

**SLOVENSKÁ POĽNOHOSPODÁRSKA UNIVERZITA V
NITRE
TECHNICKÁ FAKULTA**

2118224

DIPLOMOVÁ PRÁCA

2010

Bc. Peter Zelnický

**SLOVENSKÁ POĽNOHOSPODÁRSKA UNIVERZITA V
NITRE
TECHNICKÁ FAKULTA**

**VPLYV DRUHU OBRÁBANÉHO MATERIÁLU
A REZNÝCH PODMIENOK NA PROCES VRTANIA**

Diplomová práca

Študijný program:	Kvalita produkcie
Študijný odbor:	5. 2. 57 Kvalita produkcie
Školiace pracovisko:	Katedra kvality a strojárskych technológií
Školiteľ:	Ing. Ján Žitňanský, PhD.

Nitra 2010

Bc. Peter Zelnický

Čestné vyhlásenie

Podpísaný Peter Zelnický vyhlasujem, že som záverečnú prácu na tému „Vplyv druhu obrábaného materiálu a rezných podmienok na proces vŕtania“ vypracoval samostatne s použitím uvedenej literatúry.

Som si vedomý zákonných dôsledkov v prípade, ak hore uvedené údaje nie sú pravdivé.

V Nitre dňa 2010

.....

Peter Zelnický

Pod'akovanie

Touto cestou by som sa chcel poďakovať vedúcemu svojej bakalárskej práce Ing. Ján Žitňanský, PhD. za jeho pomoc, cenné rady a pripomienky pri riešení problémov pri zostavovaní tejto práce.

V Nitre dňa 2010

.....

Peter Zelnický

Abstrakt

Bc. ZELNICKÝ, PETER: zelo77@gmail.com, 2010. Vplyv druhu obrábaného materiálu a rezných podmienok na proces vŕtania. [Diplomová práca] Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre. Technická fakulta, Katedra kvality a strojárskych technológií (KKST). Vedúci diplomovej práce: Ing. Žitňanský Ján, PhD.

Cieľom diplomovej práce je stanoviť vplyv rezných parametrov ako je rezná rýchlosť, posuv a chladenie na kvalitu obrábaných plôch pri procese vŕtania. Tento vplyv bude skúmaný pre rôzne kovy ako napr. meď, mosadz, dural a olovený bronz. Sledované bude aj opotrebenie nástroja. Výsledky práce budú použiteľné pre technológov pri navrhovaní vhodných postupov vŕtania. Tento výber ovplyvní okrem kvality obrábaných plôch aj ekonomickosť celého procesu a teda je veľmi dôležitý pre produktivitu výrobnjej organizácie.

Kľúčové slová: rezná rýchlosť, chladenie, kvalita obrábaných plôch, opotrebenie plôch nástroja, posuv, meď, dural, olovený bronz

Abstract

Bc. ZELNICKÝ, PETER: zelo77@gmail.com, 2010. Influence of machined material and cutting conditions on the process of drilling. [Thesis]. The Slovak University of Agriculture. Technical Faculty, Department of Quality and engineering technologies (KKST). Supervisor of thesis: Ing. Žitňanský Ján, PhD.

Point of this thesis is to assess influence of cutting parameters such as cutting speed, movement and cooling to quality of machined surfaces for drilling process. This influence will be researched for different metals such as for example: copper, duraluminium, plumbeous bronze. Observed will be attrition of tool too. Results of this thesis will be applicable for methods engineers by advisable drill machining design. This choice will influence an economic of whole process too, besides a quality of machined surfaces and so it's very important for producer factory productivity.

Key words: cutting speed, cooling, quality of machined surfaces, attrition of tool surfaces, movement, copper, duraluminium, plumbeous bronze

Obsah

Zoznam skratiek a značiek.....	8
Úvod.....	9
1 Prehľad o súčasnom stave riešenej problematiky	11
1.1 Vrtanie.....	11
1.2 Druhy vrtania.....	11
1.3 Nástroje na vrtanie.....	13
1.3.1 Vrtáky.....	13
1.3.2 Rozdelenie vrtákov	13
1.3.3 Skrutkovicový vrták.....	14
1.4 Rezné podmienky pri vrtaní.....	16
1.5 Vznik triesky	17
1.6 Teplota rezania	18
1.6.1 Vznik a odvod tepla	18
1.6.2 Teplotné pole	19
1.6.3 Vplyv teploty na obrobok a nástroj.....	20
1.7 Chladenie a mazanie	21
1.8 Rezné materiály	23
1.8.1 Nástrojové ocele	24
1.8.2 Spekané karbidy.....	24
1.8.3 Rezná keramika	25
1.8.4 Kubický nitrid bóru.....	26
1.8.5 Diamant	26
1.9 Opatrebovanie	27
1.10 Drsnosť.....	30
1.10.1 Základné pojmy	31
1.10.2 Základné charakteristiky drsnosti	32
2 Cieľ práce.....	34
3 Metodika.....	35
3.1 Rámcová metodika	35
3.2 Použité meracie prístroje.....	35
3.2.1 Snímač sily	36

3.2.2 Snímač teploty	38
3.2.3 Predzosilňovač a prevodník.....	38
3.2.4 Meranie drsnosti	40
3.2.5 Termokamera.....	40
3.3 Vzorky.....	41
3.4 Zvolené parametre a rezný nástroj.....	41
3.5 Postup merania	42
4 Výsledky práce.....	43
4.1 Nameraná stredná teplota a rezná sila.....	43
4.2 Grafické zobrazenie strednej teploty a reznej sily.....	46
4.2.1 Dural.....	46
4.2.2 Olovený bronz	47
4.2.3 Mosadz	48
4.2.4 Meď	49
4.3 Namerané hodnoty drsnosti.....	50
4.4 Geometria vyvŕtaného otvoru.....	54
5 Diskusia	55
6 Záver	58
7 Použitá literatúra	59
Prílohy	61

Zoznam skratiek a značiek

A/D – analóg/digitál

D – priemer vrtáka, mm

DC – jednosmerný prúd, V

f – posuv, mm

F – sila, N

f_m – posuv za minútu, mm.min⁻¹

f_n – posuv na otáčku, mm

F_{nam} – nameraná sila, N

F_z – skutočná rezná sila, N

L – vzdialenosť, mm

n – počet otáčok za minútu, min⁻¹

P_c – počet vyvýšení, 1.cm⁻¹

PC/AT – osobný počítač so základnou doskou formátu AT

R_a – stredná aritmetická odchýlka, μm

R_m – maximálna výška profilu, μm

R_p – maximálna výška nerovnosti profilu z desiatich bodov, μm

R_q – stredná kvadratická odchýlka, μm

R_y – najväčšia výška profilu, μm

R_z – výška nerovnosti profilu, μm

t_p – nosný podiel profilu, %

v – rýchlosť, m.s⁻¹

v_c – rezná rýchlosť, m.min⁻¹

Úvod

Kvalita a efektívnosť strojárkej výroby závisia od metód, prostriedkov a parametrov, ktorými pôsobíme na obrobok a tým meníme jeho pôvodné vlastnosti na vlastnosti želané.

Obrábanie má medzi ostatnými strojárskymi technológiami špeciálne postavenie, pretože je to technológia, ktorá splňuje tie najvyššie požiadavky na akosť a presnosť výrobkov. Reprezentuje asi 30 % prácnosti všetkých strojárskych technológií. Zahŕňa aj dokončovacie procesy, ktorými súčiastky dosahujú svoj požadovaný tvar, presnosť a povrch. Je možné použiť niekoľko postupov obrábania. Jedným z často využívaných obrábacích techník je aj proces vŕtania.

Vŕtanie je proces trieskového obrábania, ktorým sa odoberaním materiálu nástrojom s najčastejšie dvomi reznými hranami v obrobku vytvára otvor kruhového prierezu. Po vŕtaní môžeme presnosť zhotovených dier a kvalitu obrobených plôch dodatočne zvýšiť následným vyhrubovaním alebo vystružovaním. Pri vyhrubovaní sa dosahujú presnejšie rozmery a geometrický tvar predtým vyvŕtaných dier. Vyhrubovanie je najčastejšou prípravnou operáciou pred vystružovaním. Vystružovanie je operácia na presné dokončovanie valcových alebo kužeľových otvorov pričom sa odoberá len veľmi malá trieska a diera dostáva presný tvar, správny rozmer a hladký povrch. Výstružník odoberá maximálne 0,5 mm materiálu.

Výber vhodného postupu výroby v danej organizácii je úlohou technológa. Tento výber ovplyvní kvalitu obrobených vrstiev, produktivitu a celkové technologické náklady obrábania. V súčasnosti je počet variantov technologických postupov veľmi veľký, takže na vykonanie daného technologického úkonu je možné využiť rôzne stroje, nástroje, prípravky, postupy a parametre rezania. Rozdiel medzi niektorými postupmi je malý a preto nemôžeme prehlásiť, že vybraný variant z celkového počtu postupov je ten najoptimálnejší a k ideálnemu postupu sa dá iba priblížiť. Preto sme každý rok svedkom neustáleho pokroku vo výrobných technológiách. V minulosti bolo nájdenie optimálneho technologického postupu záležitosťou len intuície a nadobudnutých skúseností.

V súčasnej trhovej ekonomike, kde sa kladie dôraz na neustále znižovanie výrobných nákladov je obzvlášť nutné pristupovať k výberu vhodného obrábacieho postupu aj z ekonomického hľadiska. Jedným z ďalších trendov vystupujúcich do popredia je prispôsobovanie výroby aby bola čo najpriateľnejšia pre environment, čo je spôsobené stúpajúcim povedomím obyvateľstva, teda sú sprísnené podmienky pre ekológiu výroby. Preto sme svedkami neustáleho sprísňovania predpisov a zákonov týkajúcich sa ochrany životného prostredia. Tieto faktory významne ovplyvňujú efektívnosť, konkurencieschopnosť a teda aj existenciu strojárskych podnikov.

Pri vŕtaní je dôležitá správna voľba reznej kvapaliny, ktorá sa prejaví na kvalite obrobeného povrchu, nákladoch na ochranu životného prostredia, používanie a likvidáciu týchto kvapalín. Dodnes je v niektorých podnikoch správny výber reznej kvapaliny podceňovaný. Rezné kvapaliny majú vplyv na mazanie a chladenie obrobku a vŕtacieho nástroja. Takisto pomáhajú odstraňovať triesky ich vyplavovaním, čím ovplyvňujú aj samotný proces tvorenia triesky. Rezné kvapaliny teda vplývajú na rezné sily, hrúbku odrezávanej vrstvy, energetickú spotrebu, spevnenie a priebeh napätí v povrchových vrstvách obrábaných plôch, drsnosť obrábaných plôch, presnosť zhotovených dier, opotrebenie nástroja atď.

Práca analyzuje mieru vplyvu druhu obrábaného materiálu a rezných podmienok na proces vŕtania a na výsledok takto obrobeného obrobku. Rezné podmienky sú pritom charakterizované najmä teplotou a reznou silou.

1 Prehľad o súčasnom stave riešenej problematiky

1.1 Vrtanie

Vrtanie je jedným zo spôsobov trieskového obrábania materiálov. Vo vrtanom predmete sa vytvára otvor valcového tvaru rôznej veľkosti a presnosti. Takto zhotovený otvor môže byť priebežný alebo nepriebežný. Taktiež je ho možné využiť na zväčšovanie predvrtaných, predliatych alebo predlisovaných dier.

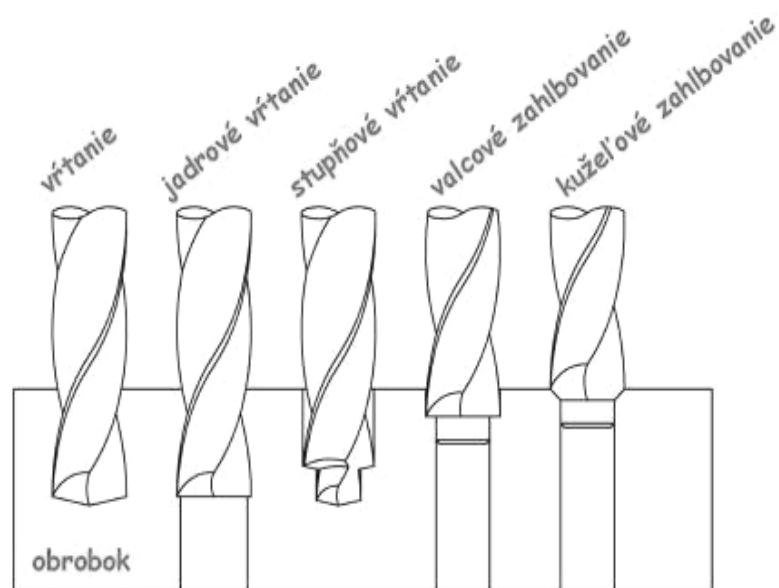
Vrtanie môžeme rozdeliť na ručné a strojové. Na strojové vrtanie sa najčastejšie vykonáva na vrtacích strojoch takzvaných vrtáčkach, ale je možné vykonať aj na iných strojoch napríklad na sústruhu alebo fréze.

Hlavný aj vedľajší pohyb vykonáva pri vrtaní nástroj. To platí pre vrtanie vo vrtáčkach. Hlavný rezný pohyb je rotačný a vedľajší rezný pohyb je posun v smere otáčania. Pri použití iných vrtacích strojov sa časti vykonávajúce tieto pohyby menia. Napríklad pri vrtaní na sústruhu koná hlavný rezný pohyb obrobok a prísuv vykonáva nástroj.

1.2 Druhy vrtania

Vrtanie možno rozdeliť podľa rôznych hľadísk:

1. Podľa spôsobu vrtania:
 - vrtanie
 - jadrové vrtanie
 - stupňové vrtanie
 - valcové zahlbovanie
 - kužeľové zahlbovanie



Obr. 1 Spôsoby vrtania (MatNet, 2007)

2. Podľa pomeru vrtanej diery D k dĺžke diery l :

- Bežné vrtanie – používajú sa bežné vrtáky, ktoré konajú hlavný aj vedľajší rezný pohyb. Pomer priemeru diery D k dĺžke diery l je $< 1:10$.
- Vrtanie krátkych dier – používajú sa taktiež bežné vrtáky a technológia je podobná ako pri bežnom vrtaní. Jedná sa napríklad o diery prediate, predkované, atď.
- Vrtanie hlbokých dier – používajú sa špeciálne vrtáky, ktoré konajú rotačný pohyb. Vedľajší rezný pohyb vykonáva obrobok. Pomer dier D k L je $> 1:15$
- Vrtanie spôsobom medzikružia – používa sa špeciálny nástroj upnutý zvyčajne vo vrtacej hlave, ktorý vykonáva hlavný rezací pohyb. Použitie je pri vrtaní dier s väčším priemerom

(Žitňanský, 2000)

1.3 Nástroje na vrtanie

Podľa toho či sa vrtacie nástroje používajú na vytváranie, rozširovanie, alebo dokončovanie dier sa tieto nástroje delia na:

- vrtáky
- výstružníky
- záhlbníky
- výhrubníky
- vrtacie hlavy
- vyvrtávacie tyče
- špeciálne vrtacie nástroje

1.3.1 Vrtáky

Vrtáky slúžia na zhotovovanie, alebo rozširovanie slepých a priebežných dier tam kde sa nevyžaduje veľká rozmerová presnosť ani malá drsnosť povrchu. Výber typu vrtáku závisí hlavne od materiálu ktorý sa bude vrtat', ale aj od materiálu vrtáku, rezných podmienok a od voľby vrtacieho stroja. Voľba vhodných typov vrtákov má podstatný vplyv na presnosť, efektívnosť a produktivitu vrtania a aj na spotrebu vrtákov. (Mikovec, 1982)

1.3.2 Rozdelenie vrtákov

Vrtáky môžeme rozdeliť podľa viacerých hľadísk ako napríklad podľa konštrukcie samotného vrtáka, alebo podľa tvaru upínacej stopky.

Podľa zmyslu otáčania vrtáky rozlišujeme na:

- ľavé
- pravé

Podľa konštrukcie sa vrtáky rozdeľujú na:

- skrutkovicový vrták – najčastejšie používaný
- delový vrták – na vŕtanie hlbokých otvorov
- kopijovitý vrták – pre hrubé vŕtanie, je málo presný
- korunový vrták – pre vŕtanie veľkých otvorov do hrubého plechu
- strediaci vrták – pre strediace otvory (jednostranné alebo obojstranné)

Podľa upínacej stopky sa vrtáky rozdeľujú na:

- vrtáky s valcovou stopkou – na upínanie sa používajú skľučovadlá
- nástrčné – upína sa pomocou upínacích trňov
- s kužeľovou stopkou – upínajú sa priamo do kužeľového otvoru vretena

Na upnutie vrtákov sa môže použiť aj takzvaná rýchlopínacia hlava. (Mikovec, 1982)

1.3.3 Skrutkovicový vrták

Vŕtanie otvorov skrutkovitými vrtákmi je popri sústružení a frézovaní najčastejšie aplikovanou metódou v technológii obrábania. Skrutkovicové vrtáky sú najpoužívanejšie vrtáky pretože sa jedná o najvýkonnejšie nástroje pri vŕtaní. Oproti ostatným majú množstvo výhod. Ich drážky skrutkovice dobre odvádzajú triesky, pri práci sú dobre vedené a ich priemer sa pri ostrení prakticky nemení. Skladajú sa zo stopky a hlavy (pracovná časť).

Brit skrutkovicového vrtáku v oblasti špičky pracuje pri veľmi malej až nulovej rýchlosti. To spôsobuje vytvorenie nárastku, ktorý spôsobuje vylamovanie čiastočiek vrtáku. Voľba správnej geometrie vrtáku závisí od vlastností vŕtaného materiálu a rezných podmienok. (Mikovec, 1982)

1.4 Rezné podmienky pri vrtaní

Pri vrtaní sa stanovujú rezné podmienky na základe vlastností vrtaného materiálu. Určuje ich rezná rýchlosť v_c a posuv f . Ich kombináciou sa sleduje čo najväčšia efektivita a hospodárnosť procesu vrtania. Znížením týchto parametrov je možné dosiahnuť zväčšenie životnosti nástroja, ale zväčší sa aj čas potrebný na zhotovenie diery. Pri zvýšení reznej rýchlosti a posuvu dochádza naopak k väčšiemu opotrebeniu rezného nástroja a urýchlenie procesu rezania.

Rezná rýchlosť v_c sa pri vrtaní určuje ako obvodová rýchlosť bodu, ktorý sa nachádza na vonkajšej strane reznej hrany a dostaneme ho podľa nasledujúceho vzťahu:

$$v_c = \frac{\pi D n}{1000}, m. \min^{-1} \quad (1)$$

kde: D – priemer vrtáka, mm

n – počet otáčok za minútu, $ot. \min^{-1}$

Priamočiary pohyb po osi otáčania, ktorý pri vrtaní vykonáva väčšinou nástroj sa nazýva posuv a označuje sa písmenom f . Môže sa udávať buď ako posuv za minútu f_m , alebo posuv na otáčku f_n v závislosti od použitého stroja a tabuliek. Z tohto dôvodu je ich potrebné medzi sebou prepočítavať. Ak poznáme posuv za minútu, môžeme posuv na otáčku vypočítať nasledovne:

$$f_n = \frac{f_m}{n}, mm \quad (2)$$

kde: f_m – posuv za minútu, $mm. \min^{-1}$

n – počet otáčok za minútu, \min^{-1}

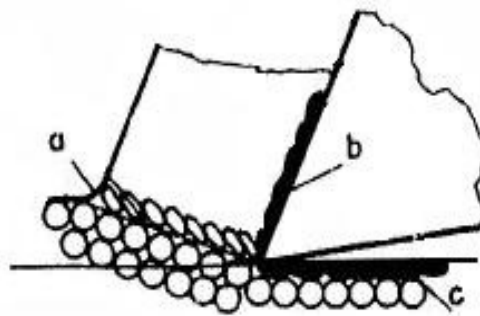
Na výber hospodárnych rezných podmienok môžeme použiť výpočet, alebo ich vyhľadať v tabuľkách. Pretože pri výpočte je treba zohľadniť tvar a geometriu vrtacieho nástroja, druh a vlastnosti vrtaného materiálu, charakter vrtania, požadovanú presnosť a drsnosť vytváratej diery a pod. je tento postup veľmi zdĺhavý a náročný. V praxi sa preto takmer výhradne hodnoty posuvu a reznej rýchlosti odčítavajú zo strojárskych tabuliek. (Žitňanský, 2000)

1.5 Vznik triesky

Trieska je deformovaná, z obrobku odrezaná časť materiálu. Obrábaný materiál kladie odpor proti vnikaniu rezného klina. Celkovým pôsobením tohto odporu a rezných síl sa obrábaný materiál pružne a plasticky deformuje, mení sa vzájomná poloha obrobku a rezného klina a takto môže dôjsť k chveniu.

Pre pochopenie podstaty procesu rezania je potrebné skúmanie javov, ktoré prebiehajú pri vzniku triesky. Najväčší význam z týchto javov má plastická deformácia.

Práca vynaložená na rezanie sa premieňa na teplo. Toto teplo vzniká na styčných plochách vrtáka s obrobkom, ktoré sa takto postupne zahrievajú. Zvýšenie teploty vrtáka a rezaného materiálu ovplyvňuje ich mechanické a fyzikálne vlastnosti. Výsledkom spolupôsobenia ovplyvnených častí dochádza k zväčšeniu opotrebenia rezného nástroja a nárastku. Z tohto dôvodu je potrebné nadbytočné teplo odvádzať. (Békés, 1981)



Obr. 5 Koreň triesky (Dimar, 2007)

a – primárna oblasť deformácie

b – sekundárna oblasť deformácie povrchovej vrstvy triesky pri čele noža

c – sekundárna oblasť deformácie povrchovej vrstvy obrobenej plochy

Z hľadiska vzhľadu môžeme tvary triesok zhodnotiť súborom parametrov ako sú napríklad polomer zakrivenia triesky, dĺžka triesky, rozstup závitov atď. Ako jednoduchý a ľahko merateľný ukazovateľ tvaru triesok sa používa takzvaný objemový súčiniteľ triesok, čo je pomer objemu triesok k objemu kovu. Podľa tohto súčiniteľa sa triesky delia na:

- delené (3 – 5)
- lámané (6 – 9)
- špirálové (10 – 15)
- krátke lámané (16 – 20)
- krátke skrutkové (40 – 50)
- dlhé skrutkové (80 – 100)
- motané (200 – 300)
- stuhové rovné (300 – 400)

Najväčší vplyv na tvar triesky má obrábaný materiál a tvar nástroja. Nemaľý vplyv majú aj rezné parametre. (Dimar, 2007)

1.6 Teplota rezania

1.6.1 Vznik a odvod tepla

Pri procese rezania vzniká deformačná práca a trenie na čele a na chrbte nástroja. Teplo vzniká v troch oblastiach deformácie koreňa triesky z ktorých teplo prúdi do chladnejších miest. Teplo odtiaľto môže byť odvádzané:

- trieskou
- rezným klinom
- obrábaným materiálom
- okolím (chladiacim médiom)

Pomer množstiev tepla odvádzaného trieskou, nástrojom, materiálom a okolím závisí najmä od reznej rýchlosti. Zvyšovaním reznej rýchlosti klesá množstvo tepla odvádzaného obrobkom, teplo odvádzané nástrojom a trieskou naopak stúpa. Keďže so zvyšovaním reznej rýchlosti sa privádza do procesu rezania viac energie je potrebné rátať s tým, že celkové teplo je vyššie. (Dimar, 2007)

Zvýšenie rýchlosti sa využíva napríklad pri rezaní súčiastok z materiálov ktoré môže nadmerná teplota zdeformovať alebo inak poškodiť. Obrobok sa tak zachová studený a nepoškodený.

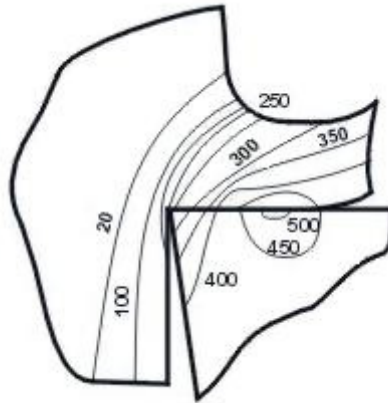
Teplo vznikajúce v oblasti prvotnej deformácie sa šíry nielen vedením a sálaním, ale najmä materiálovým tokom. Keďže teplo v tejto oblasti pôsobí vždy na nové „studené“ objemy materiálu sú tu teploty pomerne nízke (okolo 300 °C).

Zohriate elementy materiálu prichádzajúce do styku s rezným klinom sú zo začiatku ochladzované studeným rezným klinom, ktorý ešte stačí odvádzať aj teplo trenia. Povrchová teplota rezného klina sa však v miestach dotyku postupne zvyšuje a dosahuje úroveň teploty elementov rezaného materiálu. Trením styčných plôch sa teplota ďalej zvyšuje až kým nenastane rovnováha medzi zdrojmi a odvodom tepla. Vzniká stacionárne pole s teplotami až do 1000 °C. (Dimar, 2007)

1.6.2 Teplotné pole

Oblasť teplotného pola rezného klina s maximálnymi teplotami závisí od charakteru triesky a je výrazne ovplyvnené aj teplom z trenia. Pri obrábaní húževnatých materiálov sa vytvára spojitá trieska. Najvyššie teploty dosahuje čelná plocha v určitej vzdialenosti od reznej hrany. Drobivá trieska vzniká pri vŕtaní krehkých materiálov. Takáto trieska odskakuje od čela, trenie o čelo je malé a prostredie má dobrý odvod tepla. Maximálne teploty teda vznikajú na reznej hrane alebo na chrúbte blízko reznej hrany. Z týchto teplôt dostávame takzvanú celkovú teplotu rezania. Je to stredná teplota dotkových miest rezného nástroja a obrábaného materiálu. (Békés, 1981)

V súčasnosti si nemusíme toto teplotné pole rezného klina len predstavovať, ale vieme ho už aj pomerne presne modelovať. Zo začiatku sa používali analógie polí, analógie sietí. Dnes používame metódu konečných prvkov využívajúcu analógové a číslicové počítače. (Dimar, 2007)



Obr. 6 Teplotné pole rezného klina (Dimar, 2007)

1.6.3 Vplyv teploty na obrobok a nástroj

Časti obrobku sú počas rezania vystavené krátkodobému účinku teploty. Ich vlastnosti sú preto menej tepelne ovplyvňované ako vlastnosti rezného nástroja. Na zmenu vlastností tu vplyvajú aj deformácie a deformačné rýchlosti, ktoré zvyšujú vlastnosti obrobku. Vlastnosti rezaného materiálu môžeme vypočítať na základe tvrdosti rezaného materiálu a modifikovanej teploty. Skutočné vlastnosti sa však málo líšia od vlastností materiálu pri izbovej teplote. Toto však neplatí pri viacklinových rezných nástrojoch ako sú napríklad vrták, fréza, brúsny kotúč a podobne, pretože tu rezné klíny pôsobia na rovnaké miesta reznej plochy vo veľmi malých intervaloch. Teplota takto odrezávaných elementov je preto podstatne väčšia ako je teplota izbová a teda aj tepelné ovplyvnenie materiálu je omnoho väčšie. Teplo spôsobuje aj to, že u týchto viacklinových nástrojoch sa trieska neodvíja tak ako pri bežnom rezaní napríklad sústružení, ale sa dlhšie otiera o nástroj. To má za následok ešte väčšie zvyšovanie teploty nástroja, čím sa znižuje jeho efektívnosť rezania.

Jednotlivé časti rezného klina sú v procese rezania vystavované dlhodobému účinku meniacej sa teploty. Preto sa ich vlastnosti počas rezania neustále menia. Keďže je teplota v rôznych častiach rezného klina iná, má aj homogénny materiál rezného nástroja rôzne vlastnosti a rôznu odolnosť voči opotrebovaniu v závislosti od polohy teplotných zón. (Békés, 1981)

1.7 Chladienie a mazanie

Pri obrábaní dochádza v dôsledku rezných síl k veľkému tepelnému namáhaniu obrobku aj nástrojov. Niektoré obrábané materiály sa môžu vyznačovať aj veľmi nízkymi hodnotami tepelnej vodivosti čo má za následok koncentráciu teplôt na brite nástroja a tým zhoršenie jeho reznosti. Preto z hľadiska hospodárnosti procesu rezania je vyžadované použitie rezných kvapalín, ktoré umožňujú:

- zvýšiť úroveň ekonomického využitia nástrojov a strojov
- zvýšiť výkon obrábania
- zvýšiť trvanlivosť nástroja pri zachovaní rezných podmienok
- kladne pôsobiť na integritu povrchu
- chladiť nástroj a obrobok
- odvod triesok z pracovného priestoru
- zmenšiť adhéziu obrábaného materiálu k nástroju a tak zmenšiť tvorbu nárastku

Rezné kvapaliny sú po voľbe nástroja a rezných podmienok pre daný obrábaný materiál najlepším spôsobom ako ovplyvniť hospodárnosť a efektivitu rezania. Aby mala rezná kvapalina požadované funkcie musí mať vhodné chemické zloženie. Od týchto kvapalín sa požaduje aby sa vyznačovali:

- vysokým merným teplom
- vysokým výparným teplom
- vysokou zmáčavosťou, príľnavosťou a penetračnou schopnosťou
- schopnosťou dostatočne rýchlo vytvárať vhodné chemické zlúčeniny s kovmi obrobku a nástroja
- malou penivosťou

Tieto vlastnosti môžeme považovať za takzvané „pracovné“. Okrem nich sú na rezné kvapaliny kladené ďalšie požiadavky, ktoré sú z prevádzkového hľadiska nemenej dôležité, teda najmä aby boli:

- chemicky stále a schopné regenerácie
- schopné aspoň krátkodobo konzervovať súčiastky proti korózii
- zdravotne nezávadné
- nepoškodzovali náter stroja
- lacné

Univerzálna rezná kvapalina neexistuje, preto existuje viacero druhov kvapalín, ktoré sa volia podľa druhu zvoleného procesu rezania, obrábaného materiálu a rezných podmienok. Ich účinok možno ovplyvniť aj zmenou parametrov ako množstvo, tlak a spôsob prívodu kvapaliny.

Účinok reznej kvapaliny na zníženie trenia medzi nástrojom a odrezávaným materiálom sa neodvodzuje pri stredných a vyšších rýchlostiach rezania len od uplatnenia hydrodynamického účinku kvapaliny. Keďže teplota a tlaky v reznej oblasti sú veľmi vysoké, kvapalina stráca schopnosť zabrániť priamemu kontaktu odrezávaného materiálu a rezného nástroja. Zabrániť tomu možno pridaním chemicky aktívnych aditív do rezných kvapalín. Tieto prísady sa potom viažu valenčnými silami kovu na povrchu a prenikajú aj do povrchovej vrstvy difúziou a tak tvoria na povrchu tenký film zlúčenín, ktoré pôsobia priaznivo na zníženie trenia lebo majú podstatne menšiu pevnosť v šmyku ako materiál obrobku.

Odporúčané chladiace kvapaliny pre vŕtanie rôznych materiálov uvádza norma STN 22 1107:

- pri vŕtaní horčíka a jeho zliatin 4 % roztok fluoridu sodného alebo bez chladenia (použitie vody je neprípustné, lebo vzniká riziko samozápalu)
- pri vŕtaní hliníka a jeho zliatin emulzia vŕtacieho oleja, repkový olej, petrolej
- pre meď, bronz a mosadz emulzia vŕtacieho oleja alebo bez použitia chladenia
- pre konštrukčné ocele, ocele na odliatky a temperovanú liatinu emulzia vŕtacieho oleja
- pre zliatinové ocele emulzia vŕtacieho oleja alebo repkový olej

(Dimar, 2007)

1.8 Rezné materiály

Pri obrábaní dochádza k vysokému mechanickému a tepelnému namáhaniu nástroja, preto musí spĺňať vysoké požiadavky na pevnosť, tuhosť a odvod prebytočného tepla. Nástroj musí byť tiež odolný voči oteru pri vysokých teplotách a tlakoch v oblastiach ktoré dochádzajú k styku s obrábaným materiálom a odolnosť proti mechanickým a teplotným rázom. Tieto požiadavky sú väčšinou protichodné, pretože tvrdé a oteruvzdorné materiály sú málo húževnaté a naopak. Preto sa vyberá materiál spolu s konštrukciou nástroja a britu pre konkrétne podmienky obrábania.

Rezné materiály sa delia na:

- nástrojové ocele
 - uhlíkové
 - zliatinové
 - rýchlořezné
- spekané karbidy
- rezná keramika
- kubický nitrid bóru
- diamant

(Mikovec, 1982)

Tabuľka 1 Základné vlastnosti rezných materiálov (Mikovec, 1982)

Rezný materiál	Tvrdosť HV	Pevnosť v tlaku σ_{Pd} (MPa)	Pevnosť v ohybu σ_o (MPa)	Teplotní odolnosť (°C)
Rýchlořezná ocel	750 až 800	2 500 až 3 500*)	2 000 až 3 000*)	560 až 620
Slinutý karbid	1 300 až 2 000	4 000 až 5 600*)	900 až 2 200*)	1 100 až 1 200
Rezná keramika	2 000 až 2 400	3 500 až 4 000	450 až 600	1 600 až 1 800
Směsná řezná keramika	2 800 až 3 000	4 500	400 až 700	1 300
Kubický nitrid bóru	4 500	4 000	600	1 500
Diamant	7 000	3 000	300	320 až 720

* u novo vyvíjaných druhov vyššia

1.8.1 Nástrojové ocele

Uhlíkové nástrojové ocele – na ich vlastnosti najviac vplýva obsah uhlíka ktorého obsahujú 0,5 až 1,5 %, ďalej obsahujú maximálne 0,5 % mangánu a 0,35 % kremíku. Ďalšie legujúce prvky nemajú. Po tepelnom spracovaní môžu dosiahnuť tvrdosti až 64 HRC pri teplotách do 300 °C. Pri vyšších teplotách strácajú svoju reznosť. Uhlíkové ocele majú množstvo nevýhod ako:

- malá prekaliteľnosť a tvrdosť
- slabý výkon pri obrábaní vyššími rýchlosťami
- malá odolnosť hrubnutia zrna pri prekročení kaliacej teploty

Podľa tvrdosti ich môžeme rozdeliť na: húževnaté, stredne tvrdé, tvrdé a veľmi tvrdé.

Zliatinové nástrojové ocele – riešia niektoré nedostatky uhlíkových ocelí pridaním legujúcich prvkov. Sú legované chrómom, molybdénom, wolfrámom a vanádom. Tieto prvky sú karbidotvorné, teda zvyšujú tvrdosť a stabilitu karbidickej fázy, znižujú pokles tvrdosti pri popúšťaní a zvyšujú odolnosť voči opotrebeniu. Pridaním niklu sa zvýši húževnatosť.

Rýchlorezné ocele – sú vysoko legované wolfrámom, chrómom, vanádom, molybdénom a vysokovýkonné rýchlorezné ocele aj kobaltom. Po zakalení a popustení dosahujú tvrdosť 62 až 67 HRC. Dlhodobo znášajú teplotu 600 °C. (FPT, 2005)

1.8.2 Spekané karbidy

Vynikajú vysokou tvrdosťou a veľkou odolnosťou proti oteru až do 1000 °C. Je možné nimi obrábať veľmi tvrdé materiály ako zakalenú oceľ, tvrdú latinu a iné. Obrábajú sa materiály ktoré sa nedajú obrábať rýchloreznou oceľou alebo sa ňou dajú obrábať len veľmi neefektívne. Odolávajú namáhaniu tlakom, ich pevnosť v tlaku je až do 5000 MPa. Majú malú pevnosť v ohybe u niektorých druhov asi 2200 MPa. Spekané karbidy sa môžu skladať z karbidov wolfrámu, titánu, tantalu, chrómu a nióbu, ktoré sú spojené kobaltom. Práškový kobalt spevňuje väzby medzi karbidmi a tým ovplyvňuje húževnatosť.

Rozdelenie spekaných karbidov do skupín:

- skupina P – obsahujú karbid wolfrámu, karbid titánu a karbid tantalu. Používa sa pri obrábaní materiálov ktoré tvoria dlhú triesku a v oblasti vysokých teplôt rezania pri obrábaní ocelí.
- skupina K – obsahuje karbid wolfrámu. Používa sa na obrábanie materiálov tvoriacich krátku triesku, liatin a ocelí pri menších rezných rýchlostiach keď prevažuje abrazívny oter. Používajú sa aj na obrábanie tvrdených liatin, ocelí kalených a zušľachtených na vysokú pevnosť
- skupina M – nachádzajú sa v nich karbidy wolfrámu, tantalu, chrómu titánu. Použitie na obrábanie materiálov tvoriacich krátku aj dlhú triesku. Nie sú vhodné pre obrábanie žiaruvzdorných a žiarupevných ocelí.

(Mikovec, 1982)

1.8.3 Rezná keramika

Rezná keramika sa skladá z oxidu hlinitého a mineralizátora. Má vysokú odolnosť voči oteru pri vysokých teplotách do 1200°C a dosahuje tvrdosti 93 HRA. Tieto jej vlastnosti umožňujú podstatné zvýšenie rýchlostí obrábania, avšak má relatívne malú pevnosť v ohybe čo obmedzuje jej nasadenie. Tento problém s malou pevnosťou v ohybe sa rieši pridaním prímiesi vysokotavitel'ných kovov alebo ich karbidov. Ide najmä o karbid titánu a karbid wolfrámu pri ktorých je keramika húževnatejšia a pevnosť v ohybe dosahuje hodnoty až 700 MPa.

Nástroje z reznej keramiky sa vyrábajú vo forme presne ostrených doštičiek ktoré sa upínajú do držiaka. Tieto rezné doštičky sa po opotrebení nezabrusujú, ale ak to dovoľuje ich tvar a konštrukcia sa v držiaku otočia alebo vymenia za nové.

Oblasť použitia zahŕňa hrubovanie a dokončovanie tvárnej liatiny do pevnosti 700 MPa, sivej a temperovanej liatiny do tvrdosti 340 HB, tvrdenej liatiny do 850 HV, cementačných ocelí a ocelí k zušľach'ovaniu do tvrdosti 65 HRC, pevnosti od 500 MPa až po 2400 MPa a rýchlorezných ocelí.

Nehodí sa pre obrábanie nehrdzavejúcich, žiaruvzdorných, kyselinovzdorných ocelí, titánu a jeho zliatin, zliatin ocelí a liatin s vysokým obsahom niklu. (Mikovec, 1982)

1.8.4 Kubický nitrid bóru

Kubický nitrid bóru má kryštalickú mriežku podobnú kryštalickej mriežke diamantu. Má veľkú mikrotvrdosť skoro tak veľkú ako prírodný diamant, ale podstatne lepšie odoláva vysokým teplotám v oblasti rezania až do 1500 °C. Chemicky neovplyvňuje obrábaný materiál a má veľkú pevnosť v tlaku.

Kubický nitrid bóru sa pripája do oceľovej alebo mosadznej vložky, ktorá sa vkladá do držiaka rezných doštičiek alebo vyvrtávacích tyčí. Použitie je pre dokončovacie obrábanie liatin tvrdosti 200 až 600 HB a ocelí tvrdosti od 55 až 67 HRC.

Rezné doštičky sa vyrábajú v troch variantoch líšiacich sa húževnatosťou a tvrdosťou polykryštálu. Tieto varianty sú:

- kompozit 01 – pre veľmi jemné sústruženie a vyvrtávanie oceli pri posuvoch 0,02 až 0,04 mm.ot⁻¹ a liatiny pri 0,04 až 0,12 mm.ot⁻¹
- kompozit 05 – pre jemné a stredne jemné sústruženie, vyvrtávanie a frézovanie liatiny pri posuvoch do 0,4 mm.ot⁻¹
- kompozit 10 – pre stredne jemné obrábanie oceli tvrdosti do 60 HRC pri posuve do 0,2 mm.ot⁻¹

(Mikovec, 1982)

1.8.5 Diamant

Diamant patrí medzi najtvrdšie materiály či už sa jedná o prírodný diamant alebo o syntetický. Dosahuje mikrotvrdosť 86.10³ až 100.10³ MPa a tepelnú odolnosť do teploty 720 °C, sú však relatívne krehké čo ovplyvňuje ich použitie. Za normálnych teplôt je chemicky stály ale pri vysokých teplotách reaguje so železom a kyslíkom. Vlastnosti prírodného diamantu sú závislé od miesta nálezu, spôsobu spracovania a najmä sú orientované podľa kryštalických osí. Syntetický diamant má tieto vlastnosti konštantné.

Použitie si nástroje s diamantovým ostrým našli najmä pri obrábaní tvrdých a krehkých materiálov ako sú ferit, kremík, korund, germánium a iné. Ďalej sa používajú pre jemné obrábanie neželezných kovov, plastov, laminátov, keramiky, porcelánu a neželezných kovov. Pre obrábanie železných materiálov sú nevhodné.

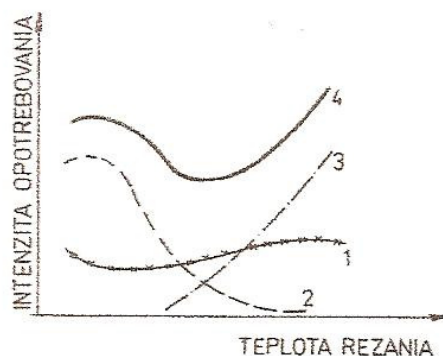
(Mikovec, 1982)

1.9 Opotrebovanie

Poznáme tri mechanizmy opotrebovania:

- mechanicko-brusné
- chemicko-difúzne
- molekulárno-adhézne

Na kvantitatívne ohodnotenie opotrebenia sa používa veličina, ktorá sa nazýva intenzita opotrebenia. Tá vyjadruje rýchlosť úbytku materiálu rezného klina.



Obr. 7 Vplyv teploty rezania na intenzitu opotrebovania a jej zložky (Békés, 1981)

1 – intenzita mechanicko-brusného opotrebovania

2 – intenzita molekulárno-adhézneho opotrebovania

3 – intenzita chemického-difúzneho opotrebovania

4 – intenzita výsledného opotrebovania

Intenzita opotrebenia priamo závisí od vlastností jednotlivých použitých obrábaných a rezných materiálov v miestach ich dotyku. Tieto vlastnosti materiálov neovplyvňujú len intenzitu, ale aj mechanizmus priebehu opotrebenia. Intenzitu opotrebenia obrábaného a rezného materiálu môžeme vypočítať podľa fyzikálnych alebo štatistických rovníc.

Pri stanovení celkovej intenzity opotrebenia sa sčítavajú jednotlivé intenzity opotrebenia patriace obrábanému a reznému materiálu. Na celkový priebeh opotrebenia okrem vlastností obrábaného a rezného materiálu vplýva množstvo faktorov. Ovplyvňuje ho napríklad aj vzájomná rýchlosť pohybu, prostredie a teplota pri ktorej

prebieha proces rezania. Typický priebeh jednotlivých častí intenzity opotrebenia spolu s celkovou intenzitou opotrebenia je znázornený na obrázku č. 7.

Na styčných plochách rezného materiálu s obrábaným dochádza vždy k vzájomnej výmene materiálu. K výraznému opotrebovaniu dochádza pri vysokej vzájomnej rýchlosti pohybu, vysokej teplote, tlaku a koeficientu trenia v miestach s najväčšou intenzitou opotrebenia.

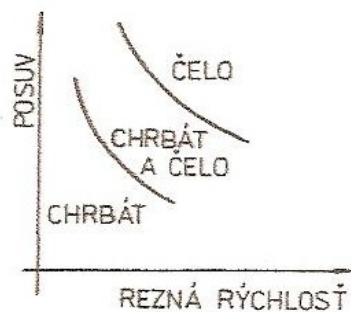


Obr. 8 Typické opotrebenie rezného klina pri obrábaní (Békés, 1981)

a – ocelí b – liatin

Pôvodná poloha reznej hrany opotrebovaním ustupuje dozadu. V mieste maximálnych teplôt na čele nástroja sa vymieľa žliabok a na chrbte vzniká plôška, ktorá má najväčšiu šírku v miestach dotyku rezného klinu s obrobkom, alebo na hrote nástroja.

To či v daných podmienkach dochádza k väčšiemu opotrebeniu chrbta alebo čela nástroja závisí od druhu obrábaného materiálu, druhu materiálu rezného nástroja a od pomeru posuvu a reznej rýchlosti. Tento pomer je znázornený na nasledujúcom obrázku, z ktorého vyplýva, že sa pri veľkých posuvoch a rýchlostiach opotrebuje najmä čelo nástroja a pri malých chrbát.



Obr. 9 Vplyv posuvu a reznej rýchlosti na spôsob opotrebenia rezného klina (Békés, 1981)

Priebeh opotrebenia prebieha v nasledovných etapách:

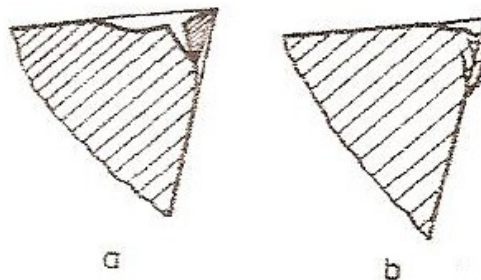
- zábehové pásmo
- pásmo normálneho opotrebenia
- pásmo zrýchleného opotrebenia

V zábehovom pásme opotrebenia je dotykové plocha medzi obrobkom a nástrojom veľmi malá a preto v tomto mieste pôsobia veľké tlaky.

V normálnom pásme dochádza k ustáleniu podmienok rezania. Zväčšujúcim sa opotrebením dochádza k zväčšeniu styčnej plochy medzi obrobkom a nástrojom a teda aj k zvýšeniu teploty. K ustáleniu podmienok dôjde preto lebo tieto protichodné javy sú v rovnováhe.

V pásme zrýchleného opotrebenia môžu nastať zmeny štruktúry, chemického zloženia a teda aj tvrdosti. Narastajúcim opotrebením sa rezná hrana oslabuje a dochádza na nej k oddeľovaniu materiálu. Keďže styčná plocha neustále rastie a zväčšuje sa aj teplota procesu dochádza k čoraz väčšiemu objemovému úbytku materiálu.

Pri veľkom opotrebení dochádza ku krehkému alebo plastickému poškodeniu hrany rezného nástroja.

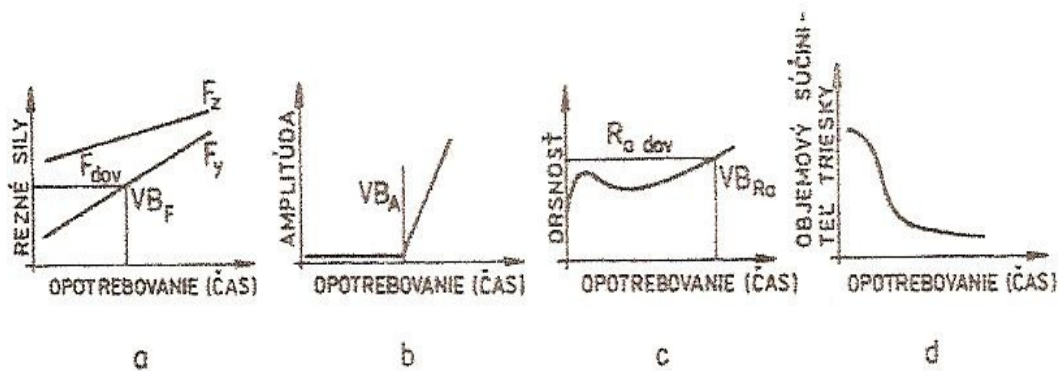


Obr. 10 Poškodenie reznej hrany nástroja (Békés, 1981)

a – krehké b – plastické

Pri krehkom porušení dochádza k vyštípeniu, vyštrbeniu a prasknutiu materiálu reznej hrany. Pri plastickom porušení sa mení tvar rezného klina postupnou plastickou deformáciou.

So vzrastajúcou teplotou procesu sa rezný materiál stáva mäkkším ako materiál obrobku a preto sa rezný klin plasticky deformuje a jeho materiál od neho oddeľuje.



Obr. 11 Vplyv opotrebenia rezného klina (Békés, 1981)

a – na rezné sily b – na vznik chvenia c – na drsnosť povrchu d – na tvar triesky

Vzrastajúcim opotrebením dochádza k zmene tvaru rezného klina. Dotyková plocha rezného nástroja s obrobkom narastá a narastá aj teplota procesu. Drsnosť styčných plôch nástroja a obrobku sa mení na pracovnú drsnosť. Všetky tieto zmeny parametrov procesu rezania vplyvajú na chvenie, drsnosť obrobeného povrchu, rezné sily a tvar triesky. Tieto vplyvy sú znázornené na obrázku č. 11. (Békés, 1981)

1.10 Drsnosť

Drsnosť je podľa STN EN ISO 4287: 1999 definovaná ako časť geometrických odchýlok (nerovností) povrchu s relatívne malou vzdialenosťou susedných nerovností.

Tieto nerovnosti vznikajú ryhovaním obrábaného povrchu a sú to vlastne stopy po pohybe rezného nástroja. Z tohto dôvodu je veľkosť vzniknutej drsnosti závislá od tvaru a otupenia rezného nástroja, posuvu, otáčok vretena a teda aj od reznej rýchlosti. Drsnosť závisí aj od počtu rezných hrán nástroja a to tak, že pri použití rezného nástroja, ktorý má viac rezných hrán, dosiahneme hladší povrch obrobeného povrchu. Ako príklad môžeme použiť brúsenie, kde je veľmi veľký počet rezných hrán, ktoré predstavuje každé zrno brusného materiálu.

Charakteristiky drsnosti rozdeľujeme na:

- výškové – R_a , R_y , R_z
- pozdĺžne – S_m , S

(SJF TUKE, 2009)

1.10.1 Základné pojmy

Menovitý povrch – je to povrch, ktorý je predpísaný na technickom výkrese. Jedná sa teda o ideálny povrch, ktorý sa pokúšame vytvoriť.

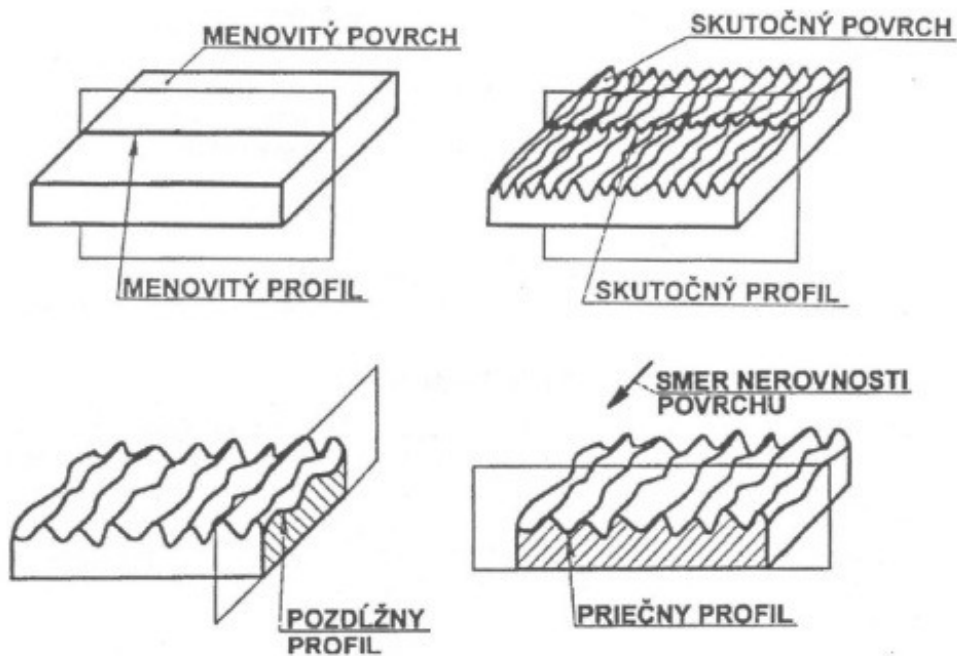
Skutočný povrch – povrch, ktorý sa podarilo dosiahnuť pri obrábaní. Je tvorený nerovnosťami, ktoré vznikli prevažne od ryhovania rezným nástrojom.

Profily povrchu rozdeľujeme na:

- menovitý profil – ideálny profil vytvorený na ideálnom povrchu
- skutočný profil – reálny profil vytvorený na reálnom povrchu
- priečny profil – profil meraný kolmo na smer nerovnosti
- pozdĺžny profil – profil nameraný v smere nerovnosti

(SJF TUKE, 2009)

Všetky tieto profily sú zobrazené na nasledovnom obrázku:



Obr. 12 Profily drsnosti (SJF TUKE, 2009)

10.10.2 Základné charakteristiky drsnosti

Základné charakteristiky drsnosti sú definované v rozsahu základnej dĺžky l a sú vyhodnocované na dĺžke nazvanej vyhodnocovacia, ktorá môže obsahovať jednu alebo niekoľko základných dĺžok. Pre lepšie pochopenie sú tieto dĺžky zobrazené na nasledovnom obrázku. Hodnoty týchto charakteristík sa udávajú v μm .

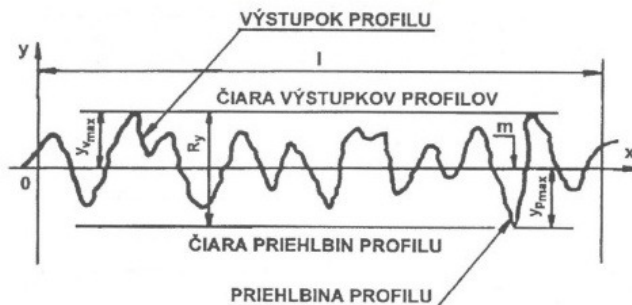


Obr. 13 Základná a vyhodnocovacia dĺžka (SJF TUKE, 2009)

Medzi základné a najviac používané charakteristiky drsnosti povrchu patria:

1) Najväčšia výška profilu R_y

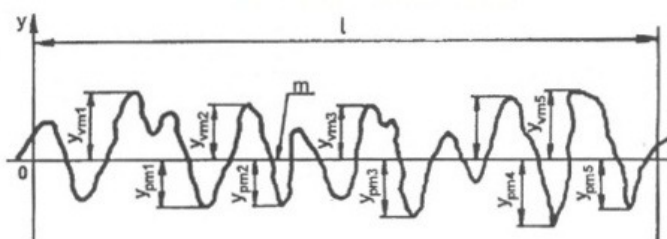
Je to najväčšia vzdialenosť medzi najvyššou vyvýšeninou profilu a najnižšou priehlbinou meraná v rozsahu základnej dĺžky. Niekedy sa označuje aj R_m .



Obr. 14 Najväčšia výška profilu R_y (SJF TUKE, 2009)

2) Výška nerovnosti profilu vypočítaná z desiatich bodov R_z

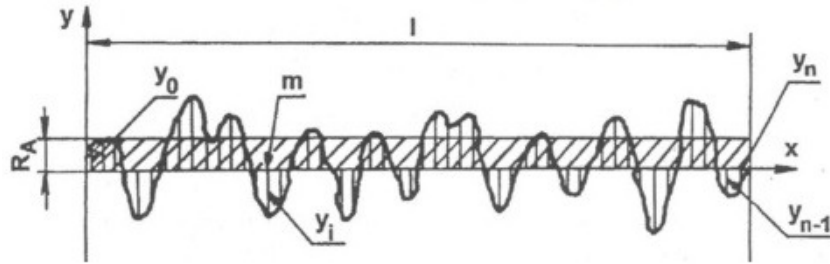
Počíta sa ako stredná hodnota nerovnosti vypočítaná z piatich najvyšších výstupkov a piatich najnižších priehlbín.



Obr. 15 Výška nerovnosti vypočítaná z desiatich bodov R_z (SJF TUKE, 2009)

3) Stredná aritmetická odchýlka profilu R_a

Jedná sa o strednú aritmetickú hodnotu absolútnych odchýlok nerovností povrchu pri n vybratých bodoch.



Obr. 16 Stredná aritmetická odchýlka profilu R_a (SJF TUKE, 2009)

(SJF TUKE, 2009)

2 Cieľ práce

Cieľom predkladanej diplomovej práce je návrh a aplikácia rezných podmienok pri vŕtaní pre prax formou kompilačnej práce.

Ďalším cieľom je zistiť vplyv rezných parametrov ako reznej rýchlosti, rezných síl a teploty na proces vŕtania. Je potrebné stanoviť ich vplyv na kvalitu obrobeného povrchu teda na geometriu vyvŕtaného otvoru a drsnosť obrobeného povrchu. Proces budeme sledovať pri vŕtaní nasledovných materiálov:

- meď
- dural
- mosadz
- olovený bronz

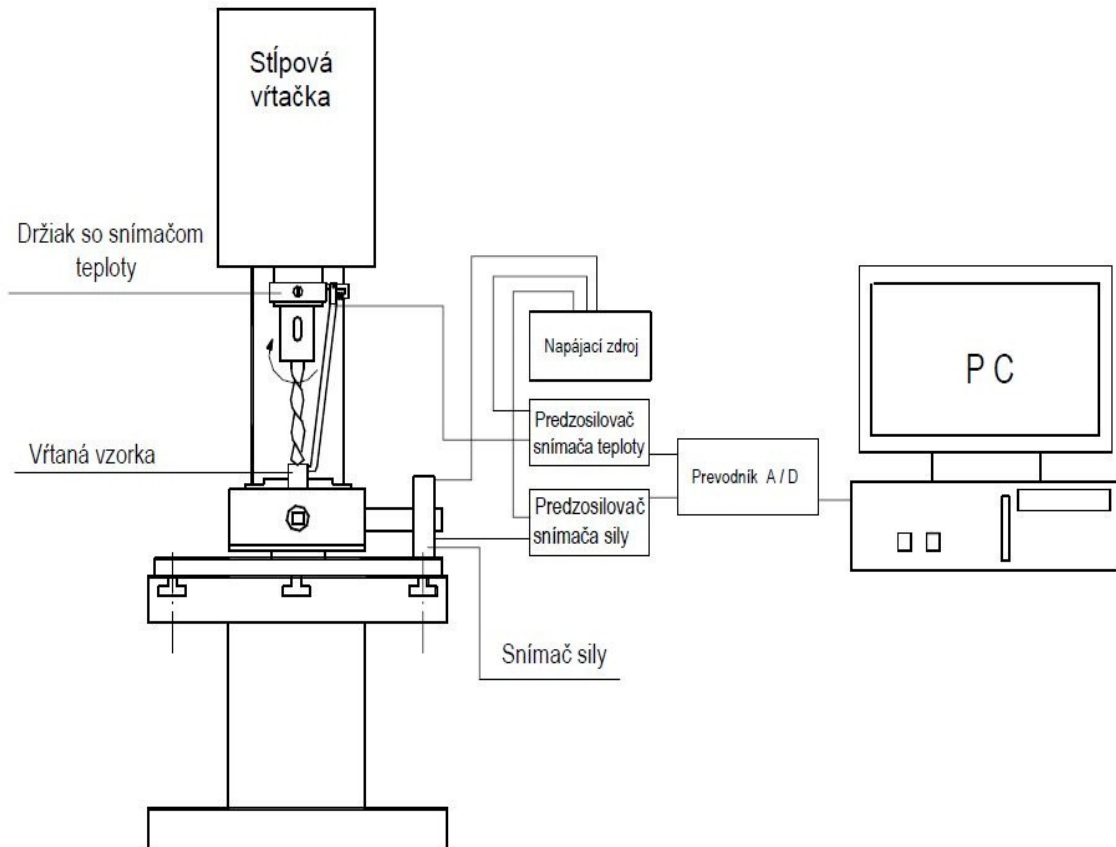
Výsledky tejto práce môžu slúžiť ako pomôcka pri výbere vhodných rezných parametrov vŕtania pre dané materiály v technickej praxi.

3 Metodika

3.1 Rámcová metodika

1. Štúdium literatúry a zhodnotenie súčasného stavu riešenia
2. Postup prác:
 - výber použitých rezných materiálov
 - výber použitých obrábaných materiálov
 - meranie rozmerov a drsnosti obrobeného povrchu
 - tabuľkovo a graficky zaznamenať namerané výsledky
3. Spôsob vyhodnotenia: aplikácia pre prax, technické a ekonomické zhodnotenie

3.2 Použité meracie prístroje



Obr. 17 Bloková schéma zapojenia meracej sústavy

Parametre snímača Utilcell-M120

Ohybový snímač zo zliatiny meď-berýlium

Nominálna hmotnosť: 7,5 – 10 – 15 – 20 – 30 – 50 kg

Kompenzované rohy, pre platformy o rozmeroch 400mm x 400mm

Trieda presnosti: 3000 d podľa O.I.M.L. R60

Ochrana pred relatívnou vlhkosťou do 95 % (bez kondenzácie)

Ochrana proti centrovaným zaťaženiám

Nominálna citlivosť: 2 ± 10 % mV/V

Kompenzované teploty: – 10 až + 40 °C

Limitné teploty: – 20 až + 50 °C

Napájacie napätie: 10 až 15 V

Bezpečné zaťaženie: 7,5 až 50 kg

(UTILCELL, 2007)

Upevnenie snímača reznej sily

Snímač reznej sily je upevnený na upínacom prípravku, ktorý okrem prevodu reznej sily na snímač, slúži aj na spoľahlivé upnutie skúšobnej vzorky.

Tento upínací prostriedok sa skladá z upínacieho skľučovadla uchyteného na prírubu s ramenom dlhým 190 mm, ktoré slúži na prenos reznej sily na snímač reznej sily. Príruba sa pohybuje v klznom ložisku PK – ZKL – 6215. Ložisko je osadené v základovej doske. Základová doska je upevnená pomocou skrutiek v upevňovacích drážkach pracovného stola stĺpovej vŕtačky. Na základovej doske je z boku upevnený snímač reznej sily Utilcell-M120 o ktorý sa opiera rameno príruby. Medzi ramenom a snímačom sa nachádza tlmiaca podložka, ktorá zabraňuje prudkým nárazom ramena.

Na výrobu držiaka snímača bol použitý plech hrúbky 5 mm a na základnú dosku, prírubu a rameno na prenos sily oceľ 12 220.

Takto nameraná rezná sila je sila pôsobiaca na ramene a preto sa ešte musí prepočítať na skutočnú reznú silu vrtáku podľa nasledovného vzorca:

$$F_z = \frac{2 \cdot F_{nam} \cdot L}{D}, N \quad (3)$$

kde: F_z – skutočná rezná sila, N

F_{nam} – nameraná sila, N

L – vzdialenosť medzi snímačom a osou vrtáka, mm (190 mm)

D – priemer vrtáka, mm (16 mm)

3.2.2 Snímač teploty

Pre zistenie priebehu teplôt bol použitý termoelektrický článok, ktorý funguje na základe Seebeckovho javu. Pri tomto jave sa na jednom konci spoja dva vodiče z rozdielnych kovov. Ak majú konce takto vytvoreného obvodu rozdielnú teplotu vznikne medzi nimi napätie úmerné rozdielu týchto teplôt. Toto napätie vzniká pretože každý kov má inú teplotnú vodivosť a odozvu na teplotné rozdiely v obvode.

Nami použitý termoelektrický článok je zložený z dvoch vodičov z medi a konštantánu. Táto sonda je upevnená na konci trubky, cez ktorú sú k nej vedené vodiče. Trubka je výkyvne upevnená na objímke, ktorá slúži na uchytenie a nastavenie celého snímača teploty na vrtačku. Toto výkyvné uchytenie je z dôvodu zabezpečenia stáleho kontaktu so vzorkou. Prítlak je zabezpečený pružinou.

Pre získanie čo najpresnejších informácií o priebehu teplôt pri procese vŕtanie je nevyhnutné merať teplotu vždy v úrovni bodu rezu. Túto polohu je možné nastaviť posunutím upevňovacej objímky na netočivej výsuvnej časti vretena. Umiestnenie snímača teploty je zobrazené na obrázku č. 17.

3.2.3 Predzosilňovač a prevodník

Signál nesúci informácie pochádzajúci zo snímačov je veľmi slabý a treba ho dodatočne spracovať.

Zosilnenie signálu sa dosahuje zapojením predzosilňovača. V meracom zariadení boli použité dva predzosilňovače ADAM 3014 dodaný firmou Advantech, pre každý snímač jeden.

Parametre predzosilňovača ADAM 3014 (ADVANTECH, 2010):

1. napájacie napätie 24 V DC
2. rozsah pracovných teplôt 0 až 70 °C
3. široký rozsah vstup/výstup
4. ľahko konfigurovateľný rozsah vstup/výstup
5. spotreba 0,85 W
6. plne odizolovaný s odolnosťou voči prierazu do 1000 V DC



Obr. 20 Predzosilňovač ADAM 3014 (ADVANTECH, 2010)

Takto zosilnený signál ešte nie je vhodný na počítačové spracovanie pretože sa jedná o analógový signál. Treba ho preto spracovať v analógovo/digitálnom prevodníku.

V našom prípade bola na tento účel použitá karta PCL-812PG tiež vyrábaná firmou Advantech. Ide o multifunkčnú analógovú a digitálnu vstupno/výstupnú kartu, ktorá dokáže zabezpečiť päť najviac používaných funkcií pre meranie na systémoch typu PC/AT a im kompatibilných:

- prevod analógového signálu na digitálny
- prevod digitálneho signálu na analógový
- digitálny vstup
- digitálny výstup
- časovač

Parametre karty PCL-812PG:

- počet analógových vstupov/výstupov 16
- rozlíšenie analógového vstupu 12 bit
- počet digitálnych vstupov/výstupov 16
- použitý prevodník 12-bitový A/D so vzorkovacou frekvenciou 30kHz
- zbernica ISA
- časovač 16-bitový s časovou základňou 2 MHz

Ovládanie karty je možné priamo z prostredia programu príkazmi alebo prepínačmi umiestnenými na karte. (ADVANTECH, 2010)

3.2.4 Meranie drsnosti

Pre zhodnotenie kvality vyvrtaných otvorov je okrem iného stanoviť drsnosť takto vytvorených povrchov. Drsnosť povrchu vyjadruje odchýlky skutočnej plochy od menovitej v oblasti mikrogeometrie povrchu. Na meranie drsnosti bol použitý prístroj Surftest 301 od firmy Mitutoyo, ktorý je zobrazený na obrázku č. 21. Meria s presnosťou 0,5 μm .

Prístroj je schopný zaznamenávať nasledovné veličiny:

- stredná aritmetická odchýlka – R_a , μm
- maximálna výška profilu – R_m , μm
- výška nerovnosti profilu – R_z , μm
- stredná kvadratická odchýlka – R_q , μm
- maximálna výška nerovnosti profilu z desiatich bodov – R_p , μm
- nosný podiel profilu – t_p , %
- počet vyvýšení – P_c , $1.\text{cm}^{-1}$

(ILJIN, 2003)



Obr. 21 Merací prístroj Mitutoyo Surftest 301 (ILJIN, 2003)

3.2.5 Termokamera

Teplota pri vrtaní bola okrem snímača teploty zaznamenávaná pre porovnanie aj pomocou termokamery TP 8S. Meranie touto kamerou bolo prevádzané externým pracovníkom.

3.3 Vzorky

Pre zistenie vplyvu druhu obrábaného materiálu a rezných podmienok na proces vŕtania boli vybrané vzorky vyrobené z mäkkých kovov a to medi, duralu, mosadze a oloveného bronzu. Z každého kovu boli vyrobené tri vzorky pre každé otáčky jednu.

Všetky vzorky boli tvaru valca rozmeru $\varnothing 30 \times 30$ mm. Aby sa zabezpečilo presné meranie teplôt museli mať vzorky vyhovujúcu kvalitu povrchu. Preto boli zhotovené sústružením. Sústružením boli vytvorené aj zahlbovacie otvory na čele vzoriek. Tieto zahlbovacie otvory slúžia k ľahšiemu zavŕtaniu vrtáka na začiatku procesu vŕtania.

3.4 Zvolené parametre a rezný nástroj

Pre vŕtanie boli stanovené podmienky:

- otáčky vretena

$$n_1 = 85 \text{ min}^{-1}$$

$$n_2 = 150 \text{ min}^{-1}$$

$$n_3 = 265 \text{ min}^{-1}$$

- rezná rýchlosť

$$v_{c1} = 4,27 \text{ m.min}^{-1}$$

$$v_{c2} = 7,54 \text{ m.min}^{-1}$$

$$v_{c3} = 13,32 \text{ m.min}^{-1}$$

- posuv

$$f_n = 0,1 \text{ mm}$$

- pri vŕtaní nebola použitá žiadna chladiaca kvapalina

Ako rezný nástroj bol použitý vrták STN 22 1140 Poldi HSS 02 $\varnothing 16$ mm. Je vyrobený z vysokolegovanej rýchloreznej ocele.

3.5 Postup merania

Vzorka sa pred meraním vložila do upevňovacieho prípravku. Ďalej sa nastavili otáčky a posuv. Pre prvé meranie boli použité otáčky 85 min^{-1} . Posuv zostal pri všetkých meraniach konštantný. Potom sa priblížil vrták k vzorke tak, aby sa snímač teploty zboku dotkol vzorky. Zapla sa vŕtačku a na počítači záznam dát. Zaradením posuvu sa začalo s vŕtaním.

V počítači sa počas merania zapisovali namerané hodnoty reznej sily a teploty vzorky merané v bode rezu do log súboru. Po prevŕtaní vzorky sa na počítači vypočítali záznam dát.

Počas vŕtania sa urobili štyri snímky termovíznou kamerou. Prvá snímka sa vždy urobila keď sa vrták dostal celou reznou hranou do záberu. Ostatné snímky sa robili v pravidelných intervaloch. Posledná snímka pripadala v pozícii tesne pred vybehnutím vrtáka zo vzorky.

Ďalšie dve vzorky boli merané pri zvýšených otáčkach na 150 a 265 min^{-1} . Tento postup sa opakoval pre ďalšie materiály.

4 Výsledky práce

4.1 Nameraná stredná teplota a rezná sila

V nasledujúcich tabuľkách sú zobrazené vybrané namerané údaje stredných teplôt a rezných síl. Všetky namerané údaje nie sú zobrazené z dôvodu veľkého množstva údajov a následnej straty prehľadnosti. Namerané hodnoty boli vybrané podľa postupnosti dráhy vrtacieho nástroja. Hodnoty stredných teplôt sú zaokrúhlené na jedno desatinné miesto a hodnoty rezných síl na celé čísla.

Jednotlivé vzorky boli namerané pri nasledovných parametroch:

Tabuľka 2 Použité parametre vrtania

	Otáčky (min^{-1})	Posuv (mm)	Rezná rýchlosť ($\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$)
Vzorka č. 1	85	0,1	4,27
Vzorka č. 2	150	0,1	7,54
Vzorka č. 3	265	0,1	13,32

Tabuľka 3 Vybrané namerané stredné teploty a rezné sily pre materiál Dural

Dráha nástroja (mm)	Vzorka č. 1		Vzorka č. 2		Vzorka č. 3	
	Teplota ($^{\circ}\text{C}$)	Rezná sila (N)	Teplota ($^{\circ}\text{C}$)	Rezná sila (N)	Teplota ($^{\circ}\text{C}$)	Rezná sila (N)
0	22,9	0	28,5	14	32,0	0
3	27,8	3489	36,1	3099	37,4	3465
6	35,4	4524	40,1	3994	43,3	4490
9	42,0	3277	49,7	4110	50,3	3576
12	48,5	3609	54,1	3133	56,5	3821
15	51,0	3446	58,9	3677	61,8	3301
18	54,7	4750	58,9	2912	65,3	3215
21	57,7	3754	61,8	3056	69,2	3162
24	59,5	3735	64,1	3508	73,6	3191
27	59,5	4096	67,0	3277	76,3	3499
30	51,6	154	54,7	49	54,7	10

Tabuľka 4 Vybrané namerané stredné teploty a rezné sily pre materiál Olovený bronz

Dráha nástroja (mm)	Vzorka č. 1		Vzorka č. 2		Vzorka č. 3	
	Teplota (°C)	Rezná sila (N)	Teplota (°C)	Rezná sila (N)	Teplota (°C)	Rezná sila (N)
0	25,0	5	27,8	14	33,4	0
3	31,3	2228	30,6	4822	34,0	2517
6	37,4	4919	34,7	4331	39,4	4822
9	44,6	5149,5	40,1	5414	44,0	5727
12	48,5	4519	44,6	4851	47,8	4456
15	52,8	4875	49,1	5342	53,4	5188
18	57,7	4837	53,4	5438	57,7	5101
21	62,4	5106	57,1	4938	61,2	5987
24	67,0	5433	63,6	5313	66,4	5082
27	70,3	5554	68,1	5482	74,7	5756
64,1	326	54,1	73	57,1	139	64,1

Tabuľka 5 Vybrané namerané stredné teploty a rezné sily pre materiál Mosadz

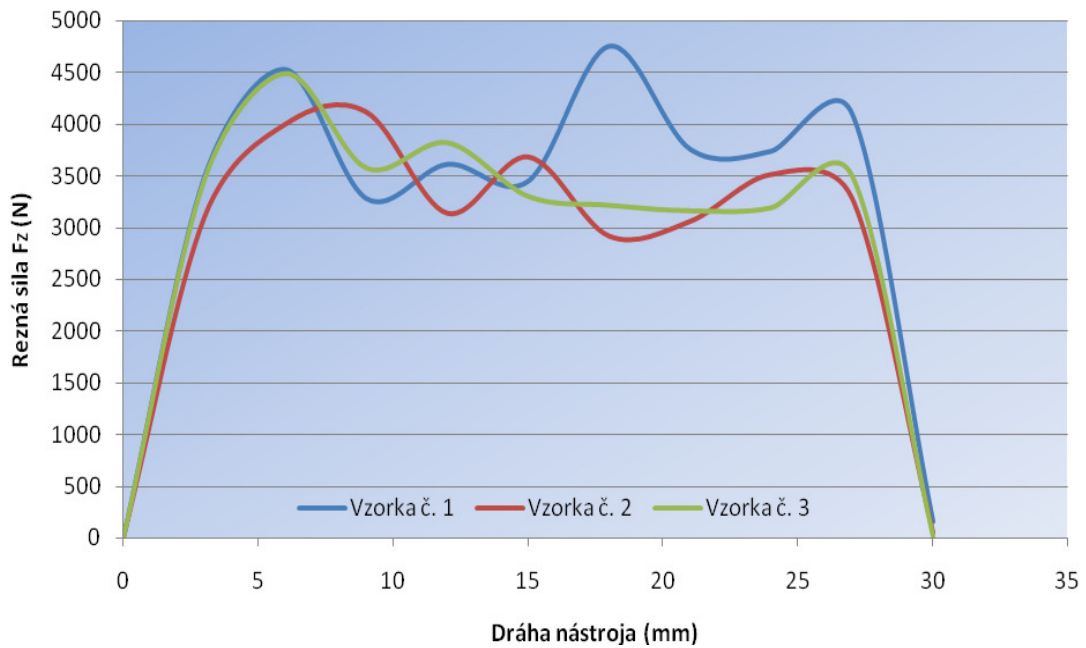
Dráha nástroja (mm)	Vzorka č. 1		Vzorka č. 2		Vzorka č. 3	
	Teplota (°C)	Rezná sila (N)	Teplota (°C)	Rezná sila (N)	Teplota (°C)	Rezná sila (N)
0	25,0	5	29,9	5	34,0	10
3	28,5	2777	32,0	3605	36,1	3629
6	34,0	4822	36,1	3908	38,7	4558
9	37,4	4548	38,1	4774	41,4	5390
12	43,3	5130	40,7	4822	45,9	4173
15	45,9	5188	44,6	4663	48,5	5299
18	51,0	4923	46,6	5304	50,3	5607
21	53,4	4769	52,8	4938	55,9	6083
24	57,1	5741	57,1	5650	57,1	4933
27	52,2	6155	63,0	5193	61,8	6507
30	50,3	22	58,9	271	62,4	38

Tabuľka 6 Vybrané namerané stredné teploty a rezné sily pre materiál Meď

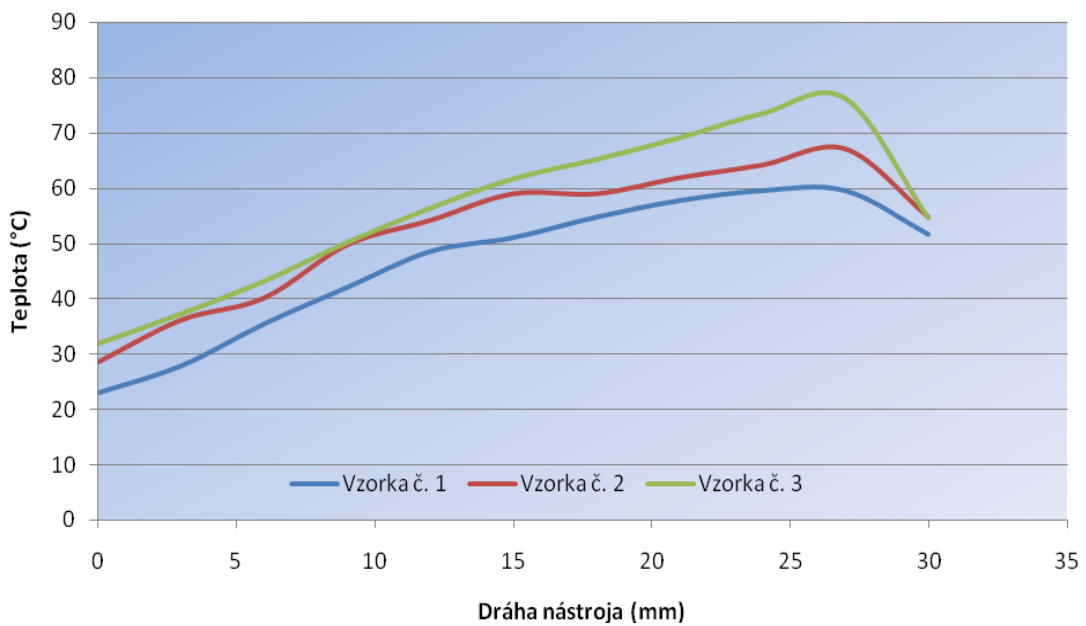
Dráha nástroja (mm)	Vzorka č. 1		Vzorka č. 2		Vzorka č. 3	
	Teplota (°C)	Rezná sila (N)	Teplota (°C)	Rezná sila (N)	Teplota (°C)	Rezná sila (N)
0	31,3	10	36,7	10	39,4	14
3	32,0	4842	44,6	8167	41,4	9879
6	46,6	12143	60,1	13343	47,2	10835
9	55,9	11583	73,1	12232	58,9	14196
12	67,0	12076	84,9	12623	67,0	13936
15	69,2	11766	92,0	12698	76,8	14687
18	79,9	15621	98,7	13109	80,9	14365
21	80,4	12604	100,3	13643	93,9	11599
24	79,4	10974	86,9	12574	95,6	11798
27	77,3	14916	89,7	14324	84,4	14324
30	69,8	683	72	154	74,7	233

4.2 Grafické zobrazenie strednej teploty a reznej sily

4.2.1 Dural

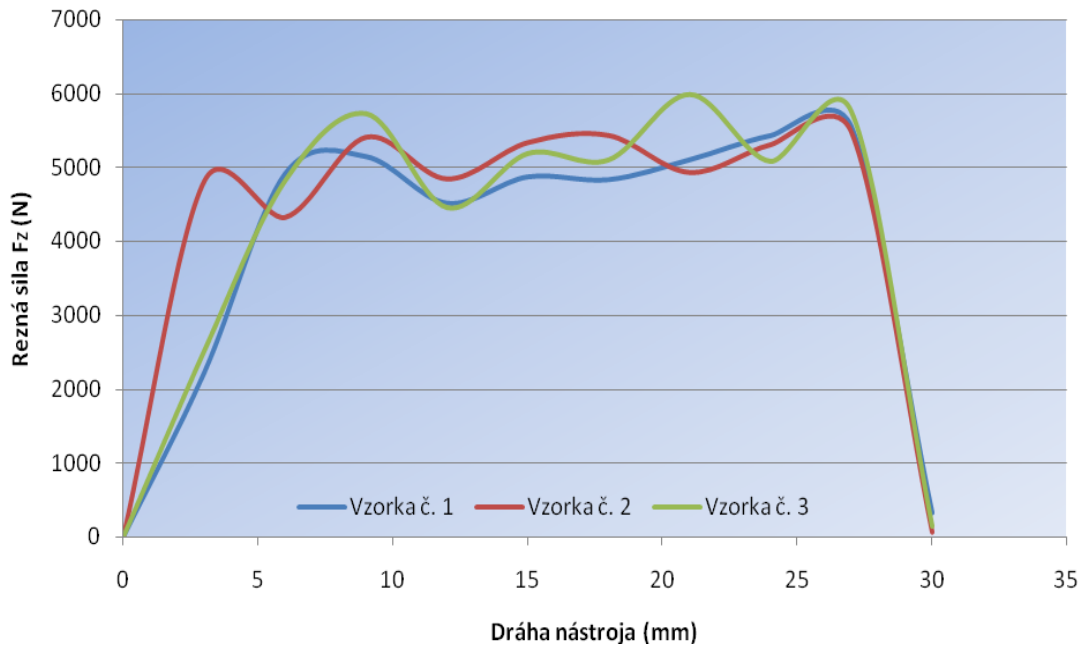


Graf 1 Priebeh rezných síl v závislosti od zmeny otáčok – Dural

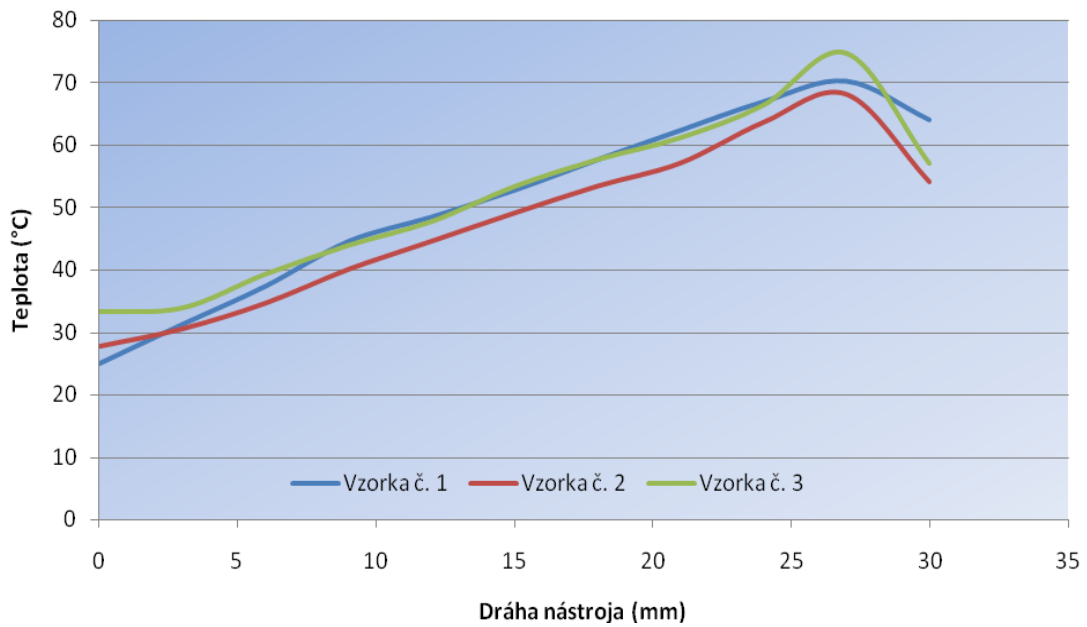


Graf 2 Priebeh strednej teploty v závislosti od zmeny otáčok – Dural

4.2.2 Olovený bronz

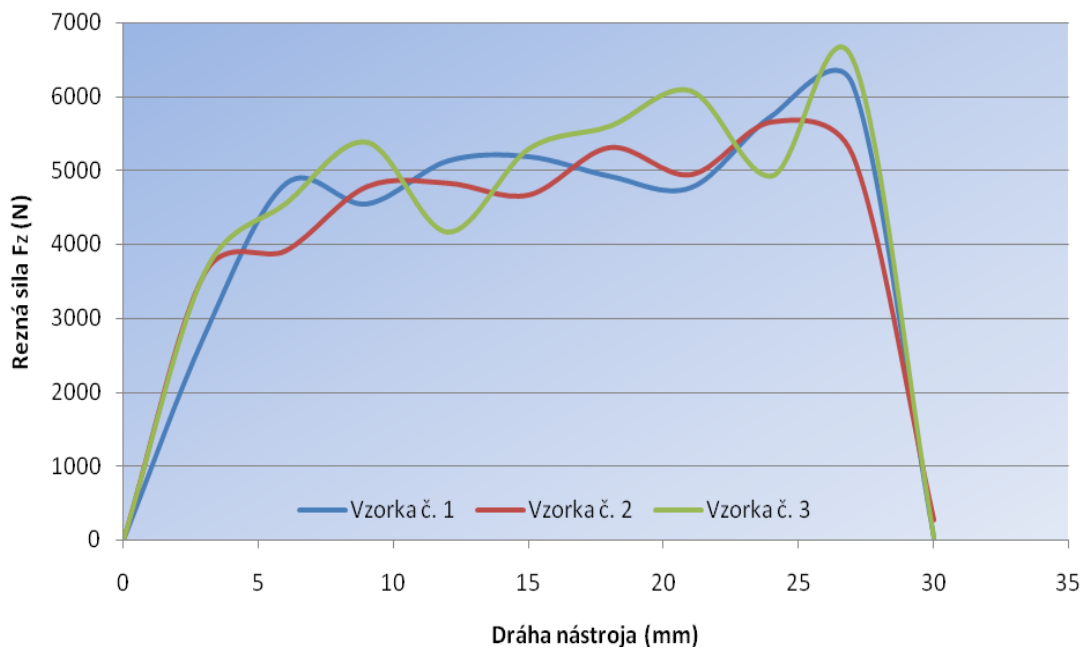


Graf 3 Priebeh rezných síl v závislosti od zmeny otáčok – Olovený bronz

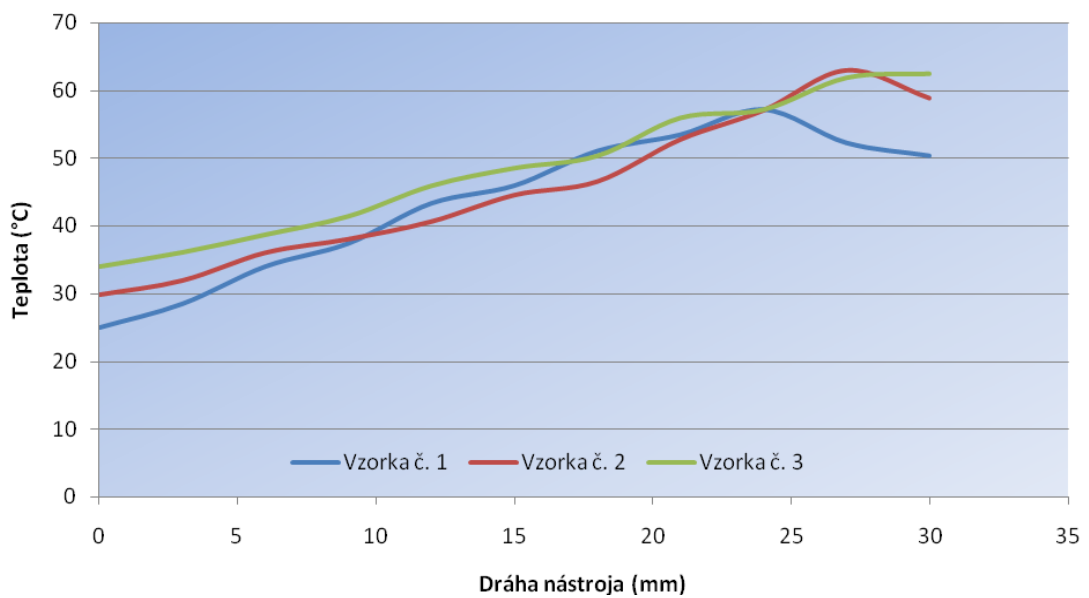


Graf 4 Priebeh strednej teploty v závislosti od zmeny otáčok – Olovený bronz

4.2.3 Mosadz

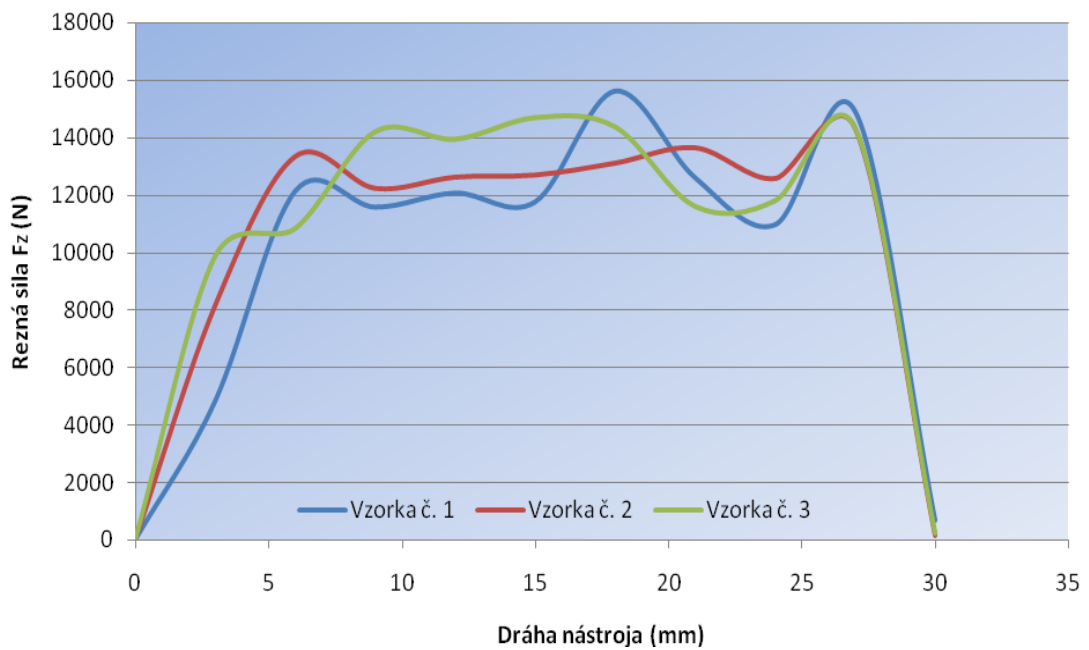


Graf 5 Priebeh rezných síl v závislosti od zmeny otáčok – Mosadz

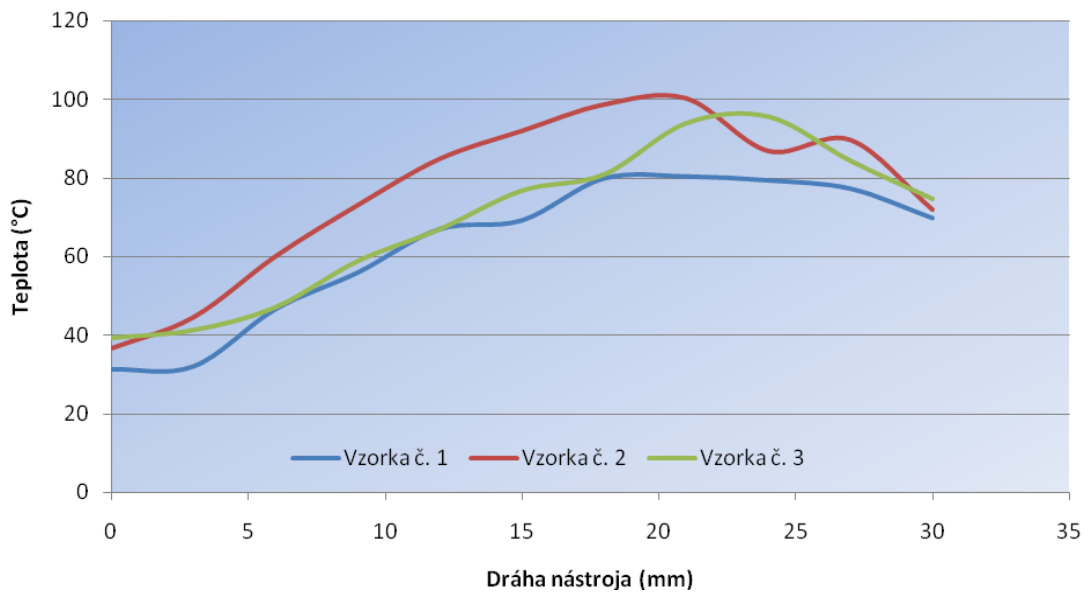


Graf 6 Priebeh strednej teploty v závislosti od zmeny otáčok – Mosadz

4.2.4 Med'



Graf 7 Priebeh rezných síl v závislosti od zmeny otáčok – Med'



Graf 8 Priebeh strednej teploty v závislosti od zmeny otáčok – Med'

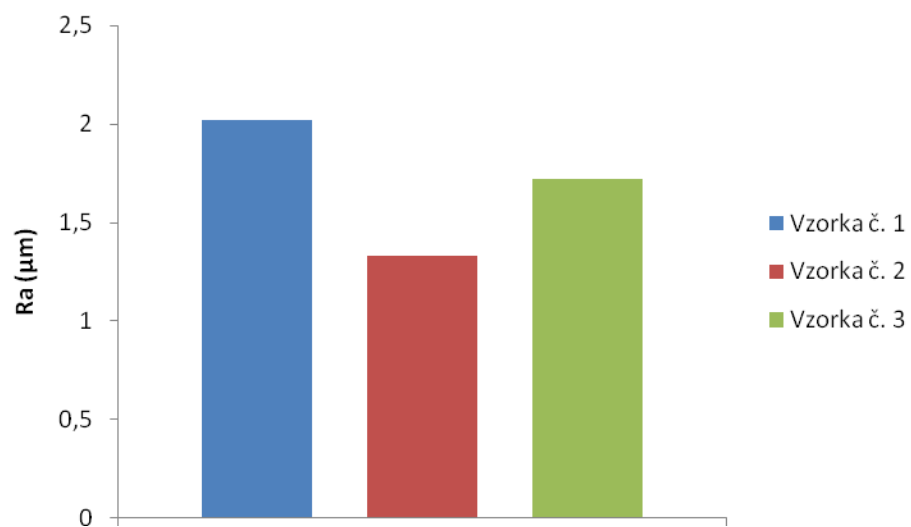
4.3 Namerané hodnoty drsnosti



Obr. 22 Vyvrtané vzorky - dural

Tabuľka 7 Namerané hodnoty drsnosti – Dural

Parameter	Vzorka č. 1	Vzorka č. 2	Vzorka č. 3
R_a (μm)	2,02	1,33	1,72
R_q (μm)	2,45	1,61	2,03
R_t (μm)	12,4	7,3	9,4
R_m (μm)	8,7	5,5	7,3
R_z (μm)	6,1	3,9	5,1
R_p (μm)	4	2,5	3,7
P_c ($1.\text{cm}^{-1}$)	-	88	64



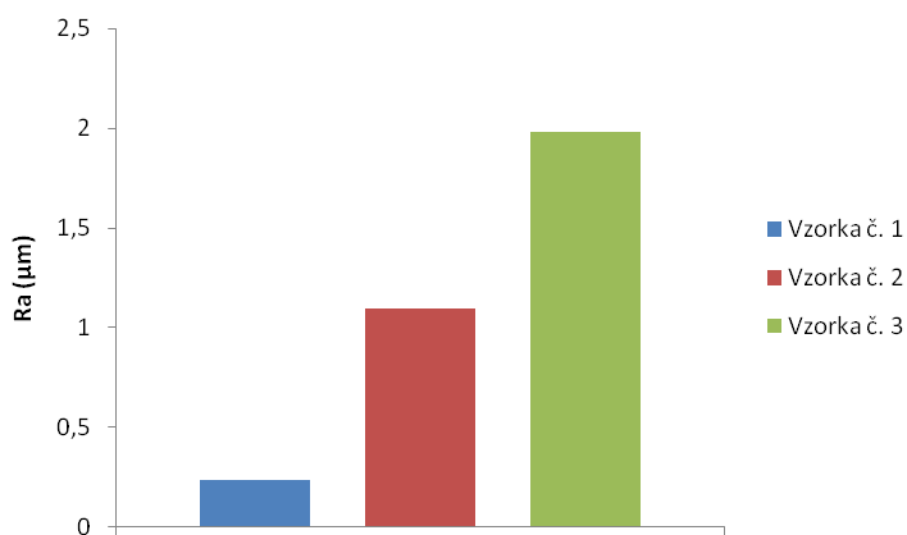
Graf 9 Závislosť drsnosti R_a od otáčok – Dural



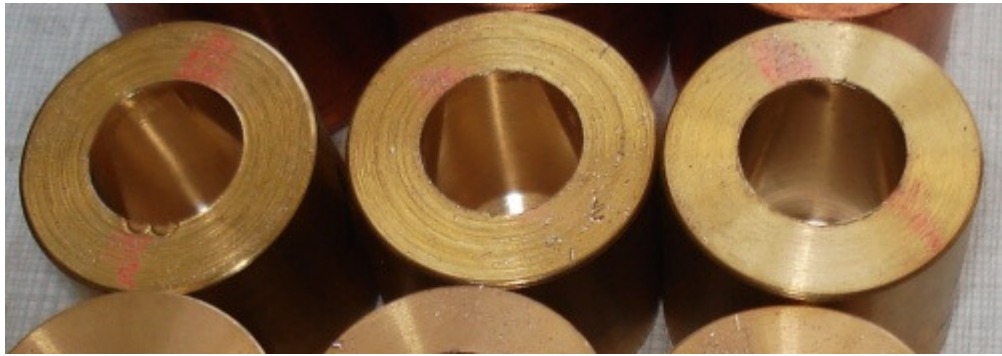
Obr. 23 Vyvrtané vzorky – Olovený bronz

Tabuľka 8 Namerané hodnoty drsnosti – Olovený bronz

Parameter	Vzorka č. 1	Vzorka č. 2	Vzorka č. 3
R_a (μm)	0,23	1,09	1,98
R_q (μm)	0,27	1,34	2,33
R_t (μm)	2,6	6,1	10,1
R_m (μm)	1,4	5,1	8,2
R_z (μm)	0,8	4	6,4
R_p (μm)	0,5	1,9	3,2
P_c ($1.\text{cm}^{-1}$)	-	-	88



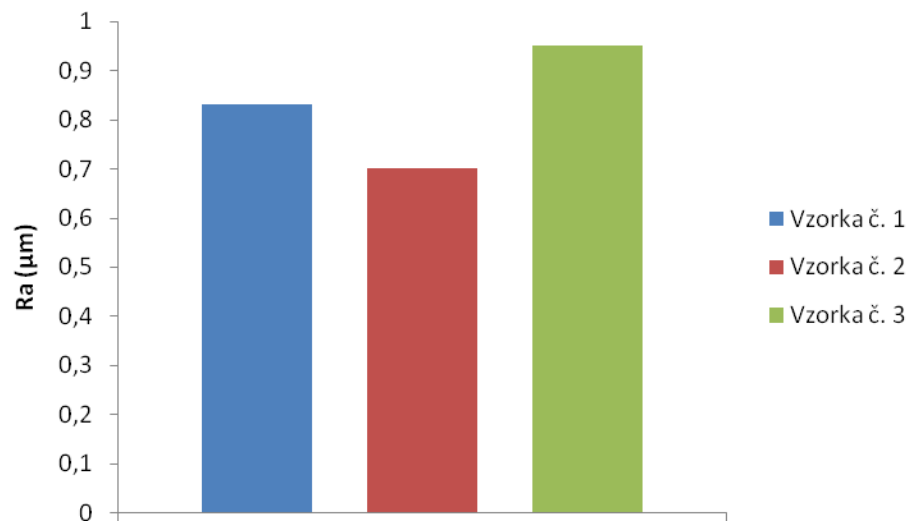
Graf 10 Závislosť drsnosti R_a od otáčok – Olovený bronz



Obr. 24 Vyvřtané vzorky - Mosadz

Tabuľka 9 Namerané hodnoty drsnosti – Mosadz

Parameter	Vzorka č. 1	Vzorka č. 2	Vzorka č. 3
R_a (μm)	0,83	0,7	0,95
R_q (μm)	1,3	0,88	1,13
R_t (μm)	8,3	5,2	5,6
R_m (μm)	4,2	3,8	4,5
R_z (μm)	2	2,5	3
R_p (μm)	1,6	1,4	2,1
P_c ($1.\text{cm}^{-1}$)	72	72	128



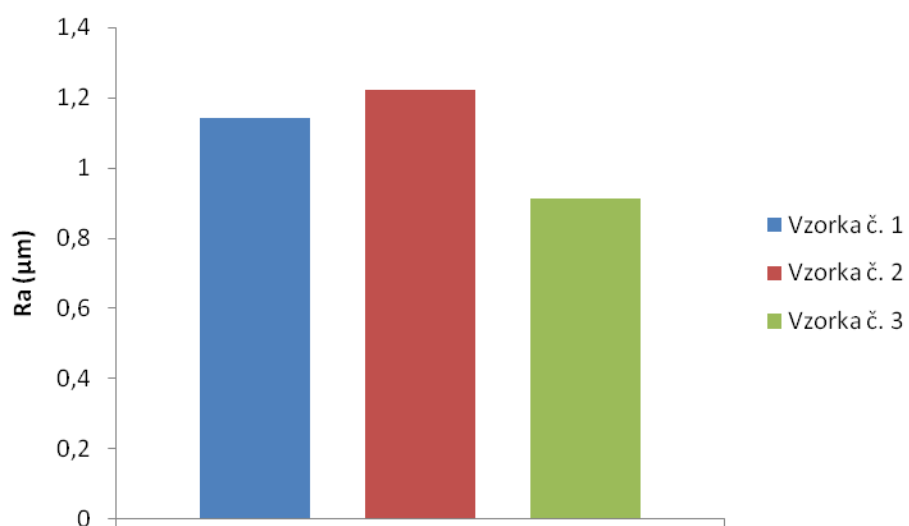
Graf 11 Závislosť drsnosti R_a od otáčok – Mosadz



Obr. 25 Vyrútané vzorky - Med'

Tabuľka 10 Namerané hodnoty drsnosti – Med'

Parameter	Vzorka č. 1	Vzorka č. 2	Vzorka č. 3
R_a (μm)	1,14	1,22	0,91
R_q (μm)	1,49	2,26	1,39
R_t (μm)	10,5	17,4	10
R_m (μm)	6,4	6,6	4,6
R_z (μm)	4,1	4,4	2,7
R_p (μm)	3	3,1	2,7
P_c ($1.\text{cm}^{-1}$)	104	72	120



Graf 12 Závislosť drsnosti R_a od otáčok – Med'

4.4 Geometria vyvrtaného otvoru

Tabuľka 11 Vypočítané hodnoty ovality – Dural

Rovina	Vzorka č. 1	Vzorka č. 2	Vzorka č. 3
A – A	16,09	16,09	16,11
B – B	16,13	16,12	16,12
Ovalita	50,18622	50,13971	50,04654

Tabuľka 12 Vypočítané hodnoty ovality – Olovený bronz

Rovina	Vzorka č. 1	Vzorka č. 2	Vzorka č. 3
A – A	16	16,01	16,01
B – B	16,01	16,02	16,02
Ovalita	50,04686	50,04683	50,04683

Tabuľka 13 Vypočítané hodnoty ovality – Mosadz

Rovina	Vzorka č. 1	Vzorka č. 2	Vzorka č. 3
A – A	16,02	16,035	16,02
B – B	16,04	16,04	16,03
Ovalita	50,09357	50,02338	50,0468

Tabuľka 14 Vypočítané hodnoty ovality – Meď

Rovina	Vzorka č. 1	Vzorka č. 2	Vzorka č. 3
A – A	16,39	16,39	16,257
B – B	16,37	16,355	16,3
Ovalita	50,09158	50,16033	50,19811

5 Diskusia

Základným predpokladom pre zistenie najvhodnejších rezných parametrov pri vŕtaní farebných kovov bolo vykonanie merania kvality takto zhotovených povrchov na skúšobných vzorkách. Kvalita vyvŕtaných otvorov sa posudzovala podľa drsnosti ich povrchu, geometrickej presnosti a zhody rozmeru zhotoveného otvoru s priemerom použitého vrtáka. Pre zhodnotenie nameraných výsledkov bolo potrebné vykonať meranie rezných podmienok ako sú vznikajúce rezné sily a teploty pri rezaní. Teplotu rezania bola sledovaná pomocou termočlánku v bode rezu a pre porovnanie sa realizovalo meranie pomocou termokamery.

Pri vŕtaní vzoriek vyrobených z duralu došlo na začiatku rezného procesu k nárastu rezných síl, ktoré mali v ďalšom priebehu procesu pri otáčkach 150 min^{-1} a 265 min^{-1} tendenciu klesať. Najväčšie odchýlky hodnôt reznej sily boli dosiahnuté pri vŕtaní najnižšou reznou rýchlosťou pri otáčkach vretena 85 min^{-1} . Zvýšením reznej rýchlosti došlo k väčšiemu ustáleniu rezných síl. Vyššie hodnoty reznej sily pri nižších otáčkach mohli byť spôsobené mechanizmom tvorby triesky, keď dochádzalo k občasnému zvýšeniu plastickej deformácie. To ovplyvňovalo aj mieru otupenia nástroja a priebeh teplôt. K najstrmšiemu zvýšeniu priebehu teplôt došlo pri najvyššej reznej rýchlosti $13,32 \text{ m.min}^{-1}$, keď výsledný priebeh teplôt nameraných v bode rezu rástol takmer lineárne.

Pri ostatných rezných rýchlostiach sa teplota zo začiatku procesu vŕtania zvyšovala približne rovnako rýchlo a postupne sa tento trend nárastu teplôt znižoval. Toto spomalenie rastu teplôt je viditeľné v priebehoch na grafe č. 2, najmä po prekročení hodnoty dráhy nástroja 15 mm. Lineárny priebeh teplôt pri najvyšších otáčkach bol spôsobené tým, že pri týchto otáčkach dochádza k intenzívnejšej produkcii tepla trením v kratšom čase, takže toto teplo nestačí byť dostatočne rýchlo odvádzané materiálom.

Pokles rezných síl a teplôt na konci dráhy vrtáka bol tak ako aj pri všetkých ostatných vŕtaných materiáloch spôsobený zmenšujúcou sa styčnou plochou pri vybiehaní vrtáka z materiálu.

Najlepšia drsnosť bola pre materiál dural dosiahnutá pri otáčkach 150 min^{-1} . Zhoršenie drsnosti pri zmene otáčok vzniklo ako následok zvýšenia miery plastickeho opotrebenia, teploty a zvýšenia chvenia vrtáka. Najväčšie odchýlky rozmeru vŕtaného

otvoru boli namerané pri najvyššej reznej rýchlosti, čo mohlo byť spôsobené zvýšeným chvením vrtáka. Nameraná drsnosť vzoriek duralu bola najhoršia spomedzi všetkých vrtaných skúšobných materiálov.

V prípade vrtania vzoriek vyrobených z oloveného bronz stúpala rezná sila najstrmšie pri strednej reznej rýchlosti $7,54 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$. Najnižšie hodnoty reznej sily boli namerané pri najmenších otáčkach vretena. Rezná sila sa po začiatocnom nábehu v priebehu procesu pri všetkých otáčkach postupne mierne zvyšovala. Tento trend je najlepšie viditeľný na priebehu nameranom pri najnižších otáčkach vretena, keď tento priebeh vykazoval najmenej odchýlok. Na postupné zvyšovanie reznej sily mohol mať vplyv nárast teplôt a zväčšenie miery otupenia vrtacieho nástroja.

Najväčší nárast teploty bol pri olovenom bronze nameraný pri otáčkach vretena 85 min^{-1} .

Menšie výkyvy v priebehu reznej sily nameranému pri najmenších otáčkach spôsobili, že drsnosť nameraná pri týchto otáčkach bola výrazne lepšia ako drsnosti namerané pri zvýšených otáčkach. Dokonca bola táto drsnosť najnižšia spomedzi všetkých vrtaných materiálov. Vďaka nízkej reznej rýchlosti vznikol otvor s najlepším geometrickým tvarom a malou odchýlkou od vrtaného priemeru.

Pri vrtaní vzoriek vyrobených z mosadze došlo k výraznejšiemu nárastu rezných síl počas procesu vrtania ako mal olovený bronz čo bolo pozorovateľné pri všetkých rezných rýchlostiach. Tento nárast mohol byť spôsobený postupným vytupovaním nástroja, ktoré bolo výraznejšie ako pri vrtaní oloveného bronzu a následným rastom teplôt. Najnižšie hodnoty reznej sily boli namerané pri stredne veľkých otáčkach vretena teda pri 150 min^{-1} . Pri týchto otáčkach došlo aj k najrovnomernejšiemu nárastu rezných síl. Najväčšie výkyvy vykazoval priebeh pri zvýšení otáčok na 265 min^{-1} .

Otvor s najpresnejším geometrickým tvarom a rozmerom bol vytvorený pri najvyššej reznej rýchlosti.

Vďaka zvýšenému otupeniu nástroja došlo k zvýšeniu miery plastickej deformácie v procese oddeľovania materiálu rezným klinom a tým k zhoršeniu kvality takto obrobenej plochy. Dosiadnutá drsnosť R_a bola v rozpätí $0,7$ až $0,95 \mu\text{m}$. Z toho najnižšia pripadala strednej reznej rýchlosti čo mohlo byť dôsledkom najrovnomernejšieho priebehu rezných síl a teda aj najmenšieho chvenia vrtáka.

Podobný priebeh rezných síl ako pri vrtaní vzoriek vyrobených z oloveného bronz mala aj meď. Avšak na rozdiel od oloveného bronzu boli namerané hodnoty rezných síl oveľa vyššie. Tieto hodnoty boli najvyššie spomedzi všetkých vrtaných

skúšobných materiálov. Podobne ako pri vŕtaní mosadze bol aj tu najrovnomernejší priebeh rezných síl dosiahnutý pri otáčkach 150 min^{-1} .

Pri stredne veľkých otáčkach vretena došlo k najväčšiemu nárastu teploty v bode rezu. Maxima táto teplota dosiahla po prekonaní dvoch tretín dráhy nástroja, keď prekročila hranicu $100 \text{ }^\circ\text{C}$. Po prekonaní tejto dráhy došlo k poklesu teplôt pri všetkých rezných rýchlostiach. Tento pokles bol najvýraznejší opäť pri stredne veľkých otáčkach vretena. Najnižší nárast teplôt bol nameraný pri najnižších otáčkach, čo je možné pripisovať pomalšej tvorbe tepla a veľmi dobrým tepelno – vodivostným vlastnostiam medi. Pri najvyššej reznej rýchlosti došlo k výraznejšiemu odvodu tepla pomocou triesok.

Keďže teplo vzniknuté pri vŕtaní vzoriek vyrobených z medi bolo najvyššie zo všetkých nameraných teplôt došlo aj k najväčšiemu tepelnému ovplyvneniu obrábaného materiálu čo sa prejavilo aj v kvalite a tvare vyvŕtaných otvorov. Odchýlky od stanoveného vŕtaného rozmeru otvoru dosahovali hodnoty až $390 \text{ }\mu\text{m}$. Z tohto dôvodu bola aj ovalita najhoršia pri vzorkách medi. Najmenšia odchýlka bola pri vŕtaní najvyššou reznou rýchlosťou.

Zvýšená teplota mala za následok aj vysoké hodnoty drsnosti, ktoré prevýšili len drsnosti namerané pri vŕtaní duralu. Najlepšie hodnoty drsnosti boli dosiahnuté pri najvyššej reznej rýchlosti. To bolo spôsobené tým, že pri tejto rýchlosti sa najviac tepla odviedlo formou triesok a povrch vŕtaného otvoru bol lepšie chladený.

6 Záver

Cieľom predkladanej diplomovej práce bolo navrhnúť najvhodnejšie rezné podmienky vrtania pre použitie v praxi. Výber vhodných parametrov procesu ovplyvní kvalitu obrobených vrstiev, produktivitu a celkové technologické náklady obrábania.

Za predmet skúmania boli zvolené skúšobné vzorky vyrobené z farebných kovov: dural, olovený bronz, mosadz a meď.

Posudzovaný bol vplyv rezných parametrov ako reznej rýchlosti a otáčok vretena na kvalitu obrobených povrchov, ktorá je charakterizovaná drsnosťou a geometriou obrobených plôch. Sledované boli zmeny podmienok vrtania a to konkrétne reznej sily a teploty povrchu.

Z nameraných výsledkov vyplýva, že pre materiál dural boli najlepšie hodnoty geometrie povrchu dosiahnuté pri otáčkach 150 min^{-1} čomu zodpovedá rezná rýchlosť $7,54 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$. Pri použití týchto parametrov sme dosiahli aj najlepšie hodnoty drsnosti $R_a = 1,33 \text{ }\mu\text{m}$.

Pri vrtaní vzoriek vyrobených z oloveného bronzu sa u hľadiska drsnosti ukázalo ako najvhodnejšie použitie najnižšej nami hodnotenej reznej rýchlosti $4,27 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$ pri otáčkach 85 min^{-1} . Použitím týchto rezných parametrov sa dosiahlo kvality obrobeného povrchu o drsnosti až $R_a = 0,23 \text{ }\mu\text{m}$ a veľmi vysokej geometrickej presnosti, ktorá bola z pomedzi všetkých skúšaných farebných kovov najvyššia. Odchýlka od stanoveného vrtaného rozmeru priemeru otvoru 16 mm činila $0 - 10 \text{ }\mu\text{m}$. Zvyšovaním reznej rýchlosti došlo k veľkému zvýšeniu drsnosti až na $1,98 \text{ }\mu\text{m}$ pri otáčkach 265 min^{-1} .

Ako najvhodnejšia rezná rýchlosť pre vrtanie mosadze sa ukázala $7,54 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$ dosiahnutá pri stredných otáčkach vretena 150 min^{-1} . Pri tejto reznej rýchlosti bola nameraná drsnosť $R_a = 0,7 \text{ }\mu\text{m}$ a bola dosiahnutá aj najlepšia hodnota ovality.

Pre vzorky vyrobené z medi boli najlepšie hodnoty drsnosti namerané na rozdiel od predchádzajúcich materiálov pri najvyšších otáčkach 265 min^{-1} , ktorým zodpovedá rezná rýchlosť $13,32 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$. Pri tejto reznej rýchlosti sme dosiahli aj najmenšie odchýlky od stanoveného priemeru vrtaného otvoru. Avšak dosiahnutá ovalita bola pri týchto rezných parametroch najhoršia. Najmenšia ovalnosť zhotoveného otvoru bola dosiahnutá pri najnižších otáčkach.

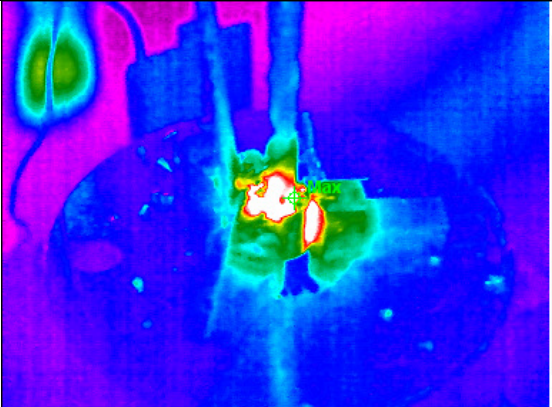
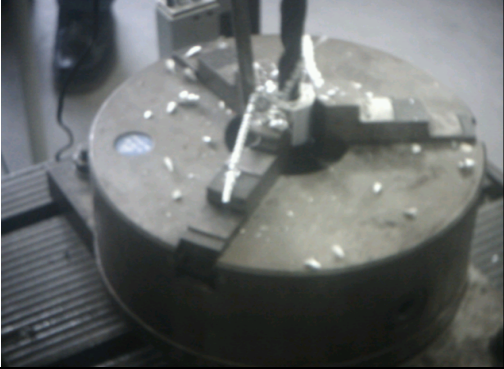
7 Použitá literatúra

1. ADAMÍK, J. 2005. Optimalizácia rezných parametrov pri vŕtaní, Nitra: SPU, 2005. 75s.
2. ADVANTECH. 2010. Advantech [online]. 2010. [cit. 2010-02-02]. Dostupné na internete < <http://www.advantech.com/> >.
3. BEŇO, J. 1999. Teória rezania kovov, Košice: TU, 1999. 255 s. ISBN 80-7099-429-0.
4. BEŇO, J. 2004. Technologické a materiálové činitele obrábania, Košice: TU, 2004. 418 s. ISBN 80-7099-701-X.
5. BÉKÉS, J. 1981. Inžinierska technológia obrábania kovov, 1. vydanie, Bratislava: Alfa, 1981. 400 s. MDT 621.93.002.
6. BHOWMICK, S. 2008. Minimum quantity lubrication drilling of aluminium–silicon alloys in water using diamond-like carbon coated drills. In *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, vol. 48, 2008, no. 12-13, p. 1429-1443.
7. DIMAR. 2007. Dimar Slovakia, s.r.o. [online]. 2007. [cit. 2009-04-25]. Dostupné na internete < <http://mtf.dattex.net/modules.php?name=Downloads&do=getit&lid=28> >.
8. ILJIN. 2003. Iljin Machinery co., LTD [online]. 2003. [cit. 2010-02-03]. Dostupné na internete < <http://www.iljin-mc.co.kr/english/technology/quality.htm?qt=surface> >.
9. JURKO, J. 2007. Vŕtanie : technologická metóda výroby dier, Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíne, 2007. 191 s. ISBN 978-80-7318-488-9.
10. MATNET. 2006. MatNet Slovakia [online]. 2006. [cit. 2009-04-15]. Dostupné na internete < <http://www.matnet.sav.sk/> >.
11. MIKOVEC, M. 1982. Obrábění materiálu s velkou pevností a tvrdostí, Praha: SNTL, 1982. 200 s.
12. NOUARI, M. 2005. Effect of machining parameters and coating on wear mechanisms in dry drilling of aluminium alloys . In *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, vol. 45, 2005, no. 12-13, p. 1436-1442.
13. SEDLÁČEK, V. 1979. Neželezné kovy a slitiny, Praha: SNTL, 1979. 400s.

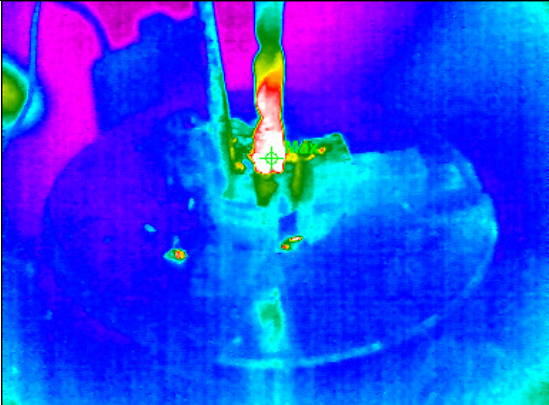

14. ŠTOFKO, M. 2000. Neželezné kovy, Košice: TU, 2000.293 s. ISBN 80-7099-527-0.
15. FPT. 2009. Fakulta priemyselných technológií Trenčianska univerzita Alexandra Dubčeka [online]. 2005. [cit. 2009-08-19]. Dostupné na internete <http://www.fpt.tnuni.sk/kfim/predmety/rocnik1/nauka_o_materiali/pdf/nastrojo_ve_ocene.pdf>.
16. LUKOVICS, I. 2004. Research of High Speed Cutting. COM-MAT-TECH 2004, In *12.th International Scientific Conference*, 14.-15.10. 2004 Trnava: STU Bratislava, ISBN 80-227-2117-4.
17. Panda, S. 2005. Monitoring of Drill Flank Wear in the Time Domain, Innsbruck: IASTED, 2005.
18. STN EN ISO 4287: 1999, Geometrické špecifikácie výrobkov (GPS) – Termíny, definície a parametre charakteru povrchu.
19. SJF TUKE. 2009. Strojnícka fakulta Technická univerzita v Košiciach [online]. 2009. [cit. 2010-02-12]. Dostupné na internete <http://www.sjf.tuke.sk/kkdal/prilohy/09109122327usi_0910_5.pdf>.
20. UTILCELL. 2007. Utilcell [online]. 2007. [cit. 2010-02-02]. Dostupné na internete <<http://www.utilcell.cz/?page=produkt-detail&category=39&product=91>>.
21. ŽITŇANSKÝ, J. 2000. Vplyv rezného prostredia na vznik teploty a kvalitu povrchu pri trieskovom obrábaní, Nitra: SPU, 2000. 69 s.

Prílohy

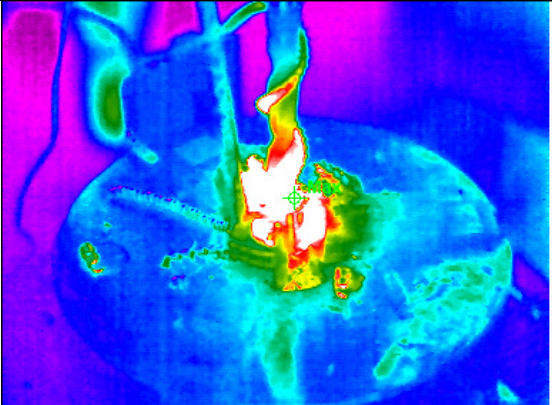

Príloha 1 Protokol z merania – Dural, otáčky 85 min⁻¹

Inspected Location: Katedra kvality a strojárskych technológií					
Inspected By: Bc.Štefan Boďo, Bc. Peter Zelnický, Ing. Ján Žitňanský, PhD.					
File Name	IR000956	Created Date	Thursday, December 10, 2009	Created Time	8:20:42 AM
Emissivity	0,1	Humidity	75%	Distance	1.0 m
Ambient	22.0°C	Max Temp	39.5°C	Min Temp	20.8°C
IR Image				Object Parameter	Value
				Max	39.5°C
Visible Image					
Component Detail					
Recommendations: Dural, otáčky 85 min ⁻¹					
Repair Notes					
Type of Defect					
Found:					
Corrective Action Taken:					
Signature:					
Date:19.12.2009.....					

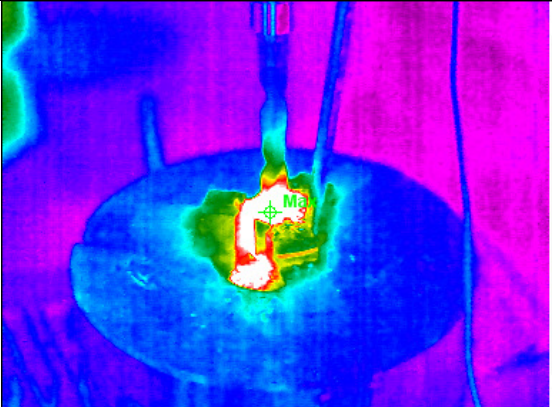
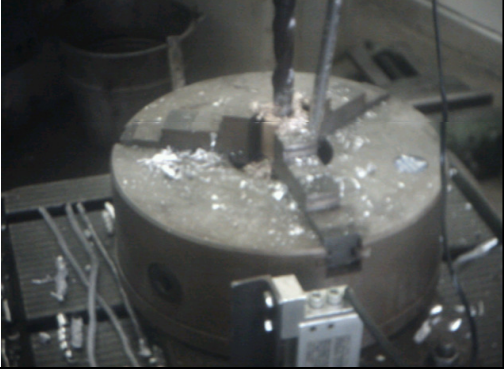
Príloha 2 Protokol z merania – Dural, otáčky 150 min⁻¹

Inspected Location: Katedra kvality a strojárskych technológií					
Inspected By: Bc.Štefan Boďo, Bc. Peter Zelnický, Ing. Ján Žitňanský, PhD.					
File Name	IR000959	Created Date	Thursday, December 10, 2009	Created Time	8:24:43 AM
Emissivity	0,1	Humidity	75%	Distance	1.0 m
Ambient	22.6°C	Max Temp	49.4°C	Min Temp	20.8°C
IR Image				Object Parameter	Value
				Max	49.4°C
Visible Image					
Component Detail					
Recommendations: Dural, otáčky 150 min ⁻¹					
Repair Notes					
Type of Defect					
Found:					
Corrective Action Taken:					
Signature:					
Date:19.12.2009.....					

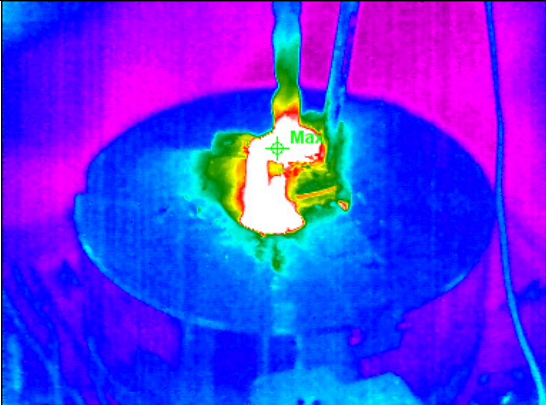

Príloha 3 Protokol z merania – Dural, otáčky 265 min⁻¹

Inspected Location: Katedra kvality a strojárskych technológií					
Inspected By: Bc.Štefan Boďo, Bc. Peter Zelnický, Ing. Ján Žitňanský, PhD.					
File Name	IR000964	Created Date	Thursday, December 10, 2009	Created Time	8:30:45 AM
Emissivity	0,1	Humidity	75%	Distance	1.0 m
Ambient	22.7°C	Max Temp	65.5°C	Min Temp	20.7°C
IR Image				Object Parameter	Value
				Max	65.5°C
Visible Image					
Component Detail					
Recommendations: Dural, otáčky 265 min ⁻¹					
Repair Notes					
Type of Defect					
Found:					
Corrective Action Taken:					
Signature:					
Date:19.12.2009.....					

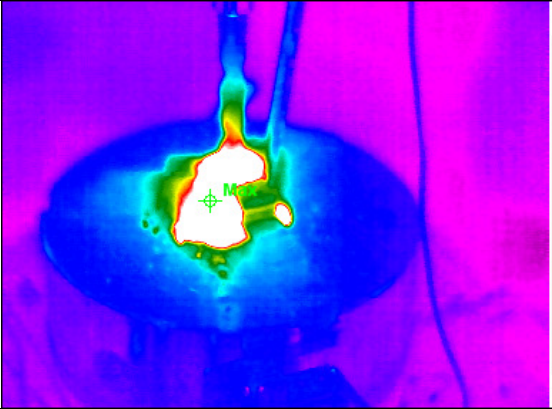
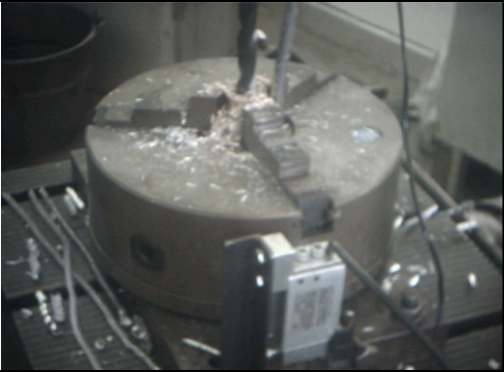
Príloha 4 Protokol z merania – Olovený bronz, otáčky 85 min⁻¹

Inspected Location: Katedra kvality a strojárskych technológií					
Inspected By: Bc.Štefan Boďo, Bc. Peter Zelnický, Ing. Ján Žitňanský, PhD.					
File Name	IR000968	Created Date	Thursday, December 10, 2009	Created Time	8:49:51 AM
Emissivity	0,2	Humidity	75%	Distance	1.0 m
Ambient	23.8°C	Max Temp	56.1°C	Min Temp	22.3°C
IR Image				Object Parameter	Value
				Max	56.1°C
Visible Image					
Component Detail					
Recommendations: Olovený bronz, otáčky 85 min ⁻¹					
Repair Notes					
Type of Defect					
Found:					
.....					
Corrective Action Taken:					
.....					
Signature:					
Date:19.12.2009.....					

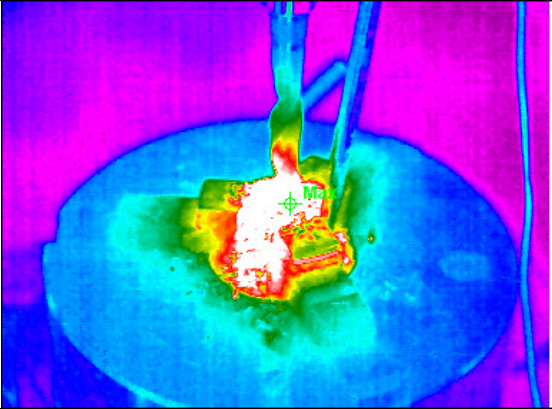

Príloha 5 Protokol z merania – Olovený bronz, otáčky 150 min⁻¹

Inspected Location: Katedra kvality a strojárskych technológií					
Inspected By: Bc.Štefan Boďo, Bc. Peter Zelnický, Ing. Ján Žitňanský, PhD.					
File Name	IR000972	Created Date	Thursday, December 10, 2009	Created Time	8:56:54 AM
Emissivity	0,2	Humidity	75%	Distance	1.0 m
Ambient	24.1°C	Max Temp	73.2°C	Min Temp	22.5°C
IR Image				Object Parameter	Value
				Max	73.2°C
Visible Image					
Component Detail					
Recommendations: Olovený bronz, otáčky 150 min ⁻¹					
Repair Notes					
Type of Defect					
Found:					
.....					
Corrective Action Taken:					
.....					
Signature:					
Date:19.12.2009.....					

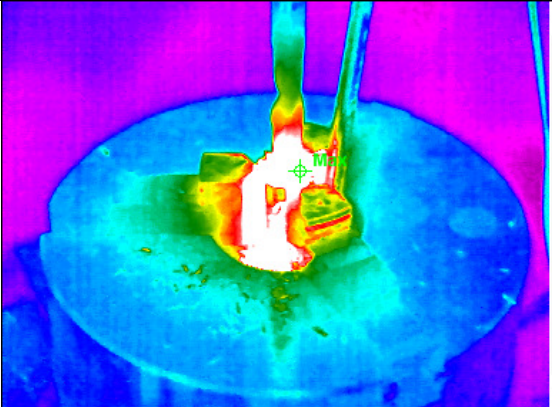

Príloha 6 Protokol z merania – Olovený bronz, otáčky 265 min⁻¹

Inspected Location: Katedra kvality a strojárskych technológií					
Inspected By: Bc.Štefan Boďo, Bc. Peter Zelnický, Ing. Ján Žitňanský, PhD.					
File Name	IR000977	Created Date	Thursday, December 10, 2009	Created Time	8:59:55 AM
Emissivity	0,2	Humidity	75%	Distance	1.0 m
Ambient	24.3°C	Max Temp	79.7°C	Min Temp	21.8°C
IR Image				Object Parameter	Value
				Max	79.7°C
Visible Image					
Component Detail					
Recommendations: Olovený bronz, otáčky 265 min ⁻¹					
Repair Notes					
Type of Defect					
Found:					
.....					
Corrective Action Taken:					
.....					
Signature:					
Date:19.12.2009.....					

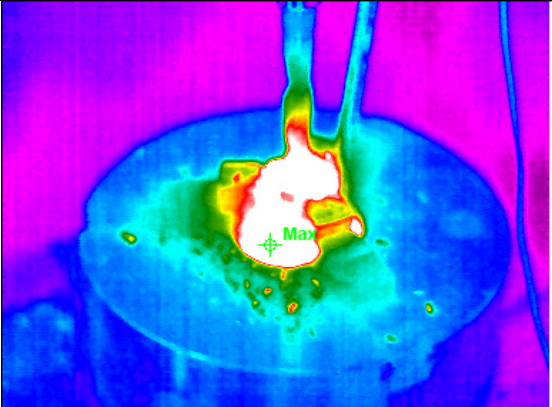

Príloha 7 Protokol z merania – Mosadz, otáčky 85 min⁻¹

Inspected Location: Katedra kvality a strojárskych technológií					
Inspected By: Bc.Štefan Boďo, Bc. Peter Zelnický, Ing. Ján Žitňanský, PhD.					
File Name	IR000981	Created Date	Thursday, December 10, 2009	Created Time	9:10:58 AM
Emissivity	0,15	Humidity	75%	Distance	1.0 m
Ambient	23.9°C	Max Temp	52.4°C	Min Temp	22.3°C
IR Image				Object Parameter	Value
				Max	52.4°C
Visible Image					
Component Detail					
Recommendations: Mosadz, otáčky 85 min ⁻¹					
Repair Notes					
Type of Defect					
Found:					
Corrective Action Taken:					
Signature:					
Date:19.12.2009.....					

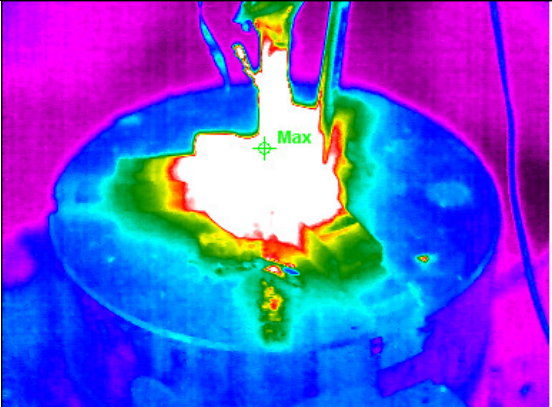

Príloha 8 Protokol z merania – Mosadz, otáčky 150 min⁻¹

Inspected Location: Katedra kvality a strojárskych technológií					
Inspected By: Bc.Štefan Boďo, Bc. Peter Zelnický, Ing. Ján Žitňanský, PhD.					
File Name	IR000985	Created Date	Thursday, December 10, 2009	Created Time	9:17:00 AM
Emissivity	0,15	Humidity	75%	Distance	1.0 m
Ambient	23.4°C	Max Temp	61.2°C	Min Temp	21.9°C
IR Image				Object Parameter	Value
				Max	61.2°C
Visible Image					
Component Detail					
Recommendations: Mosadz, otáčky 150 min ⁻¹					
Repair Notes					
Type of Defect					
Found:					
Corrective Action Taken:					
Signature:					
Date:19.12.2009.....					

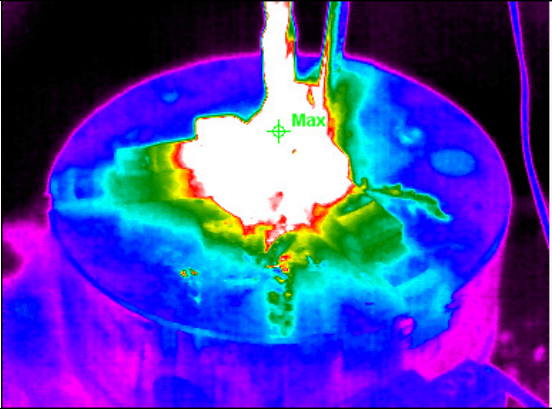

Príloha 9 Protokol z merania – Mosadz, otáčky 265 min⁻¹

Inspected Location: Katedra kvality a strojárskych technológií					
Inspected By: Bc.Štefan Boďo, Bc. Peter Zelnický, Ing. Ján Žitňanský, PhD.					
File Name	IR000989	Created Date	Thursday, December 10, 2009	Created Time	9:20:00 AM
Emissivity	0,15	Humidity	75%	Distance	1.0 m
Ambient	23.4°C	Max Temp	65.5°C	Min Temp	21.9°C
IR Image				Object Parameter	Value
				Max	65.5°C
Visible Image					
Component Detail					
Recommendations: Mosadz, otáčky 265 min ⁻¹					
Repair Notes					
Type of Defect					
Found:					
Corrective Action Taken:					
Signature:					
Date:19.12.2009.....					

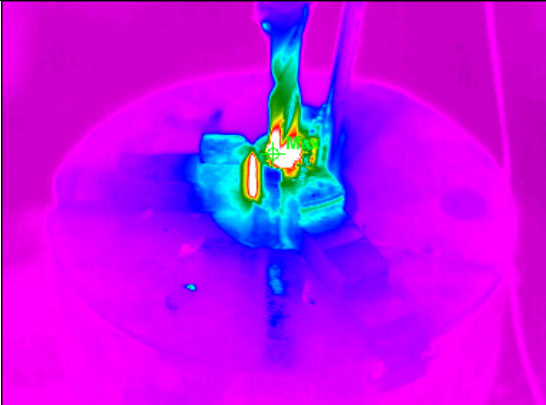
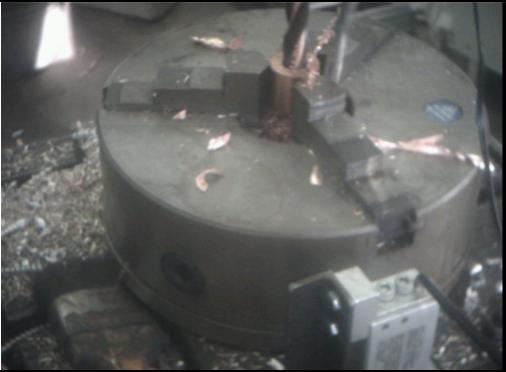
Príloha 10 Protokol z merania – Med', otáčky 85 min⁻¹

Inspected Location: Katedra kvality a strojárskych technológií					
Inspected By: Bc.Štefan Boďo, Bc. Peter Zelnický, Ing. Ján Žitňanský, PhD.					
File Name	IR000993	Created Date	Thursday, December 10, 2009	Created Time	9:26:02 AM
Emissivity	0,3	Humidity	75%	Distance	1.0 m
Ambient	23.8°C	Max Temp	99.6°C	Min Temp	22.1°C
IR Image				Object Parameter	Value
				Max	99.6°C
Visible Image					
Component Detail					
Recommendations: Med', otáčky 85 min ⁻¹					
Repair Notes					
Type of Defect					
Found:					
Corrective Action Taken:					
Signature:					
Date:19.12.2009.....					

Príloha 11 Protokol z merania – Med', otáčky 150 min⁻¹

Inspected Location: Katedra kvality a strojárskych technológií					
Inspected By: Bc.Štefan Boďo, Bc. Peter Zelnický, Ing. Ján Žitňanský, PhD.					
File Name	IR000996	Created Date	Thursday, December 10, 2009	Created Time	9:30:03 AM
Emissivity	0,3	Humidity	75%	Distance	1.0 m
Ambient	23.9°C	Max Temp	105.0°C	Min Temp	22.5°C
IR Image				Object Parameter	Value
				Max	105.0°C
Visible Image					
Component Detail					
Recommendations: Med', otáčky 150 min ⁻¹					
Repair Notes					
Type of Defect					
Found:					
Corrective Action Taken:					
Signature:					
Date:19.12.2009.....					

Príloha 12 Protokol z merania – Med', otáčky 265 min⁻¹

Inspected Location: Katedra kvality a strojárskych technológií					
Inspected By: Bc.Štefan Boďo, Bc. Peter Zelnický, Ing. Ján Žitňanský, PhD.					
File Name	IR001001	Created Date	Thursday, December 10, 2009	Created Time	9:35:05 AM
Emissivity	0,3	Humidity	75%	Distance	1.0 m
Ambient	24.0°C	Max Temp	143.3°C	Min Temp	22.3°C
IR Image				Object Parameter	Value
				Max	143.3°C
Visible Image					
Component Detail					
Recommendations: Med', otáčky 265 min ⁻¹					
Repair Notes					
Type of Defect					
Found:					
Corrective Action Taken:					
Signature:					
Date:19.12.2009.....					

Príloha 13 Priebeh vŕtania



Príloha 14 Vyvrtané vzorky

