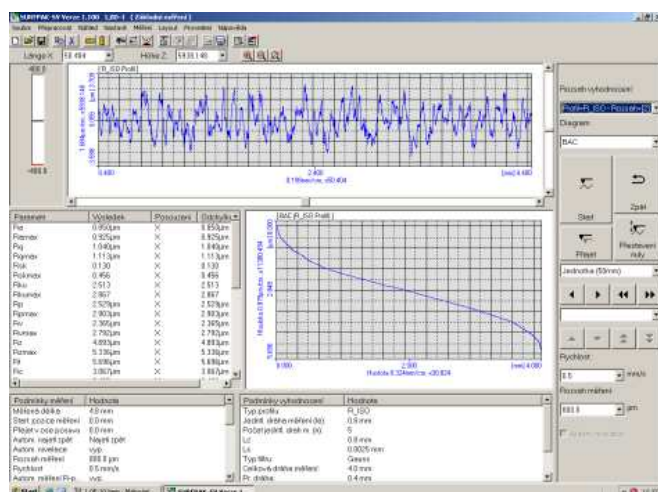
Obr. 37 Příklad měření drsnosti díry obrobku

Pro měření drsnosti byla vybrána koncová část díry vzorku. Speciální diamantový hrot musí přejet vzdálenost 4,8 mm, aby mohl systém vyhodnotit výsledky drsnosti, jeho rychlost pohybu je 0,5 mm/s. Vzorkem se otáčelo kolem osy díry tak aby se provedlo 10 měření pro každou obrobenou díru, rovnoměrně aby bylo měření objektivní, v ideálním případě nejlépe po 36°.



Obr. 38 Znárodněná místa měření obrobeného otvoru

Celkem bylo provedeno okolo 600 měření drsnosti, čtyři rozdílné materiály, 10 měření pro každé z jedenácti procesních prostředí, v celkovém počtu měření jsou také zahrnuty předběžné měření experimentu, bez kterých by nemohl být experiment realizován. Program Surfpack vyhodnotil výsledky v datovém a grafickém typu, ze kterých bylo pomocí statistických metod vyhodnoceno měření.



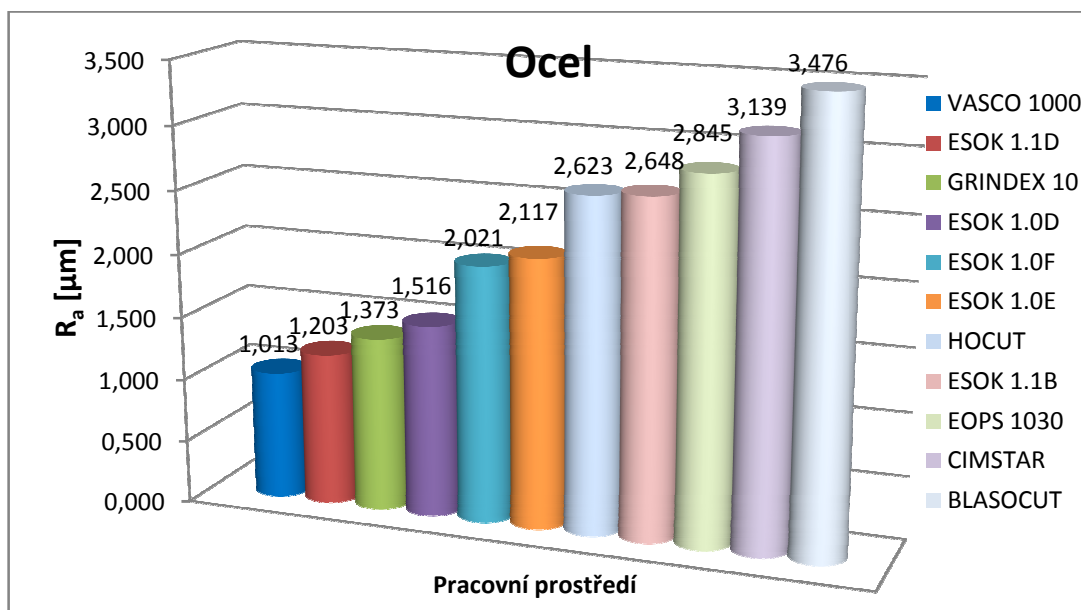
Obr. 39 Grafické a datové výsledky měření drsnosti (uživatelské rozhraní Surfpack)

4.3. Postup při hodnocení vzniklé třísky při obrábění různých materiálů

Třísky vzniklé při vrtání různých materiálů, s použitím zvolených procesních kapalin byly ihned po obrábění šetrně odebrány a osušeny. Následně byly tyto třísky uloženy a popsány pro další zkoumání. Pro vyhodnocení tvaru třísky byla použita tabulka s tvary třísek dle normy ISO 3685, která je uvedena na obrázku 17.

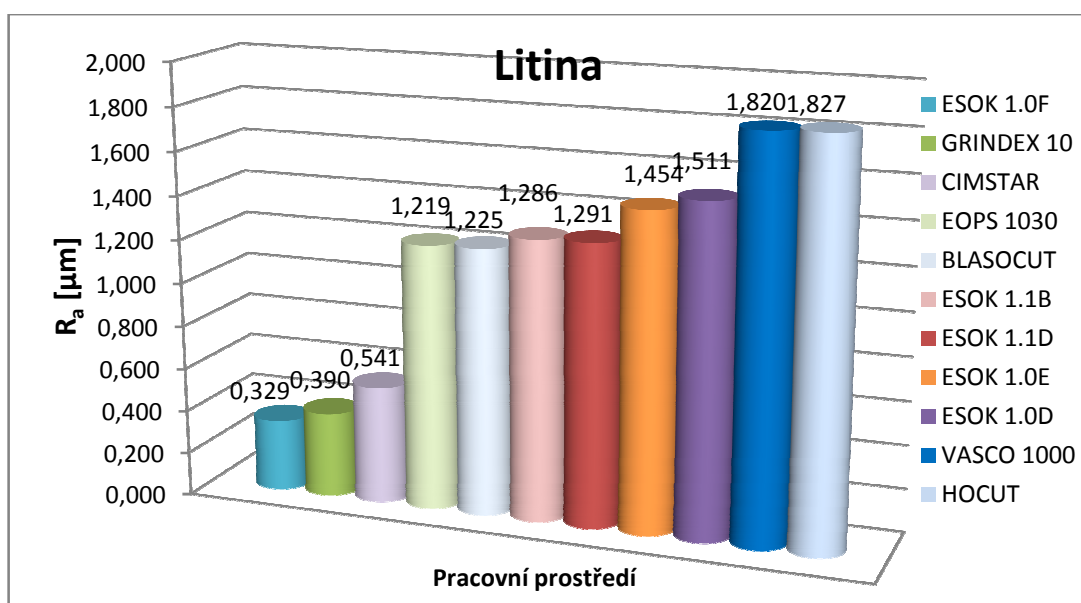
5. HODNOCENÍ VLIVU PROCESNÍCH KAPALIN NA JAKOST OBROBENÉHO POVRCHU PŘI VRTÁNÍ RŮZNÝCH MATERIÁLŮ.

5.1. Porovnání vlivu PK na parametr drsnosti R_a při vrtání různých materiálů.

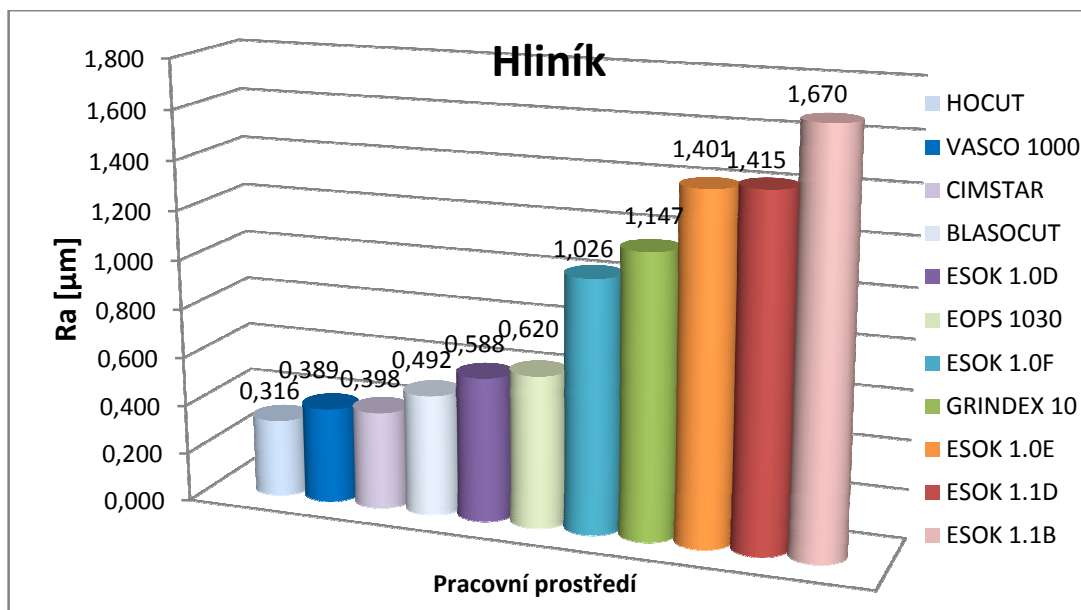


Graf 1 Vliv procesních kapalin na průměrný parametr drsnosti R_a při vrtání oceli.

U vrtání oceli měly nejlepší vliv na parametr drsnosti R_a procesní kapaliny VASCO 1000, ESOK 1.1D, GRINDEX 10 a ESOK 1.0D. Rozdíl mezi nejlepší a nejhorší kapalinou činil 243 %. Při obrábění litiny dosáhly nejlepšího vlivu na parametr drsnosti R_a procesní kapaliny ESOK 1.0F, GRINDEX 10 a CIMSTAR. Rozdíl mezi nejlepší a nejhorší kapalinou byl 455 %.

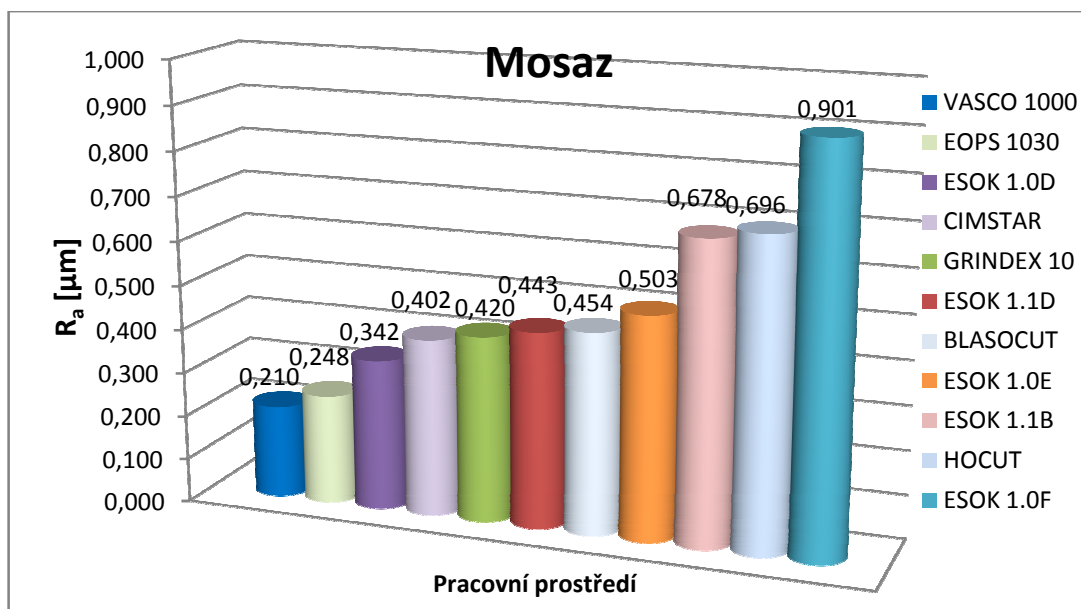


Graf 2 Vliv procesních kapalin na průměrný parametr drsnosti R_a při vrtání litiny.



Graf 3 Vliv procesních kapalin na průměrný parametr drsnosti R_a při vrtání hliníku.

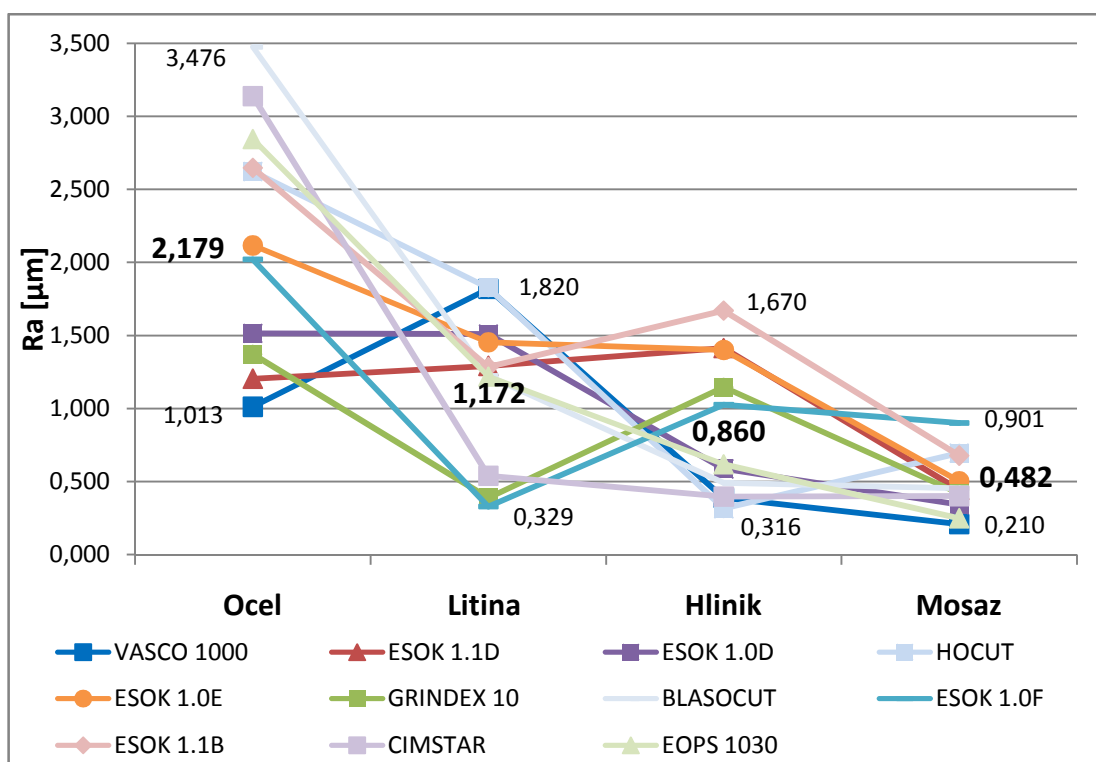
U vrtání hliníku a mosazi prokázala nejlepší vliv na parametr drsnosti R_a procesní kapalina VASCO 1000. Kapalina EOPS 1030 se ukázala jako druhá nejvhodnější při vrtání mosazi. Pro obrábění hliníku měly vynikající vliv na parametr drsnosti R_a procesní kapaliny HOCUT, BLASOCUT a CIMSTAR. Rozdíl mezi nejlepší a nejhorší kapalinou činil 428 % u hliníku a 329 % u mosazi.



Graf 4 Vliv procesních kapalin na průměrný parametr drsnosti R_a při vrtání mosazi.

Tab. 2 Vliv PK na průměrný parametr drsnosti R_a při vrtání různých materiálů.

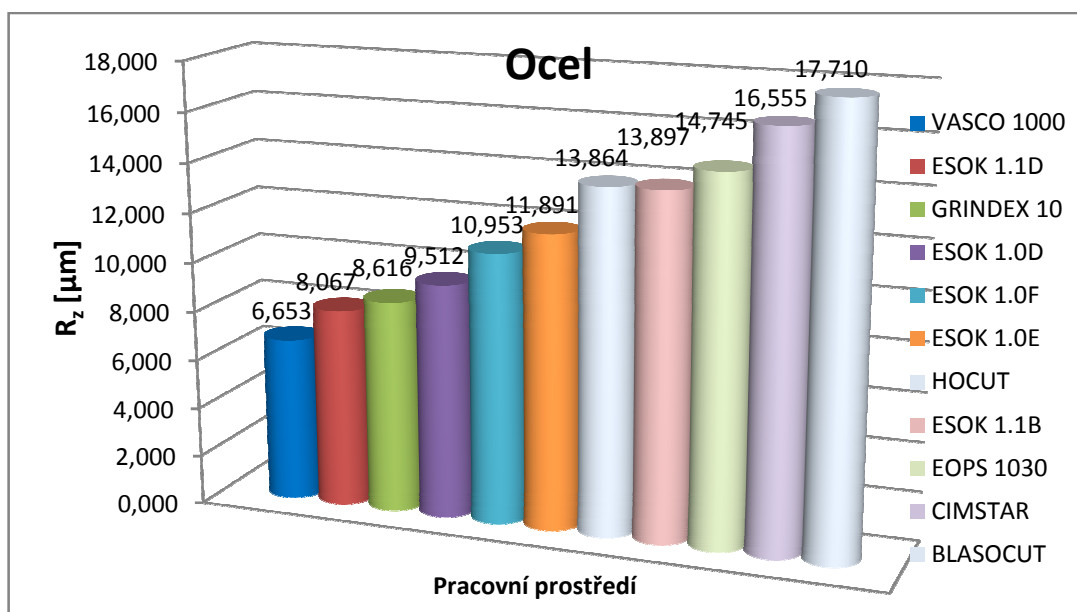
Obráběný materiál	Mosaz	Hliník	Litina	Ocel
R_a minimální [μm]	0,210	0,316	0,329	1,013
R_a maximální [μm]	0,901	1,670	1,827	3,477
Průměrná hodnota R_a [μm]	0,482	0,860	1,172	2,179
Zvýšení průměrné hodnoty R_a [%]	-	78	143	352
Zvýšení parametru min/max [%]	329	428	455	243



Graf 5 Vliv obráběného materiálu na parametr drsnosti R_a při vrtání s PK.

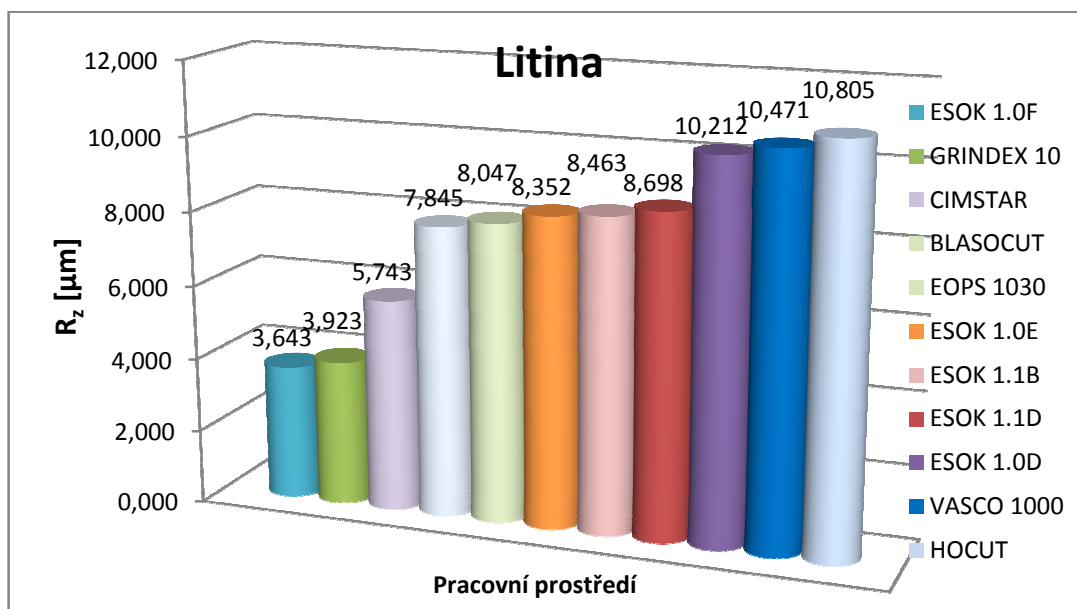
Z tabulky č. 2 a grafu č. 5 je patrné, že průměrný parametr drsnosti R_a je závislý na obráběném materiálu. Při vrtání mosazi, bylo dosaženo nejlepší hodnoty parametru $R_a = 0,482 \mu\text{m}$, u hliníku se parametr navýšil o 78%. Při obrábění litiny se parametr R_a zvýšil o 143 % ve srovnání s hodnotou mosazi. Při vrtání oceli bylo dosaženo nejhoršího výsledku parametru R_a , ve srovnání s obráběním mosazi se parametr zvětšil o 352 %.

5.2. Porovnání vlivu PK na parametr drsnosti R_z při vrtání různých materiálů.

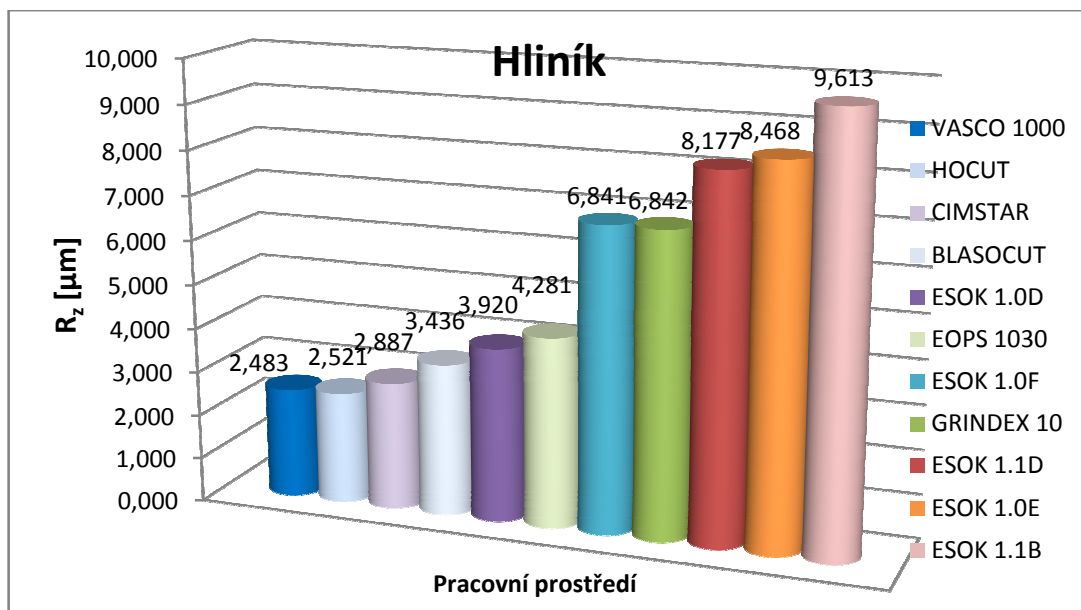


Graf 6 Vliv procesních kapalin na průměrný parametr drsnosti R_z při vrtání oceli.

U vrtání oceli měly nejlepší vliv na parametr drsnosti R_z procesní kapaliny VASCO 1000, ESOK 1.1D, GRINDEX 10. Rozdíl mezi nejlepší a nejhorší kapalinou činil 166 %. Při obrábění litiny prokázaly nejlepší vliv na parametr drsnosti R_z procesní kapaliny ESOK 1.0F, GRINDEX 10 a CIMSTAR. Rozdíl mezi nejlepší a nejhorší kapalinou byl 197 %.

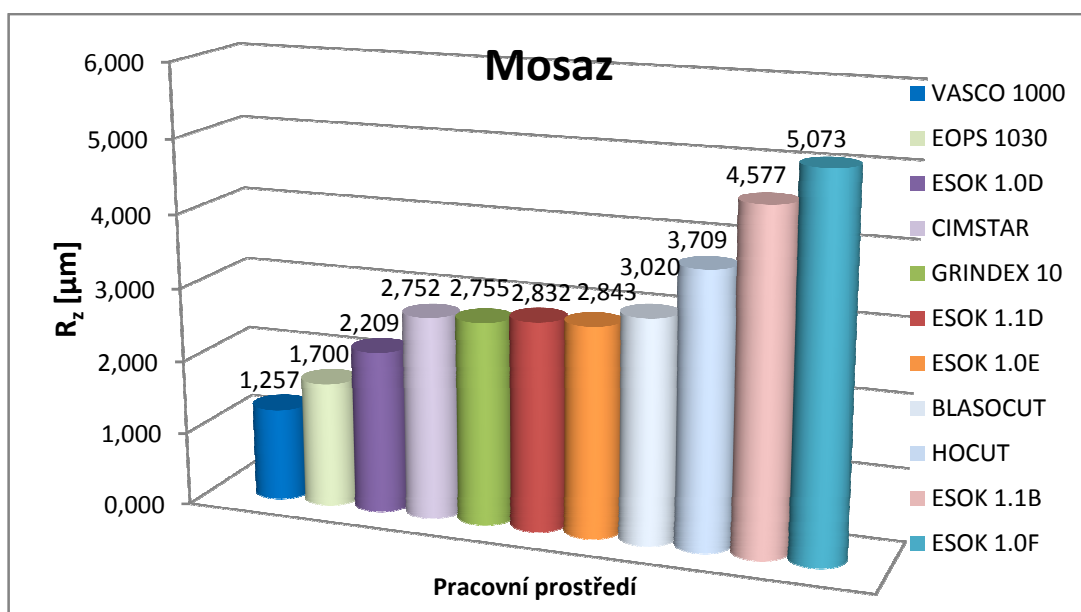


Graf 7 Vliv procesních kapalin na průměrný parametr drsnosti R_z při vrtání litiny.



Graf 8 Vliv procesních kapalin na průměrný parametr drsnosti R_z při vrtání hliníku.

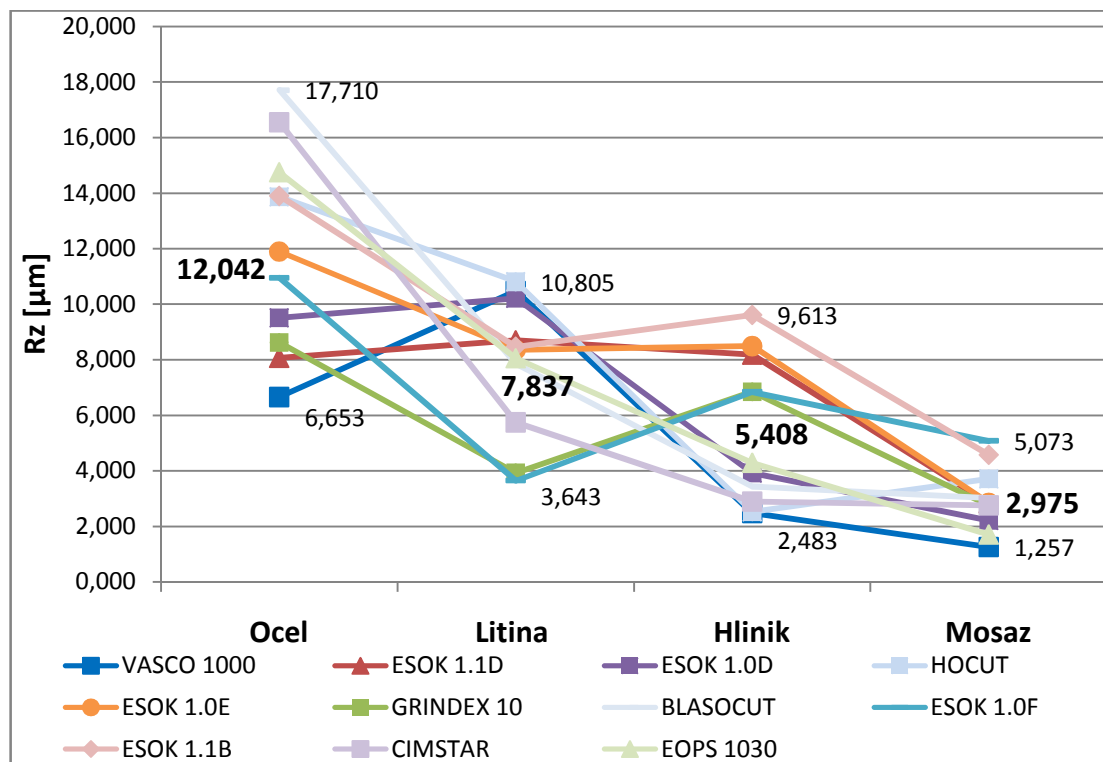
U vrtání hliníku a mosazi prokázala nejlepší vliv na parametr drsnosti R_z procesní kapalina VASCO 1000. Kapalina EOPS 1030 se ukázala jako druhá nejvhodnější pro vrtání mosazi. Pro obrábění hliníku měly vynikající vliv na parametr drsnosti R_z procesní kapaliny HOCUT, BLASOCUT a CIMSTAR. Rozdíl mezi nejlepší a nejhorší kapalinou činil 287 % u hliníku a 304 % u mosazi.



Graf 9 Vliv procesních kapalin na průměrný parametr drsnosti R_z při vrtání mosazi.

Tab. 3 Vliv PK na průměrný parametr drsnosti R_z při vrtání různých materiálů

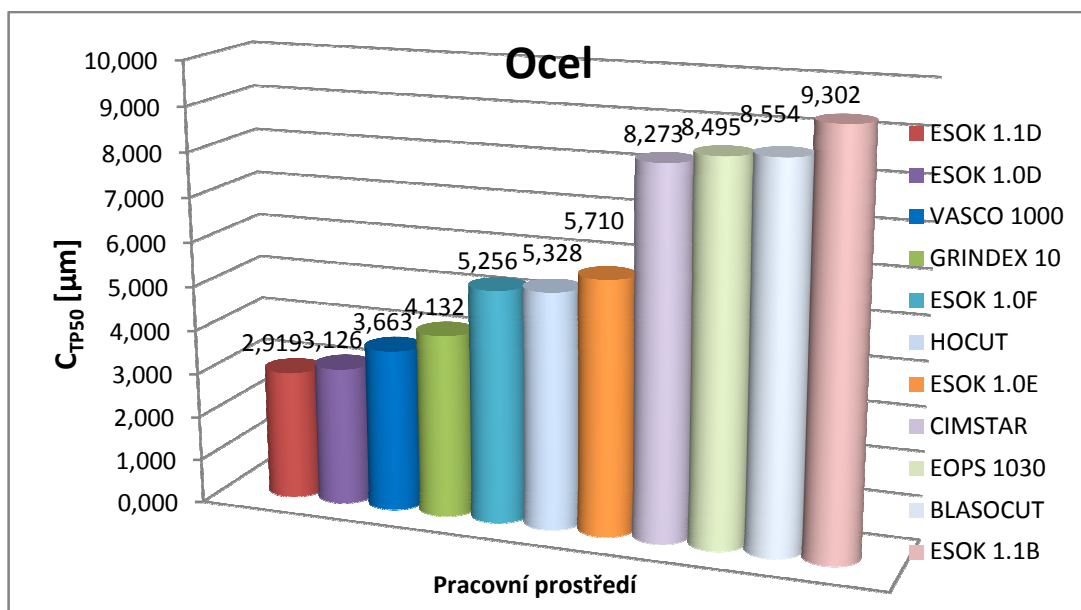
Obráběný materiál	Mosaz	Hliník	Litina	Ocel
R_z mininální [μm]	1,257	2,483	3,643	6,653
R_z maximální [μm]	5,073	9,613	10,805	17,710
Průměrná hodnota R_z [μm]	2,975	5,408	7,837	12,042
Zvýšení průměrné hodnoty R_z [%]	-	81	163	304
Zvýšení parametru min/max [%]	304	287	197	166



Graf 10 Vliv obráběného materiálu na parametr drsnosti R_z při vrtání s PK.

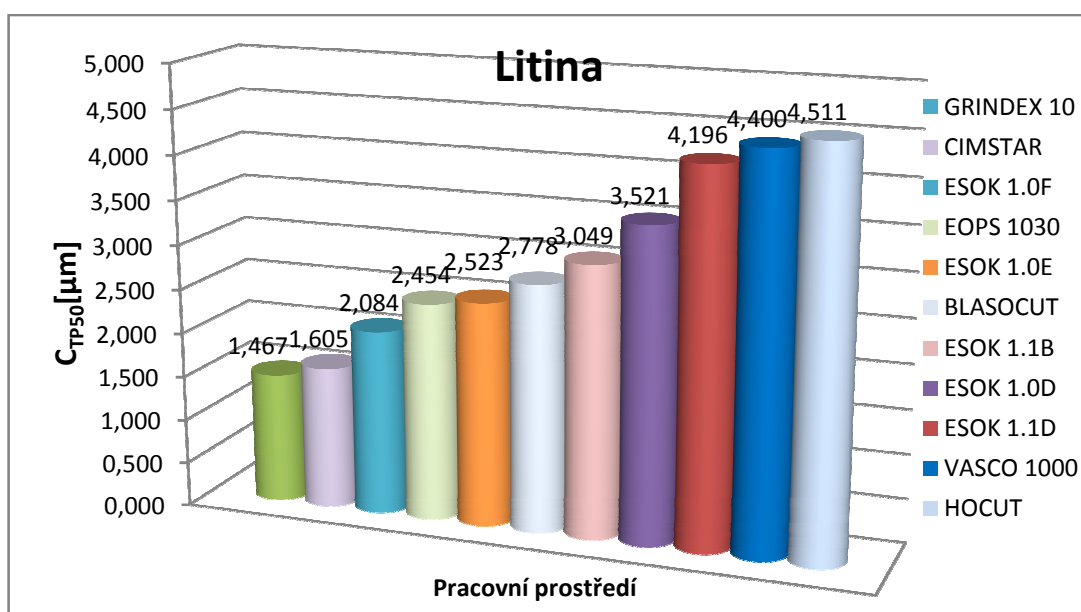
Z tabulky č. 3 a grafu č. 10 je patrné, že obráběný materiál má vliv na parametr drsnosti R_z . U mosazi byla naměřena nejmenší hodnota parametru $R_z = 2,975 \mu\text{m}$, u hliníku se parametr navýšil o 81 %. Při obrábění litiny se parametr R_a zvýšil o 163 % ve srovnání s hodnotou mosazi. Při vrtání oceli bylo dosaženo nejhoršího výsledku průměrného parametru R_z , ve srovnání s obráběním mosazi se parametr zvětší o 304 %.

5.3. Porovnání vlivu PK na parametr drsnosti C_{TP50} při vrtání různých materiálů.

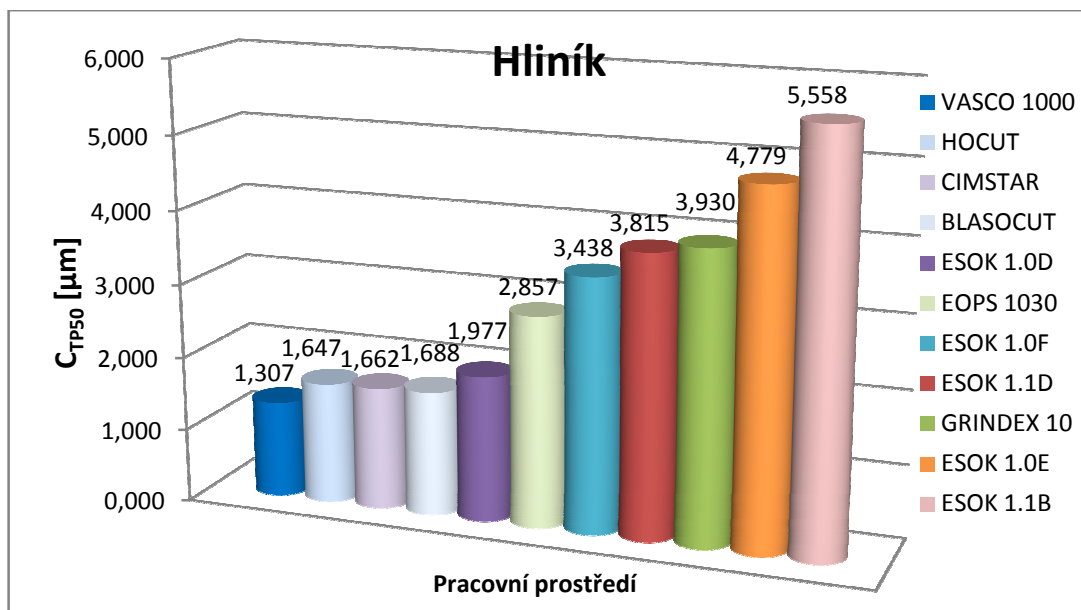


Graf 11 Vliv procesních kapalin na průměrný parametr drsnosti C_{TP50} při vrtání oceli.

Procesní kapaliny ESOK 1.1D, ESOK 1.0D a VASCO 1000 se ukázaly, že mají nejpříznivější vliv na parametr nosného podílu C_{TP50} při vrtání oceli. Při průběhu obrábění litiny se projevily příznivě zdaleka jiné procesní kapaliny. Nejlepší vliv na nosný podíl měla procesní kapalina GRINDEX 10, tu následovaly kapaliny CIMSTAR a ESOK 1.0F. Rozdíl mezi nejlepší a nejhorší kapalinou 219 % u oceli a 207 % u litiny.

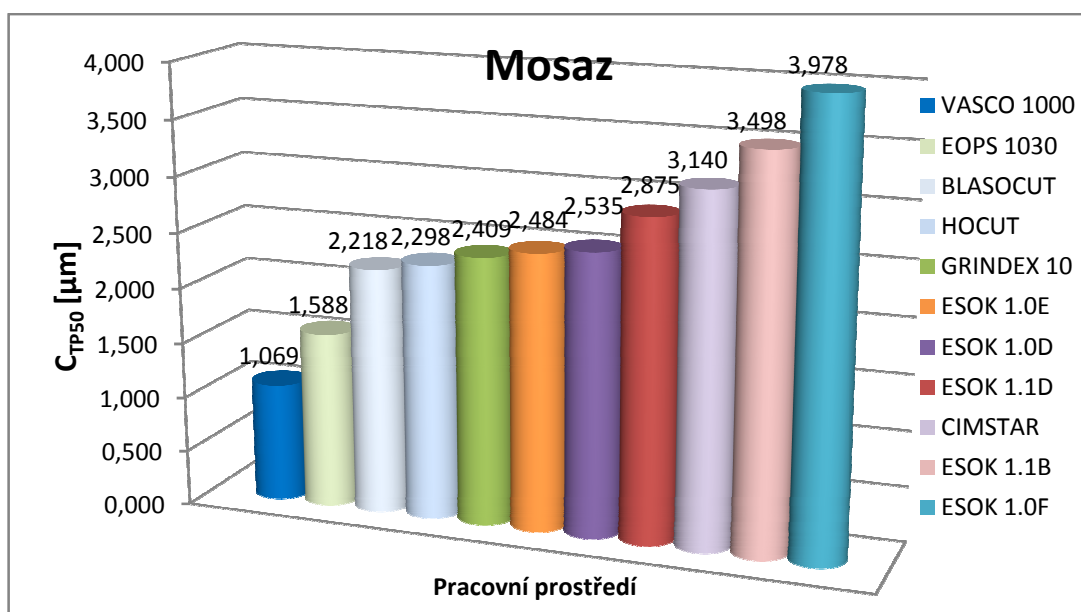


Graf 12 Vliv procesních kapalin na průměrný parametr drsnosti C_{TP50} při vrtání litiny



Graf 13 Vliv kapalin na průměrný parametr drsnosti C_{TP50} při vrtání hliníku.

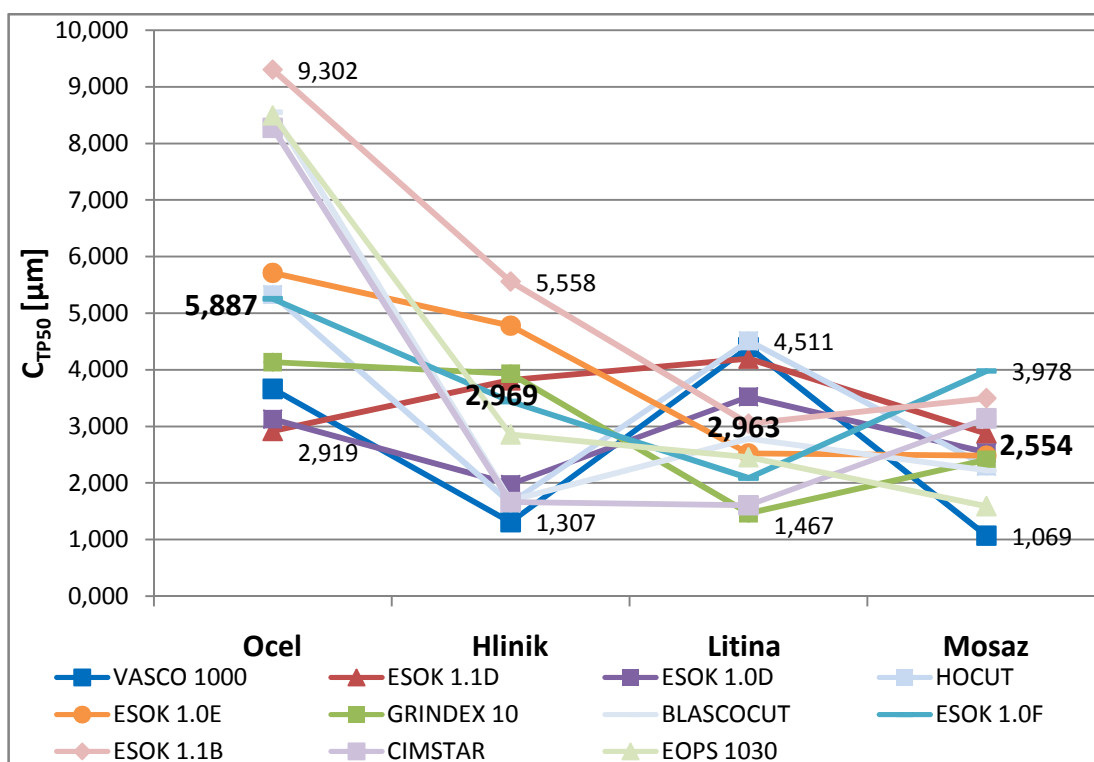
U vrtání hliníku a mosazi prokázala nejlepší vliv na parametr drsnosti C_{TP50} procesní kapalina VASCO 1000. Kapalina EOPS 1030 se ukázala jako druhá nejvhodnější při vrtání mosazi. Pro obrábění hliníku měly vynikající vliv na parametr drsnosti C_{TP50} procesní kapaliny HOCUT, BLASOCUT a CIMSTAR. Rozdíl mezi nejlepší a nejhorší kapalinou 325 % u hliníku a 275 % u mosazi.



Graf 14 Vliv kapalin na průměrný parametr drsnosti C_{TP50} při vrtání mosazi.

Tab. 4 Vliv PK na průměrný parametr drsnosti C_{TP50} při vrtání různých materiálů.

Obráběný materiál	Mosaz	Litina	Hliník	Ocel
C_{TP50} minimální [μm]	1,069	1,467	1,307	2,919
C_{TP50} maximální [μm]	3,978	4,511	5,558	9,302
Průměrná hodnota C_{TP50} [μm]	2,554	2,963	2,969	5,887
Zvýšení průměrné hodnoty C_{TP50} [%]	-	16	16	130
Zvýšení parametru min/max [%]	272	207	325	219



Graf 15 Vliv obráběného materiálu na parametr drsnosti C_{TP50} při vrtání s PK

Z tabulky č. 4 a grafu č. 15 vidíme, že obráběný materiál má vliv i na parametr drsnosti C_{TP50} . U mosazi bylo dosaženo znovu nejlepší hodnoty parametru C_{TP50} . Materiály hliník a litina prokázaly, že tyto materiály mají stejný vliv na průměrný parametr C_{TP50} . U obou těchto materiálů se průměrná hodnota parametru zvětšila přibližně stejně, okolo 16 % ve srovnání s hodnotou mosazi. U oceli byla znovu největší hodnota. Nárůst o 130 % oproti výchozí hodnotě mosazi.

5.4. Porovnání vlivu PK na tvorbu třísky při vrtání různých materiálů.

Třísky vzniklé při vrtání různých materiálů za použití zkoušených procesních kapalin byly porovnány s tabulkou normy ISO 3685 a zařazeny do příslušných skupin.

1. Stužkové *	2. Vlnuté *	3. Spirálové *	4. Vlnité šroubovitě *	5. Kuželovité 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. Kuželovité	4.2. Krátké	5.2. Krátké	6.2. Dělené		
1.3. Smotané	2.3. Smotané		4.3. Smotané	5.3. Smotané			

Obr. 17 Tvary třísek dle normy ISO 3685

Při zjišťování vlivu procesních kapalin na tvorbu třísky při vrtání různých materiálů, bylo dosaženo dvou rozdílných závěrů.

1) U vrtání hliníku, mosazi a litiny neměly jednotlivé procesní kapaliny vliv na tvorbu třísky. U všech procesních kapalin vznikala stejná tříska.

Tříska vzniklá při vrtání mosazi

Vzniklá tříska má tvar dle ISO: Kuželovitá šroubovitá tříska krátká

Skupina 5.2



Obr. 40 Tříska vzniklá při vrtání mosazi

Tříška vzniklá při vrtání hliníku

Vzniklá tříška má tvar dle ISO: Kuželovitá šroubovitá tříška krátká
Skupina 5.2



Obr. 41 Tříška vzniklá při vrtání hliníku

Tříška vzniklá při vrtání litiny

Vzniklá tříška má tvar dle ISO: Oblouková tříška krátká
Skupina 6.2



Obr. 42 Tříška vzniklá při vrtání litiny

2) Při vrtání oceli se projevily vliv jednotlivých kapalin na tvorbu třísky. Vznikly dva rozdílné druhy třísek.

Procesní kapaliny ESOK 1.0E, ESOK 1.1B, HOCUT a BLASOCUT způsobily vznik stužkové třísky smotané. Tato tříška je nevhodná při vrtání, jelikož

se namotává na nástroj, zabraňuje kvalitnímu přívodu procesní kapaliny do místa řezu, tím nastává špatné chlazení nástroje. Namotaná tříska může poškodit obrobenou plochu a tím zhoršit kvalitu obrobené plochy.

U zbylých procesních kapalin při vrtání oceli vznikala tříska stužková krátká, která je z pohledu vrtání vhodnější.

Tříska vzniklá při vrtání oceli

Vzniklá tříska má tvar dle ISO: Stužková tříska krátká

Skupina 1.2



Obr. 43 Tříska vzniklá při vrtání oceli

Vzniklá tříska má tvar dle ISO: Stužková tříska smotaná

Skupina 1.3



Obr. 44 Tříska vzniklá při vrtání oceli - nevhodná

6. SHRNU TÍ A ZHODNOCENÍ DOSAŽENÝCH VÝSLEDKŮ A VYVOZENÍ ZÁVĚRŮ

Tato práce byla zaměřena na testování procesních kapalin od světových výrobců při vrtání různých materiálů. Procesní kapaliny byly zkoušeny ze dvou hledisek, vliv procesní kapaliny na parametry drsnosti obrobené plochy a vliv procesní kapaliny na tvorbu třísky. Nakonec byly vyhodnoceny nejvhodnější kapaliny pro další zkoušky v průmyslu.

Závěr:

U vrtání oceli měly nejlepší vliv na parametry drsnosti R_a a R_z procesní kapaliny VASCO 1000, ESOK 1.1D, GRINDEX 10 a ESOK 1.0D. Při obrábění litiny prokázaly nejlepší vliv na parametry drsnosti R_a a R_z procesní kapaliny ESOK 1.0F, GRINDEX 10 a CIMSTAR. U vrtání hliníku a mosazi prokázala nejlepší vliv na parametry drsnosti R_a a R_z procesní kapalina VASCO 1000. Kapalina EOPS 1030 se ukázala jako druhá nejvhodnější při vrtání mosazi. Pro obrábění hliníku měly vynikající vliv na parametry drsnosti R_a a R_z procesní kapaliny HOCUT, BLASOCUT a CIMSTAR.

Procesní kapaliny ESOK 1.1D, ESOK 1.0D a VASCO 1000 se ukázaly, že mají nejprůzračnější vliv na parametr nosného podílu C_{TP50} při vrtání oceli. Při průběhu obrábění litiny se projevíly příznivě zdaleka jiné procesní kapaliny. Nejlepší vliv na nosný podíl měla procesní kapalina GRINDEX 10, tu doplnily kapaliny s příznivým vlivem CIMSTAR a ESOK 1.0F. U vrtání hliníku a mosazi prokázala nejlepší vliv na parametr drsnosti C_{TP50} procesní kapalina VASCO 1000. Kapalina EOPS 1030 se ukázala jako druhá nejvhodnější při vrtání mosazi. Pro obrábění hliníku měly vynikající vliv na parametr drsnosti C_{TP50} procesní kapaliny HOCUT, BLASOCUT a CIMSTAR.

Vliv procesních kapalin na parametr R_a byl nejvýraznější při vrtání litiny a hliníku. Bylo zjištěno, že nejlepší kapalina dokázala snížit parametr R_a o 455% u litiny a 428 % u hliníku ve srovnání s procesní kapalinou, která měla hodnotu R_a nejvyšší. Na parametry drsnosti R_z a C_{TP50} měly nejlepší vliv procesní kapaliny při vrtání mosazi a hliníku, nejlepší kapaliny dokázaly snížit parametry až o 300 % oproti hodnotám procesních kapalin, které dosáhly nejhorších výsledků.

Bylo zjištěno, že parametr drsnosti R_a je závislý na obráběném materiálu. Při vrtání mosazi, bylo dosaženo nejlepší hodnoty parametru $R_a = 0,482 \mu\text{m}$, u hliníku se parametr navýšil o 78%. Při obrábění litiny se parametr R_a zvýšil o 143 % ve srovnání s hodnotou mosazi. Při vrtání oceli bylo dosaženo nejhoršího výsledku parametru R_a , ve srovnání s obráběním mosazí se parametr zvětšil o 352 %.

Obráběný materiál má vliv na parametr drsnosti R_z . U mosazi byla naměřena nejmenší hodnota parametru $R_z = 2,975 \mu\text{m}$, u hliníku se parametr navýšil o 81 %. Při obrábění litiny se parametr R_a zvýšil o 163 % ve srovnání s hodnotou mosazi. Při vrtání oceli bylo dosaženo nejhoršího výsledku průměrného parametru R_z , ve srovnání s obráběním mosazí se parametr zvětšil o 304 %.

Parametr drsnosti C_{TP50} je také závislý na materiálu obrobku. U mosazi bylo dosaženo znovu nejlepší hodnoty parametru C_{TP50} . Materiály hliník a litina prokázaly, že tyto materiály mají stejný vliv na průměrný parametr C_{TP50} . U obou těchto materiálů se průměrná hodnota parametru zvětšila přibližně stejně, okolo 16 % ve srovnání s hodnotou mosazi. U oceli byla znovu největší hodnota. Nárůst o 130 % oproti výchozí hodnotě mosazi.

Z pohledu vlivu obráběného materiálu na všechny tři měřené parametry drsnosti R_a , R_z a C_{TP50} bylo zjištěno, že nejlepší výsledků bylo dosaženo při vrtání mosazi, jako druhý měl nejpříznivější vliv na parametry drsnosti hliník, následovala litina, která měla znatelně horší výsledky parametrů. Ocel prokázala, že má nejhorší vliv na parametry drsnosti při vrtání.

U vrtání hliníku, mosazi a litiny neměly jednotlivé procesní kapaliny vliv na tvorbu třísky. Při obrábění oceli měly procesní kapaliny ESOK 1.0E, ESOK 1.1B, HOCUT a BLASOCUT nepříznivý vliv na tvorbu třísky, vznikala stužková tříska smotaná. Při použití zbylých procesních kapalin vznikala tříska stužkovitá krátká, která je vhodnější než stužkovitá smotaná.

Po zhodnocení provedených experimentů obrábění různých materiálů bylo zjištěno, že procesní kapalina VASCO 1000 měla vynikající vliv na parametry drsnosti u mosazi, hliníku a oceli, z toho vyplývá, že je vhodná pro materiály s tvářenou třískou, procesní kapaliny GRINDEX, CIMSTAR, ESOK 1.0F jsou vhodné pro obrábění litiny. Tyto procesní kapaliny byly doporučeny k dalším zkouškám v průmyslu.

Seznam použité literatury:

- [1] KOČMAN, K., PROKOP, J. *Technologie obrábění*. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM Brno, s.r.o., prosinec 2001. 270 s. ISBN 80-214-1996-2.
- [2] AB SANDVIK COROMANT – SANDIK CZ s.r.o. *Příručka obrábění - Kniha pro praktiky*. Přel. M. Kudela. 1. vyd. Praha: Scientia, s.r.o. 1997. 857 s. Přel. z: Modern Metal Cutting-A Practical Handbook. ISBN 91-97 22 99-4
- [3] KOČMAN, Karel a kol., *Aktuální příručka pro technický úsek Obrábění* Praha: Verlag Dashofer 2001. ISBN 80-90224-2-5
- [4] JERSÁK, J. *Základní pojmy, podstata technologie obrábění* (podklad pro výuku předmětu TECHNOLOGIE III - OBRÁBĚNÍ). [online]. Liberec: Technická univerzita v Liberci, katedra obrábění a montáže, 2001. Dostupné na: http://www.kom.tul.cz/soubory/tob_pod.zip.
- [5] BUMBÁLEK, Bohumil, OŠŤÁDAL, Bohuslav a ŠAFR, Emil. *Řezné kapaliny. První vydání*. Praha: státní nakladatelství technické literatury, 1963, s. 136.
- [6] ŠŤUPÁREK, P., MAREK, M., *Technická dokumentace – drsnost povrchu*. VŠB-TU Ostrava, Fakulta elektrotechniky a informatiky elektrických strojů a přístrojů – KAT 453
- [7] BUMBÁLEK, B., *Integrita povrchu a její význam pro posouzení vhodnosti plochy pro její funkci*. Vysoké učení technické v Brně

- [8] BUMBÁLEK, B., Odvody, V., Ošřádal, B., *Drsnost povrchu*, SBTL – nakladatelství technické literatury. Praha 1989
- [9] BRYCHTA, J, ČEP, R, *Nové směry v progresivním obrábění*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita, 2007. ISBN 978–80–248–1505–3.
- [10] Feron a.s. velkoobchod s hutním materiálem [online] Dostupné na http://www.ferona.cz/cze/katalog/mat_normy.php
- [11] LEINVEBER, J., VÁVRA, P. *Strojnické tabulky*. 4. Vyd. Úvaly: Albra, 2008. 865 s. ISBN 80-86490-74-2
- [12] HUMÁR, Anton. *Technologie I: technologie obrábění – 1 a 2. část* [online]. [cit. 2011-03-20]. Studijní opory pro magisterskou formu studia. VUT v Brně, FSI, 2003. 138 s
- [13] *Technologie II-1díl* [online] [cit.2013-05-17]. Dostupné z: http://home1.vsb.cz/~cep77/PDF/skripta_Technologie_II_1dil.pdf
- [14] TOS Olomouc s.r.o. *frézka FNG 32* [online] Dostupné na: <http://www.tos-olomouc.cz/files/oc/produktove-informace/fng32.pdf>
- [15] Informační katalog procesních kapalin od firmy Paramo, dostupné na : https://eshop.paramo.cz/data/Tiskoviny/Paramo_katalog_specialnich_vyrobk_u_N.pdf
- [16] UŽDIL, P., *Analýza vlivu procesních kapalin od firmy PARAMO, a. s. na trvanlivost nástroje a drsnost povrchu při frézování konstrukční oceli*[Bakalářská práce].TU v Liberci, 2013. 56 s.

- [17] Příručka pro technology, informace o obrábění, dostupné na:
<http://www.mmspektrum.com/clanek/prirucka-pro-technology>
- [18] Sandvik coromant znalosti a zkušenosti obrábění , dostupné na :
http://www.sandvik.coromant.com/cs-z/knowledge/materials/workpiece-materials/machinability_definition/pages/default.aspx
- [19] http://www.secotools.com/CorpWeb/Slovakia/Aktuality/Patrick%20De%20Vos%20-%20cyklus/1/Seco_12bez%20reklamy.pdf
- [20] Jaromír Gazda, *Teorie obrábění – Průvodce tvorbou třísky*, Technická univerzita v Liberci, ISBN 978-80-7372-498-6

Seznam příloh:

Příloha 1: Parametry nástrojařské frézky FNG 32

Příloha 2: Specifikace materiálu Unibar 250

Příloha 3: Specifikace materiálu ČSN 42 4223

Příloha 4: Převodní tabulky materiálů

Příloha 5: Srovnávací tabulka tvrdostí

Příloha 6: Třídy obrobitelnosti

Příloha 7: Naměřené hodnoty parametrů drsnosti R_a , R_z a C_{TP50} u oceli

Příloha 8: Naměřené hodnoty parametrů drsnosti R_a , R_z a C_{TP50} u litiny

Příloha 9: Naměřené hodnoty parametrů drsnosti R_a , R_z a C_{TP50} u hliníku

Příloha 10: Naměřené hodnoty parametrů drsnosti R_a , R_z a C_{TP50} u mosazi

Příloha 1:

Parametry nástrojařské frézky FNG 32

FNG 32

Nástrojařské frézky



TOS Olomouc s.r.o.

Tovární 1180/30
77900, Olomouc - Hodolany

Telefon: 587 404 111

Fax: 587 439 889

E-mail: tos@tos-olomouc.cz

WWW: www.tos-olomouc.cz

IČO: 43965156

DIČ: CZ43965156

Hlavní technická data

Pracovní stůl

Délka upínací plochy	800 [mm]
Upínací plocha stolu	400 x 800 [mm]
Šířka upínací plochy	400 [mm]
Max. zatížení stolu	350 [kg]

Pracovní rozsah

Podélný pojezd X	600 [mm]
Příčný pojezd Y	400 [mm]
Svislý pojezd Z	400 [mm]

Vřeteno

Rozsah otáček	50 - 4000 [min-1]
Počet stupňů otáček	
Výkon hlavního motoru	4,0 [kW]
Kužel ve vřetenu	ISO 40

Příslušenství


Obrážecí hlava
Sklopný stůl otočný
Opěrné rameno s ložiskem
Univerzální dělička
Otočný stůl ruční
Frézovací trny a redukce

Příloha 2:

Specifikace materiálu Unibar 250

UCB – Materiálové listy

Kontinuálně litý litinový profil: UCB jakost - Unibar 250 (jen pro informaci)



Charakteristika: Dobrá kombinace pevnosti a odolnosti proti opotřebení, dobrá obrobitelnost a jakost povrchu po obrobení. Dobře tlumí chvění.


Obdobná jakost: EN-1561-GJL-250, GG25 a Meehanite GD250.

Unibar – vyráběné průřezy a rozměry	
Kruhové	25 mm – 635 mm +
Čtvercové	až 520 mm x 520 mm
Pravouhlé	Profily <i>Unibar</i> se vyrábějí v celé řadě kombinací poměrů výšky k šířce, až do 650 mm x 510 mm a 620 mm x 370 mm (např.), jiné rozměry na přání zákazníka a po konzultaci
Ingoty kruhové	až průměr 1200 mm x 2100 mm délky (třískově obrobené).
Ingoty pravouhlé	až 800 mm x 750 mm x 2100 mm délky (třískově obrobené).
Standardní délky	Kontinuálně lité profily ... 3 m (jiné délky na vyžádání)
Stav a stav povrchu	v litém stavu, povrch: v litém stavu, soustružený, loupaný, frézovaný
Nestandardní tvary	Na základě poptávky

Chemické složení
(Typické rozsahy):
(Chemické složení je záležitostí výrobce)

Prvek	Směrné složení /%
Uhlík	2,95 – 3,45
Křemík	2,10 – 2,90
Mangan	0,55 – 0,75
Síra	0,04 – 0,07
Fosfor	0,10 – 0,20
Ostatní prvky	Zbytkové množství
Železo	Základní prvek

Barevné značení



Bílá, nebo bez barev. značení


Mechanické vlastnosti: vzorky se odebírají v R/2 (a/2, h/2) profilu. Nepoužívá se separátně odlitý vzorek.

MATERIALOVÁ SPECIFIKACE	Rozměr	Předpokládané hodnoty Rm (N/mm ² / Mpa) (Převzato z odlitku / profilu)
Unibar 250 EN-GJL-250:1997 (GG 25)	20 mm – 40 mm	225
	40 mm – 80 mm	195
	80 mm – 150 mm	170
	150 mm – 300 mm	155

Odkaz: ČSN EN-1561-GJL-250 Tab. 1

Tvrdość dle Brinella: 160 - 230 HB (kulička průměr 10mm zatížení 3000 kg) V závislosti na velikosti průřezu. Měření tvrdosti se provádí přes celý průřez profilu. Hodnoty tvrdosti u čtyřhranných profilů jsou závislé na poměru výšky a šířky a místa vpichů se mohou stanovit dohodou.

Mikrostruktura: Grafit: v jádru profilu lupínkový typ A, dle ASTM A247 (ČSN 42 0461), směrem k povrchu typ D a E, mezidendriticky rozložený
Struktura: převážně perlitická, max. 30 % feritu (v závislosti na průřezu), max. 5 % cementitu v povrchové vrstvě
Zvětšení: 100 x



Teplné zpracování: Dodává se v litém stavu, nedoporučuje se pro kalení a další teplné zpracování

Měrná hmotnosť: 7,3 g/cm³


United Cast Bar Ltd
(TM 07_2013, UCB Issue 8 10-06-2013 UB250)

Přátost: 1. 7. 2013

www.unitedcastbar.com
Změna: 0 Výtisk: 1

Příloha 3:

Specifikace materiálu ČSN 42 4254

		SLITINA HLINÍKU TVÁŘENÁ 42 4254 AlCu4BiPb – automatová				ČSN 42 4254	
						JK 194 12, 194 31 194 14, 194 32 194 15	
Сплав алюминиевый деформируемый AlCu4BiPb		Wrought aluminium alloy AlCu4BiPb					
Chemické složení %	Slitinové prvky	Cu	Mg	Mn	Pb + Bi	Al	
		3,0 až 5,0	0,4 až 1,5	0,3 až 1,5	0,5 až 1,5	zbytek	
Doprovodné prvky max.	Fe	Zn	Ni	Sn + Cd	Si	celkem	
	1,0	0,7	0,3	0,4	max. 1	1,5	
Třída odpadu ČSN 42 1331		816					
Výrobek		tyče kruhové, čtvercové, šestihranné					
Provedení		lisováno za tepla			taženo za studena		
Rozměrová norma		ČSN 42 7510 ČSN 42 7520			ČSN 42 7610 ČSN 42 7620 ČSN 42 7630		
Technické dodací předpisy		ČSN 42 1419					
Číselné označení materiálu podle ČSN 42 0055		42 4254.00	42 4254.01	42 4254.60	42 4254.61		
Stav		tvářený za tepla	tvářený za tepla	vytvrzený za studena	vytvrzený za studena		
Jakost		obchodní	zaručená	obchodní	zaručená		
Rozměrové vymezení mm		podle rozměrové ČSN				do 100	
Nejnižší mez kluzu ¹⁾ R_p 0,2 MPa		—	—	—	—		
Pevnost v tahu R_m MPa		max. 310	220—310	min. 280	min. 340		
Nejnižší tažnost %		A_5		—		10	
		A_{10}		—		8	
Tvrdost podle Brinella HB		—	(max. 75)	—	(90)		
Hodnoty uvedené v závorkách jsou informativní. ¹⁾ Mez 0,2 se nezaručuje pro špatnou rozpustnost Pb.							
1 MPa = 1 N/mm ²							

Příloha 4:

Převodní tabulky materiálů

ISO	Materiálová skupina	Označení	DIN	ČSN	Pevnost v tahu N/mm ²	Tvrdost HB	
P	Ocel nelegovaná Rm < 800 N/mm ²	St37-3	1.0116	11378	370-450	110-130	
		St52-3	1.0570	11523	450-680	140-210	
		St60-2	1.0060	11600	600-720	180-210	
		C10	1.0301	12010	490-780	150-230	
		C22	1.0402	12024	470-650	140-190	
		C35	1.0501	12040	550-780	170-230	
		C40	1.0511	12041	600-800	180-240	
		9S20	1.0711	11107	370-450	110-130	
		9SMn28	1.0715	11109	390-580	110-170	
		C15	1.0401	12020	600-900	180-270	
		16MnCr5	1.7131	14220	500-700	160-210	
	Ocel nelegovaná a legovaná Rm < 1200 N/mm ²	C45	1.0503	12050	650-850	190-250	
		C55	1.0535	12060	700-950	210-280	
		C60	1.0601	12061	750-1000	220-300	
		Ck15	1.1141	12023	590-880	180-260	
		Cf53	1.1213	12050	650-850	190-240	
		15Cr3	1.7015	14120	690-1000	200-300	
		14NiCr14	1.5752	16420	1000-1280	300-380	
		16MnCr5	1.7131	14220	1000-1200	300-360	
		100Cr6	1.3505	14109	1000-1200	300-360	
		25CrMo4	1.7218	15130	1000-1100	300-360	
		42CrMo4	1.7225	15142	1000-1200	300-380	
		100MnCrW4	1.2510	19314	1000-1200	300-360	
		X40CrMoV5	1.2344	19554	1000-1200	300-360	
		Ocel legovaná Rm > 1200 N/mm ²	35CrNiMo6	1.6582	16343	1200-1400	380-410
			50CrV4	1.8159	15260	1200-1300	360-380
	56NiCrMoV7		1.2714	19663	1200-1400	360-410	
K	Korozivzdorná ocel	X10Cr13	1.4006	17021	450-650	130-190	
		X10CrNiS18 9	1.4305	17243	500-750	160-220	
		X12CrMoS17	1.4104	17140	540-840	160-250	
		X15Cr13	1.4024	17021	650-800	190-240	
		X2CrNi18 9	1.4306	17249	460-850	140-250	
		X46Cr13	1.4034	17024	580-800	170-240	
		X5CrNi18 9	1.4301	17240	500-700	160-210	
		X6CrAl13	1.4002	17125	400-700	120-210	
		X7Cr13	1.4000	17020	400-700	120-210	
		X8Cr17	1.4016	17040	450-600	130-180	
	Korozivzdorná ocel s vyšším obsahem Cr a Ni	GX5CrNiMo19 11	1.4408	422940	460-640	140-190	
		X10CrNiTi18 9	1.4541	17246	500-700	150-210	
		X2CrNiMo18 12	1.4435	17350	490-690	150-210	
		X2CrNiMoN1712 2	1.4406	17359	580-800	170-240	
		X5CrNiMo17 1	1.4401	17346	510-710	150-210	
		X5CrNiMo17 13 3	1.4436	17352	510-710	150-210	
		X6CrNiMoTi17 12 2	1.4571	17347	500-730	160-220	

Příloha 4:

Převodní tabulky materiálů

ISO	Materiálová skupina	Označení	DIN	ČSN	Pevnost v tahu N/mm ²	Tvrdość HB
M	Šedá litina	GG15	0.6015	422415	110-150	35-50
		GG20	0.6020	422420	150-200	50-60
		GG25	0.6025	422425	200-250	60-80
		GG35	0.6035	422435	280-320	90-100
	Temperovaná litinaa litina s kuličkovým grafitem	GGG40	0.7040	422304	400	120
		GGG50	0.7050	422305	500	160
		GTS55-04	0.8155	422555	550	170
		GTW35-04	0.8035	422536	350	110
N	Hliník, měď	Al99	3.0205	-	75-140	20-50
		Al99.9	3.0305	424001	100-120	30-40
		E-Al	3.0257	424004	-	-
		SF-Cu	2.0090	-	300-350	90-110
		G-CuSn5ZnPb	2.1096	-	200-250	60-80
	Hliník, měď-slitiny	G-AlSi12	3.2581	424330	160-210	50-70
		G-AlSi10Mg	3.2383	424331	170-220	50-70
		G-CuAl10Ni	2.0975	423147	650-750	190-220
		AlZnMgCu1,5	3.4365	424222	480-530	150-170
	Cu-Al-Fe slitiny	Ampco 21	-	-	965-1060	285-311
		Ampco 22	-	-	1090-1130	321-352
		Ampco 26	-	-	1290-1450	395-450
	Mosaz	CuZn37	2.0321	423213	300-400	90-110
		CuZn39Pb2	2.0380	423223	630	190
		CuZn40MnPb	2.0580	-	400	120
		CuZn44Pb2	2.0410	-	630	190
	Bronz	G-CuSn6ZnNi	2.1093	-	400-450	120-130
		CuSn6Zn6	2.1080	-	550-700	170-210
	Plasty teplem tvárné	Polyamid	-	-	-	-
		Polyvinylchlorid	-	-	-	-
		Ultramid	-	-	-	-
	Plasty teplem tvrditelné	Bakelit	-	-	-	-
Partinax		-	-	-	-	
S	Ni slitiny	Hastelloy C276	2.4819	-	-	-
		Hastelloy C4	2.4610	-	70-900	220-280
		Inconel 718	2.4668	-	1250	370
		Nimonic 75	2.4630	-	-	-
	Ti slitiny	TiAl5Sn2	3.7115	-	790-980	230-290
		TiAl6V4	3.7165	-	980-1140	290-340
H	Ocel kalená 42-60 HRC	X155CrVMo12 1	1.2379	19573	-	-
		X210CrW12	1.2436	19437	-	-

Příloha 5:

Srovnávací tabulka tvrdostí

Pevnost v tahu Rm N/mm ²	Tvrdość dle Vickers HV	Tvrdość dle Brinell HB	Tvrdość dle Rockwell HRC	Pevnost v tahu Rm N/mm ²	Tvrdość dle Vickers HV	Tvrdość dle Brinell HB	Tvrdość dle Rockwell HRC
255	80	76,0	-	1125	350	333	35,5
270	85	80,7	-	1155	360	342	36,6
285	90	85,5	-	1190	370	352	37,7
305	95	90,2	-	1220	380	361	38,8
320	100	95,0	-	1255	390	371	39,8
335	105	99,8	-	1290	400	380	40,8
350	110	105	-	1320	410	390	41,8
370	115	109	-	1350	420	399	42,7
358	120	114	-	1385	430	409	43,6
400	125	119	-	1420	440	418	44,5
415	130	124	-	1455	450	428	45,3
430	135	128	-	1485	460	437	46,1
450	140	133	-	1520	470	447	46,9
465	145	138	-	1555	480	456	47,7
480	150	143	-	1595	490	466	48,4
495	155	147	-	1630	500	475	49,1
510	160	152	-	1665	510	485	49,8
530	165	156	-	1700	520	494	50,5
545	170	162	-	1740	530	504	51,1
560	175	166	-	1775	540	513	51,7
575	180	171	-	1810	550	523	52,3
595	185	176	-	1845	560	532	53,0
610	190	181	-	1880	570	542	53,6
625	195	185	-	1920	580	551	54,1
640	200	190	-	1955	590	561	54,7
660	205	195	-	1995	600	570	55,2
675	210	199	-	2030	610	580	55,7
690	215	204	-	2070	620	589	56,3
705	220	209	-	2105	630	599	56,8
720	225	214	-	2145	640	608	57,3
740	230	219	-	2180	650	618	57,8
755	235	223	-	-	660	-	58,3
770	240	228	20,3	-	670	-	58,8
785	245	233	21,3	-	680	-	59,2
800	250	238	22,2	-	690	-	59,7
820	255	242	23,1	-	700	-	60,1
835	260	247	24,0	-	720	-	61,0
850	265	252	24,8	-	740	-	61,8
865	270	257	25,6	-	760	-	62,5
880	275	261	26,4	-	780	-	63,3
900	280	266	27,1	-	800	-	64,0
915	285	271	27,8	-	820	-	64,7
930	290	276	28,5	-	840	-	65,3
950	295	280	29,2	-	860	-	65,9
965	300	285	29,8	-	880	-	66,4
995	310	295	31,0	-	900	-	67,0
1030	320	304	32,2	-	920	-	67,5
1060	330	314	33,3	-	940	-	68,0
1095	340	323	34,4	-	-	-	-

Příloha 6:

Třídy obrobiteľnosti

ISO	Obráběný materiál	Poznámky	Pevnost v tahu R _m N/mm ²	Tvrdość [HB]	Třída obrobiteľno sti
P	< 0,15%C	-	420	125	1
	Oceli nelegované ≥ 0,25%C	Popuštěná ocel	650	190	2
	Oceli konstrukční < 0,55%C	Žíhaná ocel	850	220	3
	Oceli legované ≤ 0,55%C	Popuštěná ocel	750	250	4
		Žíhaná ocel	1000	300	5
	Oceli se střední pevností v tahu a ocelolitina	Popuštěná ocel	600	200	6
		Žíhaná ocel	930	275	7
	(s méně než 5%C)	Žíhaná ocel	1000	300	8
		Vysoce zušlechťená ocel	1200	350	9
	Vysoce legované oceli	Žíhaná ocel	680	200	10
	Nástrojové oceli	Žíhaná ocel	110	325	11
M	Korozivzdorné oceli a ocelolitiny	Feriticko/Martenzit. ocel	680	200	12
		Martenzitická ocel	820	240	13
		Austenitická ocel	600	180	14
K	Šedá litina (GG)	Feritická litina	-	160	15
		Perlitická litina	-	250	16
	Tvár lit.s uzlíkov. graf. (GGG)	Feriticko/Perlitická litina	-	180	17
		Perlitická litina	-	260	18
	Tvárná litina	Feritická litina	-	130	19
	Tvárná litina	Perlitická litina	-	230	20
N	Hliník	Nelegovaný Al	-	60	21
	Hliník	Kovaný/legovaný Al	-	100	22
	Hliník	Nelegovaný Al	-	75	23
	Hliník	Kovaný/legovaný Al	-	90	24
	Hliník	Vysoce teplo. odolný Al	-	1130	25
	Slitiny mědi	Lehká mechanika	-	110	26
	CuZn-slitiny	-	-	90	27
	Elektrolytická mědi	-	-	100	28
	Duroplast	-	-	90	29
	Grafit	-	-	-	30
	Tvrzená pryž	-	-	-	
S	Vysoce tepel. odolné slití.	Fe základ, popuštěná	-	200	31
	Super slitiny	Ni/Co základ, zušlechťená	-	280	32
	Super slitiny	Ni/Co základ, popuštěná	-	250	33
	Super slitiny	Ni/Co základ, zušlechťená	-	350	34
	Titan	-	-	320	35
	Titan	-	400	-	36
	Slitiny titanu	Alfa-beta slitiny/ zušlechťená	1050	-	37
H				55 HRC	38
				60 HRC	39
			400		40
				55 HRC	41

Příloha 7:

Naměřené hodnoty parametrů drsnosti R_a , R_z a C_{TP50} u oceli

R_a	Číslo měření	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	\emptyset [μm]
Pracovní prostředí	VASCO 1000	1,169	0,731	0,440	0,859	1,184	1,173	1,250	1,262	0,952	1,109	1,013
	ESOK 1.1D	1,086	0,847	0,887	1,305	1,524	1,351	1,236	1,382	0,913	1,500	1,203
	GRINDEX 10	1,574	1,488	1,541	1,445	1,255	1,442	1,272	1,380	1,161	1,170	1,373
	ESOK 1.0D	1,326	1,308	1,073	1,318	1,328	1,439	1,640	1,815	1,917	1,993	1,516
	ESOK 1.0F	2,178	2,024	2,119	2,133	2,289	1,850	2,051	1,602	2,077	1,889	2,021
	ESOK 1.0E	2,424	1,777	2,310	2,251	2,149	2,132	1,759	2,034	1,996	2,333	2,117
	HOCUT	2,586	2,790	2,786	2,505	2,692	2,424	2,740	2,574	2,574	2,558	2,623
	ESOK 1.1B	2,556	2,500	2,662	2,825	2,288	2,858	2,466	2,821	2,655	2,849	2,648
	EOPS 1030	3,066	3,129	3,113	3,378	2,063	3,163	2,409	2,632	2,750	2,749	2,845
	CIMSTAR	3,293	3,365	3,517	3,866	2,342	2,550	3,495	2,722	3,006	3,238	3,139
	BLASOCUT	2,974	3,731	3,253	2,812	3,789	3,300	3,861	3,931	3,609	3,505	3,477

R_z	Číslo měření	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	\emptyset [μm]
Pracovní prostředí	VASCO 1000	7,430	5,514	3,433	5,526	7,744	7,476	7,581	7,467	6,321	8,041	6,653
	ESOK 1.1D	6,705	7,244	7,353	7,538	8,834	8,950	8,301	10,161	6,280	9,306	8,067
	GRINDEX 10	9,559	8,781	8,694	8,398	7,683	8,368	8,669	9,517	8,276	8,214	8,616
	ESOK 1.0D	8,561	8,824	7,015	8,525	9,198	8,863	10,637	10,612	11,009	11,873	9,512
	ESOK 1.0F	12,416	11,180	12,370	11,579	10,680	10,019	10,848	8,536	11,054	10,852	10,953
	ESOK 1.0E	13,608	9,622	13,470	12,438	11,883	11,254	9,658	11,100	12,180	13,696	11,891
	HOCUT	14,115	15,568	15,264	15,060	14,326	12,409	13,973	12,297	12,389	13,241	13,864
	ESOK 1.1B	13,517	12,667	13,534	15,377	12,504	14,693	13,777	15,389	13,222	14,293	13,897
	EOPS 1030	14,707	15,645	15,983	17,573	13,598	14,666	12,576	13,983	15,001	13,722	14,745
	CIMSTAR	16,868	16,265	18,340	19,581	13,274	14,655	20,084	14,521	15,665	16,294	16,555
	BLASOCUT	16,123	20,249	15,020	12,871	19,991	15,585	19,131	21,353	18,897	17,881	17,710

C_{TP}	Číslo měření	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	\emptyset [μm]
Pracovní prostředí	ESOK 1.1D	3,331	2,944	1,977	3,190	3,321	3,397	3,312	2,748	2,012	2,962	2,919
	ESOK 1.0D	1,613	2,300	1,725	3,173	2,057	2,708	4,382	4,484	4,334	4,480	3,126
	VASCO 1000	3,943	3,823	1,593	4,143	4,175	3,952	4,040	3,310	4,214	3,436	3,663
	GRINDEX 10	4,060	3,628	3,553	3,711	3,392	3,309	5,337	4,221	4,643	5,469	4,132
	ESOK 1.0F	6,171	4,589	5,636	7,200	4,769	3,715	3,810	4,577	6,156	5,940	5,256
	HOCUT	4,318	8,293	5,871	4,286	5,540	4,438	5,714	5,173	5,136	4,510	5,328
	ESOK 1.0E	7,806	3,546	7,283	7,334	5,453	5,460	4,291	5,364	5,593	4,973	5,710
	CIMSTAR	8,314	5,865	8,699	10,833	6,360	6,529	10,024	6,693	9,321	10,096	8,273
	EOPS 1030	8,974	8,268	10,033	9,931	7,924	9,331	9,181	6,162	8,928	6,215	8,495
	BLASOCUT	7,445	7,403	8,652	7,231	7,940	7,316	10,541	8,257	10,590	10,165	8,554
	ESOK 1.1B	9,392	9,160	9,814	10,494	9,397	11,220	8,976	9,312	6,916	8,337	9,302

Příloha 8:

Naměřené hodnoty parametrů drsnosti R_a , R_z a C_{TP50} u litiny

R_a	Číslo měření	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	\varnothing [μm]
Pracovní prostředí	ESOK 1.0F	0,268	0,284	0,316	0,367	0,421	0,299	0,309	0,333	0,260	0,432	0,329
	GRINDEX 10	0,501	0,242	0,267	0,299	0,261	0,385	0,386	0,683	0,333	0,539	0,390
	CIMSTAR	0,438	0,697	0,581	0,746	0,466	0,564	0,426	0,511	0,473	0,505	0,541
	EOPS 1030	1,193	1,338	1,189	1,295	1,056	1,092	1,338	1,209	1,227	1,253	1,219
	BLASOCUT	1,213	1,386	1,307	1,185	1,222	1,184	1,136	1,163	1,128	1,323	1,225
	ESOK 1.1B	1,291	1,394	1,166	1,242	1,118	1,213	1,348	1,406	1,318	1,361	1,286
	ESOK 1.1D	1,307	1,124	1,238	1,024	1,176	1,389	0,920	1,396	2,087	1,247	1,291
	ESOK 1.0E	1,364	1,371	1,424	1,418	1,569	1,410	1,476	1,641	1,393	1,474	1,454
	ESOK 1.0D	1,407	1,421	1,324	1,621	1,462	1,538	1,661	1,370	1,577	1,732	1,511
	VASCO 1000	1,876	1,959	1,994	1,861	1,826	1,719	1,656	1,738	1,763	1,812	1,820
	HOCUT	1,694	1,863	1,881	1,761	1,853	2,014	1,856	1,617	1,863	1,869	1,827

R_z	Číslo měření	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	\varnothing [μm]
Pracovní prostředí	ESOK 1.0F	2,846	3,278	2,787	3,797	4,600	4,675	2,473	4,110	2,874	4,988	3,643
	GRINDEX 10	4,415	3,032	2,860	3,159	3,499	3,302	3,992	6,121	4,297	4,554	3,923
	CIMSTAR	4,049	8,025	7,780	9,001	5,010	4,915	4,254	5,149	4,851	4,398	5,743
	BLASOCUT	7,326	8,522	8,243	7,526	7,596	7,049	8,888	7,347	7,587	8,366	7,845
	EOPS 1030	7,137	8,544	8,398	7,385	6,860	6,775	9,445	8,274	8,502	9,150	8,047
	ESOK 1.0E	7,928	8,840	8,547	8,300	8,237	7,846	8,651	8,455	8,107	8,604	8,352
	ESOK 1.1B	7,952	8,206	8,283	8,776	6,741	8,256	9,234	9,634	8,573	8,972	8,463
	ESOK 1.1D	10,658	7,545	7,922	6,817	7,449	8,954	6,436	7,993	14,713	8,491	8,698
	ESOK 1.0D	8,583	8,137	8,741	10,576	12,472	10,725	11,422	9,197	11,233	11,030	10,212
	VASCO 1000	10,118	11,942	11,256	11,118	10,314	11,001	9,756	9,095	10,193	9,920	10,471
	HOCUT	10,814	10,804	9,486	10,488	10,520	12,429	10,352	10,151	11,074	11,934	10,805

C_{TP}	Číslo měření	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	\varnothing [μm]
Pracovní prostředí	GRINDEX 10	2,101	1,189	1,061	0,827	0,685	1,041	1,066	3,976	1,469	1,256	1,467
	CIMSTAR	1,563	1,758	1,354	2,292	1,916	1,314	1,217	1,827	1,429	1,380	1,605
	ESOK 1.0F	0,781	4,978	1,579	1,126	2,269	2,313	0,828	2,435	1,617	2,915	2,084
	EOPS 1030	2,388	3,713	2,256	2,650	2,195	1,760	2,370	2,226	2,518	2,466	2,454
	ESOK 1.0E	2,077	2,151	2,449	2,334	2,591	2,017	3,920	3,146	2,367	2,175	2,523
	BLASOCUT	2,291	8,181	2,110	1,920	2,728	2,140	2,027	2,260	1,970	2,149	2,778
	ESOK 1.1B	3,409	2,679	2,270	2,836	1,851	3,221	2,862	4,056	4,400	2,904	3,049
	ESOK 1.0D	3,768	2,594	4,039	3,466	3,970	3,361	4,627	2,868	3,192	3,320	3,521
	ESOK 1.1D	5,274	3,955	3,348	3,840	3,100	4,887	3,358	3,894	6,930	3,375	4,196
	VASCO 1000	5,389	5,581	4,634	4,310	4,240	4,440	4,083	4,350	3,477	3,497	4,400
	HOCUT	4,296	3,666	3,786	4,047	4,436	4,195	4,646	4,580	4,319	7,136	4,511

Příloha 9:

Naměřené hodnoty parametrů drsnosti R_a , R_z a C_{TP50} u hliníku

R_a	Číslo měření	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	\emptyset [μm]
Pracovní prostředí	HOCUT	0,352	0,365	0,404	0,385	0,377	0,339	0,211	0,219	0,240	0,270	0,316
	VASCO 1000	0,283	0,422	0,473	0,470	0,331	0,379	0,406	0,428	0,477	0,224	0,389
	CIMSTAR	0,424	0,416	0,432	0,386	0,363	0,438	0,389	0,404	0,362	0,365	0,398
	BLASOCUT	0,524	0,532	0,492	0,509	0,483	0,523	0,494	0,431	0,485	0,449	0,492
	ESOK 1.0D	0,649	0,502	0,473	0,540	0,428	0,489	0,640	0,648	0,734	0,772	0,588
	EOPS 1030	0,634	0,529	0,649	0,584	0,567	0,639	0,660	0,639	0,612	0,684	0,620
	ESOK 1.0F	1,168	0,963	1,055	1,060	1,004	0,867	0,861	1,215	0,868	1,194	1,026
	GRINDEX 10	1,158	1,282	1,384	1,213	1,432	1,238	1,125	0,857	0,919	0,858	1,147
	ESOK 1.0E	1,143	1,402	1,365	1,296	1,586	1,347	1,484	1,557	1,551	1,281	1,401
	ESOK 1.1D	1,440	1,328	1,318	1,328	1,292	1,565	1,751	1,282	1,457	1,389	1,415
	ESOK 1.1B	1,632	1,629	1,672	1,641	1,657	1,533	1,711	1,673	1,919	1,637	1,670

R_z	Číslo měření	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	\emptyset [μm]
Pracovní prostředí	VASCO 1000	1,867	2,678	2,895	2,935	2,210	2,409	2,592	2,618	3,162	1,465	2,483
	HOCUT	3,552	3,176	3,247	2,606	2,804	2,585	1,519	1,682	1,771	2,265	2,521
	CIMSTAR	2,828	3,095	3,268	3,088	2,555	3,169	2,607	3,050	2,541	2,673	2,887
	BLASOCUT	3,692	3,526	3,686	3,479	3,050	3,354	3,274	3,117	3,675	3,506	3,436
	ESOK 1.0D	4,246	3,520	3,328	3,206	2,974	3,575	4,106	4,428	4,885	4,928	3,920
	EOPS 1030	4,817	3,630	4,331	3,606	4,579	4,332	4,402	4,120	4,173	4,822	4,281
	ESOK 1.0F	7,103	7,053	6,248	7,825	6,954	5,647	5,394	8,417	5,432	8,336	6,841
	GRINDEX 10	7,025	7,000	7,632	7,784	7,936	7,574	7,355	5,357	5,559	5,200	6,842
	ESOK 1.1D	8,654	7,865	7,720	7,067	7,595	9,181	9,343	7,458	8,004	8,880	8,177
	ESOK 1.0E	7,260	8,533	7,884	7,983	9,792	8,106	8,752	9,058	9,371	7,944	8,468
	ESOK 1.1B	9,203	8,916	#####	9,229	9,960	9,185	10,023	9,835	10,299	9,404	9,613

C_{TP}	Číslo měření	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	\emptyset [μm]
Pracovní prostředí	VASCO 1000	0,894	1,141	1,315	1,425	0,913	1,083	1,819	1,816	1,975	0,692	1,307
	HOCUT	3,350	1,142	2,921	2,092	1,774	1,568	0,754	0,774	1,078	1,013	1,647
	CIMSTAR	1,583	1,759	1,504	1,922	1,377	2,460	1,600	1,349	1,442	1,625	1,662
	BLASOCUT	2,010	1,363	1,547	1,938	1,324	1,523	1,081	1,454	3,073	1,563	1,688
	ESOK 1.0D	2,159	1,863	1,741	1,785	1,166	1,819	1,897	2,179	2,753	2,404	1,977
	EOPS 1030	2,846	2,213	2,798	2,297	2,906	4,552	2,210	2,600	2,521	3,626	2,857
	ESOK 1.0F	4,212	3,801	2,859	3,638	3,599	2,901	2,954	4,771	2,599	3,047	3,438
	ESOK 1.1D	4,027	3,401	2,527	2,431	4,550	4,341	4,072	4,937	4,206	3,655	3,815
	GRINDEX 10	4,688	3,519	3,930	3,599	3,587	3,184	4,012	3,789	3,741	5,255	3,930
	ESOK 1.0E	7,387	4,692	4,085	4,046	3,925	4,358	4,575	4,694	5,335	4,694	4,779
	ESOK 1.1B	5,427	5,201	5,428	4,967	6,192	5,116	6,269	5,735	5,441	5,802	5,558

Příloha 10:

Naměřené hodnoty parametrů drsnosti R_a , R_z a C_{TP50} u mosazi

R_a	Číslo měření	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	\emptyset [μm]
Pracovní prostředí	VASCO 1000	0,161	0,188	0,256	0,155	0,227	0,150	0,232	0,209	0,257	0,267	0,210
	EOPS 1030	0,272	0,256	0,200	0,189	0,433	0,336	0,232	0,179	0,177	0,204	0,248
	ESOK 1.0D	0,336	0,281	0,544	0,330	0,290	0,367	0,382	0,241	0,292	0,357	0,342
	CIMSTAR	0,499	0,504	0,400	0,360	0,509	0,273	0,319	0,466	0,427	0,259	0,402
	GRINDEX 10	0,317	0,649	0,324	0,435	0,428	0,338	0,378	0,326	0,340	0,667	0,420
	ESOK 1.1D	0,605	0,296	0,439	0,613	0,372	0,302	0,370	0,548	0,458	0,423	0,443
	BLASOCUT	0,670	0,383	0,479	0,480	0,446	0,410	0,437	0,427	0,411	0,401	0,454
	ESOK 1.0E	0,546	0,470	0,521	0,596	0,416	0,500	0,534	0,461	0,512	0,476	0,503
	ESOK 1.1B	0,590	0,575	0,619	0,665	0,604	0,793	0,605	0,763	0,913	0,650	0,678
	HOCUT	0,642	0,791	0,627	0,746	0,643	0,560	0,617	0,789	0,700	0,846	0,696
ESOK 1.0F	0,762	0,730	1,201	0,780	0,866	0,825	0,771	1,183	0,939	0,951	0,901	

R_z	Číslo měření	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	\emptyset [μm]
Pracovní prostředí	VASCO 1000	1,018	1,167	1,631	1,050	1,116	0,967	1,232	1,251	1,493	1,649	1,257
	EOPS 1030	2,015	2,034	2,005	1,123	3,060	1,957	0,934	1,223	1,193	1,459	1,700
	ESOK 1.0D	1,765	2,121	3,369	2,104	2,039	2,480	2,591	1,285	1,715	2,616	2,209
	CIMSTAR	2,747	4,941	3,581	2,459	2,974	2,761	1,758	2,707	2,248	1,348	2,752
	GRINDEX 10	2,133	3,844	2,225	2,434	2,428	2,060	2,989	2,786	2,613	4,035	2,755
	ESOK 1.1D	3,268	2,382	2,719	4,260	2,144	1,495	2,586	3,603	2,896	2,964	2,832
	ESOK 1.0E	2,381	3,057	3,743	2,992	1,710	2,569	2,879	2,557	3,019	3,520	2,843
	BLASOCUT	4,465	2,432	3,219	4,455	2,675	2,347	2,235	2,477	2,389	3,503	3,020
	HOCUT	3,477	4,224	3,501	3,900	3,413	2,915	3,147	3,766	4,001	4,742	3,709
	ESOK 1.1B	3,365	5,889	3,475	4,702	4,013	4,919	3,368	5,283	5,612	5,139	4,577
ESOK 1.0F	4,946	4,473	5,992	4,569	4,324	4,849	4,202	7,367	5,434	4,570	5,073	

C_{TP}	Číslo měření	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	\emptyset [μm]
Pracovní prostředí	VASCO 1000	0,461	0,582	2,211	0,584	1,187	0,534	1,097	1,136	1,525	1,372	1,069
	EOPS 1030	1,741	1,744	1,688	0,870	2,546	1,867	1,288	1,274	1,497	1,360	1,588
	BLASOCUT	3,392	2,247	3,718	2,922	2,427	1,236	1,160	1,131	1,401	2,545	2,218
	HOCUT	2,039	2,413	1,781	2,468	2,029	1,570	2,291	2,588	3,316	2,487	2,298
	GRINDEX 10	1,452	4,144	1,065	1,746	1,189	1,514	3,095	3,400	3,269	3,214	2,409
	ESOK 1.0E	2,116	2,453	2,039	2,792	1,459	1,733	2,318	1,629	4,047	4,257	2,484
	ESOK 1.0D	1,766	2,290	4,976	2,174	1,289	4,099	4,378	1,166	0,942	2,274	2,535
	ESOK 1.1D	1,791	3,008	2,391	4,002	1,227	1,034	3,536	3,521	3,965	4,275	2,875
	CIMSTAR	2,630	10,321	2,916	2,530	2,030	2,544	3,525	1,408	1,968	1,526	3,140
	ESOK 1.1B	4,534	2,600	1,825	2,397	2,258	4,613	2,027	6,973	2,869	4,887	3,498
ESOK 1.0F	4,374	3,225	3,584	3,154	2,862	3,969	3,473	5,865	6,053	3,221	3,978	