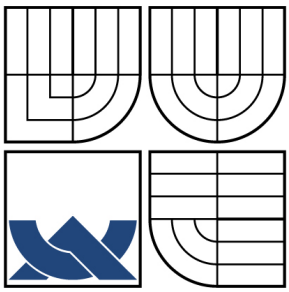
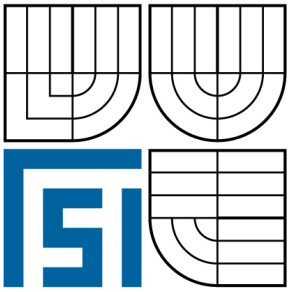


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

TECHNOLOGICKÉ PARAMETRY BROUSICÍHO PROCESU

TECHNOLOGICAL PARAMETERS OF ABRASIVE PROCESS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE — PAVEL ŘEHÁK
AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE — doc. Ing. JAROSLAV PROKOP, CSc.
SUPERVISOR

BRNO 2009

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie
Akademický rok: 2008/2009

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Pavel Řehák

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojní inženýrství (2301R016)**

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

Technologické parametry brousicího procesu

v anglickém jazyce:

Technological parameters of abrasive process

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

1. Technologická identifikace brousicího procesu
2. Brousicí nástroje
3. Parametry přesnosti broušené plochy

Cíle bakalářské práce:

Analýza technologických vlivů na brousicí proces

Seznam odborné literatury:

1. FOREJT, Milan, PÍŠKA, Miroslav. Teorie obrábění, tváření a nástroje. 1.vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006. 226 s. ISBN 80-214-2374-9.
2. HUMÁR, Anton. Slinuté karbidy a řezná keramika pro obrábění. 1. vyd. Brno: CCB, 1995. 265 s. ISBN 80- 85825-10-4.
3. KOCMAN, Karel, NĚMEČEK, Petr. Aktuální příručka pro technický úsek.16. aktualizované vyd. Praha: Verlag Dashőfer 2001. 4250 s. ISBN 80-902247-2-5.
4. KOCMAN, Karel. Speciální technologie. Obrábění. 1.vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2004. 228 s. ISBN 80-214-2562-8.
5. KOCMAN, Karel, PROKOP, Jaroslav. Technologie obrábění. 1.vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o. 2001. 270 s. ISBN 80-214-1996-2.
6. KŘÍŽ, R., VÁVRA, P. Strojírenská příručka 7.svazek. 1.vyd. Praha: Scientia, spol. s r.o. 1996. 212 s. ISBN 80-7183-024-0.
7. ŠTULPA, M. CNC obráběcí stroje a jejich programování. Praha: BEN – technická literatura, 2006. 126 s. ISBN 80-7300-207-8.
8. VLACH, Bohumil. Technologie obrábění a montáží. 1.vyd. Praha: SNTL – Nakladatelství technické literatury, 1990. 472 s. ISBN 80-03-00143-9.

Vedoucí bakalářské práce: doc. Ing. Jaroslav Prokop, CSc.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2008/2009.

V Brně, dne 10.11.2008

L.S.

doc. Ing. Miroslav Píška, CSc. Ředitel ústavu	doc. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc. Děkan fakulty

ABSTRAKT

V této práci je popsán brousicí proces včetně technologických podmínek s identifikací pohybů a rychlostí při broušení. Dále jsou popsány brousicí nástroje, jejich rozdělení a charakterizování. V posledním bodě jsou pak uvedeny některé dosahované parametry přesnosti broušené plochy a parametry struktury povrchu v závislosti na době trvání brousicího procesu.

Klíčová slova

Broušení, nástroj, brousicí kotouč.

ABSTRACT

In this work, there is described an abrasive process including technological terms with an identification of motions and a speed of grinding.Then there are described abrasive tools, their distribution and description. In the last part there are introduced some reached parameters of the accuracy and characteristics of the surface structure in dependence on the length of abrasive process.

Key words

Grinding, tool, grinding wheel.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

ŘEHÁK, P. *Technologické parametry brousicího procesu.* Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2009. 40 s. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Jaroslav Prokop, CSc.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma *Technologické parametry brousicího procesu* vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

11. května 2009 …….

Pavel Řehák

Poděkování

Děkuji tímto panu doc. Ing. Jaroslavu Prokopovi, CSc za cenné připomínky a rady při vypracování bakalářské práce a slečně Anetě Ovesné, za pomoc s překladem odborného textu.

OBSAH

Abstrakt 4
Prohlášení 5
Poděkování 6
Obsah 7
Úvod 8
1 TECHNOLOGICKÁ IDENTIFIKACE BROUSÍCÍHO PROCESU 9
1.1 Obecná definice broušení 9
1.2 Kinematika brousicího procesu 11
1.3 Technologické podmínky 14
1.3.1 Přídavky na broušení 14
1.3.2 Pohyby a rychlosti 15
1.3.3 Prostředí 21
2 BROUSICÍ NÁSTROJE 23
2.1 Technologická charakteristika brousicích nástrojů 23
2.2 Brusivo a jeho druhy 23
2.2.1 Přírodní brusiva 24
2.2.2 Umělá brusiva 24
2.3 Pojivo 26
2.4 Zrnitost brusiva 28
2.5 Tvrdost brousicích kotoučů 28
2.6 Struktura 29
2.7 Označování brousicích kotoučů 30
3 PARAMETRY PŘESNOSTI BROUŠENÉ PLOCHY 31
3.1 Struktura povrchu a Geometrické tolerance 31
3.1.1 Struktura povrchu 31
3.1.2 Geometrické tolerance 33
3.2 Dosahované parametry přesnosti rozměrů a jakosti obrobené plochy 34
3.3 Parametry struktury povrchu v závislosti na době trvání brousicího procesu 35
Závěr 37
Seznam použitých zdrojů 38
Seznam použitých zkratek a symbolů 39

ÚVOD

Broušení a ostření předmětů je známé již z dávné minulosti. Součásti vyrobené na obráběcích strojích nedosahují zpravidla požadované přesnosti a velmi často se ještě tepelně zpracovávají. Jejich výroba se dokončuje broušením, při němž součást dostane přesné rozměry, požadovaný tvar i drsnost povrchu. Jako nástroj se při broušení nejčastěji používá brousící kotouč, který bývá často jediným nástrojem, kterým lze hospodárně obrábět tvrdé kalené a cementované součásti, slinuté karbidy a jiné tvrdé kovové i nekovové materiály.

Broušením se rovněž obnovuje řezací schopnost otupených řezných nástrojů. Tomuto způsobu broušení říkáme ostření [1].

1 TECHNOLOGICKÁ IDENTIFIKACE BROUSÍCÍHO PROCESU

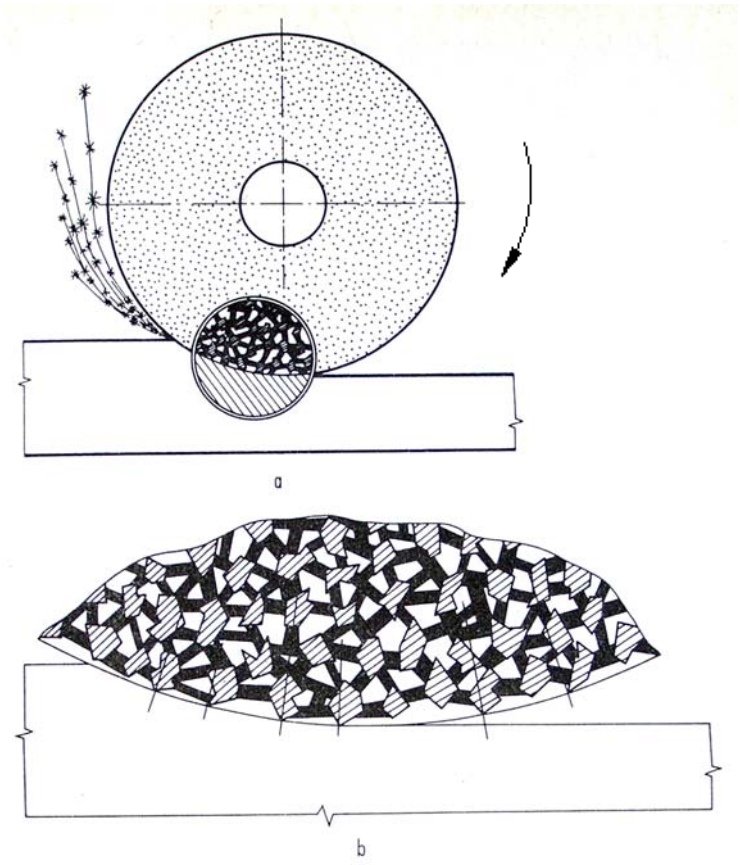
1.1 Obecná definice broušení

Nástrojem při broušení je zpravidla brousící kotouč – mnohobřitý řezný nástroj. Řezné břity tvoří tvrdá zrna brusiva (obr. 1.1). Každé jednotlivé zrno brusiva působí jako řezný nástroj, který vniká do materiálu obrobku, z něhož odděluje velmi jemné třísky. Třísky mají velmi malé rozměry a vlivem vysoké teploty odletují jako jiskry. Zrna brusiva jsou uložena v pojivu brousicího kotouče.

Brousicí kotouč nemá souvislý břit, protože jednotlivá brousicí zrna jsou na pracovní ploše rozmístěna nepravidelně. Jednotlivá brousicí zrna mají nepravidelný tvar a zaoblené vrcholy, a mají tedy zpravidla i záporné řezné úhly.

Brousicí kotouč koná hlavní otáčivý řezný pohyb. Obrábí při velkých řezných rychlostech obrovským počtem brousicích zrn na pracovní ploše kotouče. Brousicí zrna odřezávají třísky téměř okamžitě a brousicí kotouč odřeže za za časovou jednotku velké množství velmi jemných třísek.

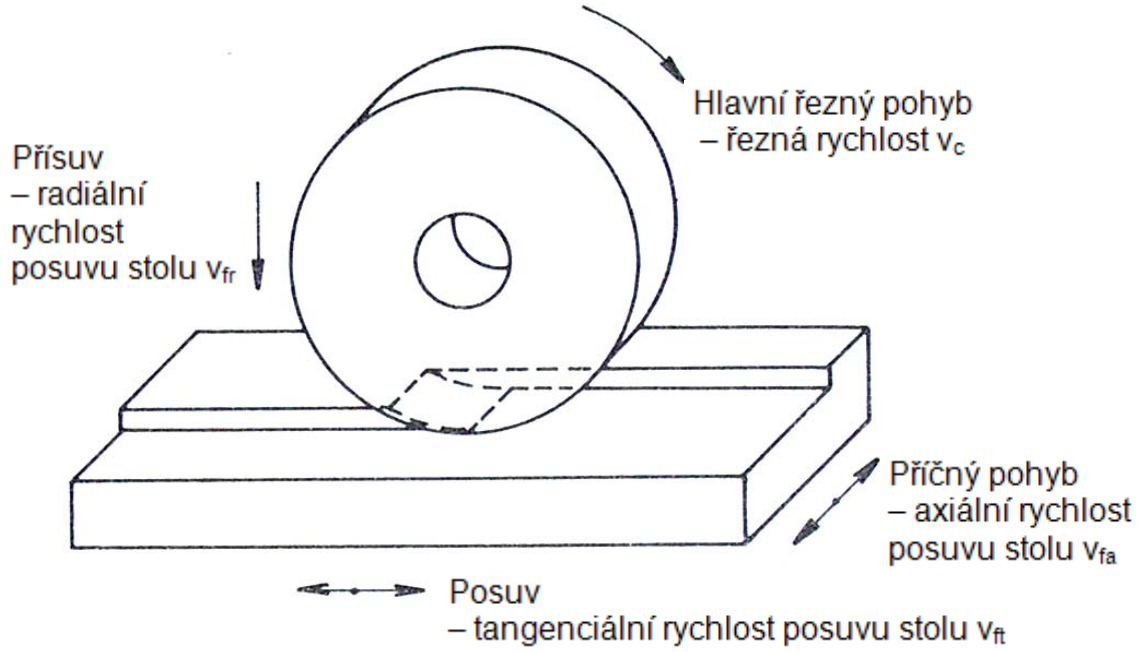
Než se brousicí zrna na začátku řezného pochodu zaříznou do kovu, nejprve po něm okamžik intenzivně kloužou. Vysoké okamžité teploty, které vznikají při broušení, zvětšují tvárnost deformovaného kovu, a tím umožňují ubírat třísky zaoblenými zrny brousicího kotouče. Odebrání jedné třísky trvá asi 0,0001 až 0,00005 s a je tedy prakticky okamžité. Při obvyklých řezných podmínkách se za 1 minutu odebírají sta miliony třísek [1].



Obr. 1.1 Brousicí kotouč [1]
a – kotouč
b – struktura brousicího kotouče

Mírou velikosti hlavního řezného pohybu při broušení je řezná rychlost, která se značí písmenem v_c.

Obrobek koná vedlejší řezný pohyb – posuv. Mírou velikosti posuvu je rychlost posuvu v_f, která se udává v $m.s^{-1}$, nebo v $m.min^{-1}$ a také mm/ot obrobku.



Obr. 1.2 Pohyby při broušení [1]

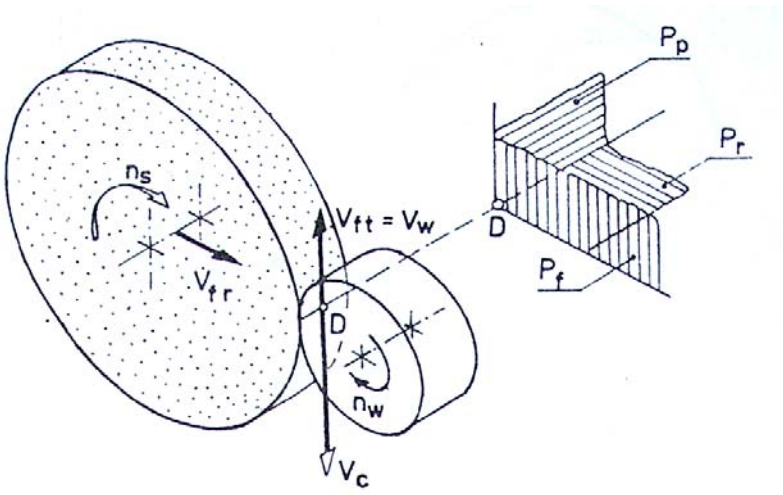
Rychlost posuvu je okamžitá relativní rychlost uvažovaného ostří ve směru posuvu. Posuv umožňuje odebírání dalších třísek. Příčný pohyb obrobku dovoluje obrobení celé plochy obrobku.

Přísuv je pohyb, jímž se nástroj přibližuje k obrobku nebo obrobek k nástroji, aby bylo možno odbrousit další vrstvu materialu.

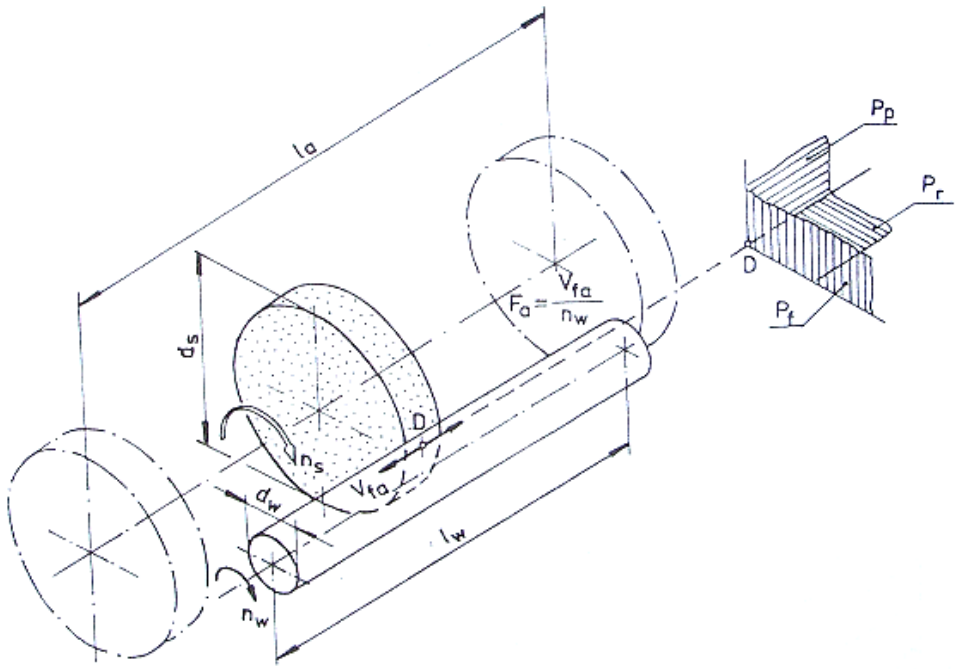
Všechny řezné pohyby a další potřebné funkce zprostředkuje brousicí stroj - bruska [1].

1.2 Kinematika brousicího procesu

Pohyby a rychlosti při broušení se identifikují pro jednotlivé brousicí způsoby.V rámci dané problematiky je dále charakterizováno obvodové vnější broušení do kulata – obr. 1.3 [2].



a



b

Obr. 1.3 Pohyby a souřadnicové soustavy rovin pro obvodové broušení do kulata [4]
a – radiální
b – axiální

d_S – průměr brousicího kotouče [mm]
n_s – frekvence otáčení brousicího kotouče [min^{-1}]
d_w – průměr obrobku [mm]
n_w – frekvence otáčení obrobku [min^{-1}]
v_{fa} – axiální rychlost posuvu stolu [$m \cdot min^{-1}$]
f_a – axiální posuv stolu [m]
v_{fr} – radiální rychlost posuvu stolu [$m \cdot min^{-1}$]

D – hlavní bod při broušení [-]
P_f – nástrojová rovina boční [-]
P_p – nástrojová rovina zadní [-]
P_r – nástrojová rovina základní [-]
l_a – délka axiální dráhy brousicího kotouče [mm]
l_w – délka obrobku [mm]

Řezná rychlost v_c se vyjádří vztahem [2]:

$$v_c = \frac{\pi \cdot d_s \cdot n_s}{60 \cdot 1000} \quad [m.s^{-1}] \qquad (1.1)$$

d_s - průměr brousicího kotouče [mm]
n_s - frekvence otáčení brousicího kotouče [min^{-1}]

Řezná rychlost při běžném broušení je 30 až 35 $m \cdot s^{-1}$. Při rychlostním broušení je nutná aplikace kotouče se speciálním druhem pojiva a řezná rychlost zpravidla přesahuje 80 $m \cdot s^{-1}$, ve zvláštních případech až 180 $m \cdot s^{-1}$.

Obvodová rychlost obrobku v_w je dána závislostí [2]:

$$v_w = \frac{\pi \cdot d_w \cdot n_w}{1000} \quad [m.min^{-1}] \qquad (1.2)$$

d_w - průměr brousicího kotouče [mm]
n_w - frekvence otáčení obrobku [min^{-1}]

Poměr rychlosti q je dán poměrem mezi řeznou rychlostí a posuvovou rychlostí. Při broušení do kulata $q = 60\ v_c / v_w$ [-] a při rovinném broušení $q = 60\ v_c / v_{ft}$ [-] [2].

Stykový oblouk brousicího kotouče a obrobku se kvantifikuje jako geometrická délka styku l_g, kinematická délka styku l_k a skutečná délka styku l_e [2].

Pro běžné podmínky obvodového broušení je geometrická délka styku [2]:

$$l_g = \sqrt{2 f_r \cdot r_{eq}} \qquad (1.3)$$

f_r – radiální posuv stolu [m]
r_{eg} – ekvivalent poloměru brousicího kotouče [mm]

Ekvivalent poloměru brousicího kotouče r_{eq} vyjadřuje poloměr fiktivního brousicího kotouče v záběru s obrobkem, který má stejnou délku geometrockého styku l_g jakobrousicí kotouč s poloměrem r_s v záběru s obrobkem o poloměru r_w při obvodovém broušení.
Hodnota r_{eg} se vyjádří ve tvaru [2]:

$$r_{eg} = \frac{r_w \cdot r_s}{r_w \pm r_s} \quad \text{[mm]} \qquad (1.4)$$

Ve vztahu (1.4) se pro vnější broušení do kulata použije znaménko plus a pro vnitřní broušení do kulata znaménko minus [2].

Kinematická délka styku l_k se vyjádří dle [2]:

$$l_k = \left(1 + \frac{1}{|q|}\right) \qquad (1.5)$$

|q| – absolutní hodnota poměru rychlostí [2]

1.3 Technologické podmínky

1.3.1 Přídavky na broušení

Přídavek pro broušení je tloušťka povrchové vrstvy materiálu ponechaná na uvažované ploše součásti po předchozí obráběcí operaci, kterou je nutno při broušení odstranit, aby se dosáhlo předepsané přesnosti rozměru tvaru a drsnosti povrchu [6].

Velikost přídavku roste s rostoucím průměrem hřídele. Dále se volí podle požadované rozměrové přesnosti a jakosti povrchu výsledné součásti s tím, že čím vyšší je požadovaná přesnost a požadovaná jakost obrobené plochy, tím větší by měl být přídavek. Přídavek není vhodné volit příliš veliký, jelikož pak dochází k prodlužování času na opracování součásti, zbytečnému plýtvání materiálem, potažmo ke zvyšování opotřebení nástrojů. Na druhou stranu příliš malý přídavek na obrábění může způsobit, že nebudeme schopni vyrobit danou součást v požadovaných rozměrech s potřebnou jakostí povrchu.

Tab. 1.1 Velikost přídavku při bezhrotém broušení [2]

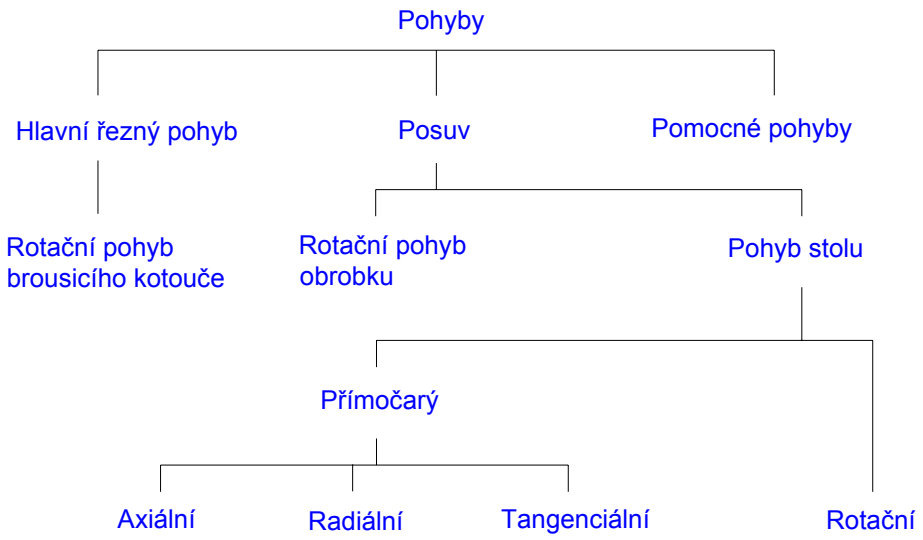
Druh práce	Průměr broušené součásti $\mathbf{d_w}$ [mm]	Přídavek na průměr $\mathbf{2a_e}$ [mm]
Hrubování	do 10 10 až 25 25 až 75 75 až 150	0,04 až 0,06 0,06 až 0,1 0,1 až 0,3 0,2 až 0,4
Broušení na čisto	-	0,005 až 0,02

1.3.2 Pohyby a rychlosti

Všecky pohyby a rychlosti se určují v určitém čase ve zvoleném bodě aktivní části brousicího kotouče, obyčejně v hlavním bodě D (obr. 1.3). Pokud se za hlavní bod zvolí jiný bod, je potřeba přesná specifikace.

Schematické znázornění pohybů je v tabulce 1.2 [4].

Tab. 1.2 Schéma relativních pohybů mezi kotoučem a obrobkem [4]



Hlavní řezný pohyb a příslušné veličiny:

Hlavní řezný pohyb - otáčivý pohyb brousicího kotouče

Řezná rychlost v_c:

Tangenciální rychlost brousicího kotouče v bodě zvoleném na ploše styku měřená ve vztahu k držáku brousicího kotouče. Doporučená jednotka $m.s^{-1}$[4].

Řezná rychlost je určena vztahem (1.1).

Pro obvodové broušení do kulata vnějších ploch jsou doporučené hodnoty řezné rychlosti [2]:

Broušení axiální:	ocel ……	25 – 35 $m.s^{-1}$
	litina ……	25 $m.s^{-1}$
Broušení bezhroté:		30 – 35 $m.s^{-1}$

Obvodová rychlost brousicího kotouče v_s:

Tangenciální rychlost na obvodě brousicího kotouče měřená na jeho největším průměru ve vztahu k držáku brousicího kotouče. Doporučená jednotka $m.s^{-1}$ [4].

Frekvence otáčení brousicího kotouče n_s:

Počet otáček brousicího kotouče za jednotku času měřený ve vztahu k držáku brousicího kotouče. Doporučená jednotka s^{-1} [4].

Posuv a příslušné veličiny:

Posuv vyplývá z kombinace osobně určených nezávislých pohybů obrobku a součástí obráběcího stroje.

Složky posuvu jsou plynulé nebo přerušované (na jeden zdvih, úběr nebo otáčku), dané jsou otáčením obrobku ve vztahu ke stolu, nebo pohybu stolu ve vztahu k základu obráběcího stroje [4].

Hlavní posuv:

Plynulý posuvný pohyb s největší posuvnou rychlostí při brusných operacích.

Při některých brusných operacích se může směr hlavního posuvu měnit, v tomto případě je potřebná podrobná specifikace [4].

Otáčivý pohyb obrobku:

Rotace obrobku kolem své osy ve vztahu ke stolu při broušení do kulata – obr. 1.3 [4].

Obvodová rychlost obrobku v_w:

Okamžitá rychlost obvodové části obrobku ve zvoleném bodě ve vztahu ke stolu. Doporučená jednotka mm/s.

Pokud je při rovinném broušení a nebo při broušení do kulata obrobek upevněný na stůl, uvažuje se jen s pohybem stolu v_w=0 [4].

Obvodová rychlost obrobku je určena vztahem (1.2).

Doporučené parametry pro obvodové broušení do kulata vnějších ploch [2]:

Broušení axiální:	na hrubo:	ocel	…… 15 – 20 m/min
		litina	…… 15 – 22 m/min
		hliník	…… 20 – 30 m/min
	na čisto:	ocel	…… 8 – 15 m/min
		litina	…… 12 – 16 m/min
Broušení bezhroté:			18 – 45 m/min

Doporučené parametry pro obvodové broušení do kulata vnitřních ploch:

Tab. 1.3. Volba řezných poměrů při vnitřním broušení [2]

Pozn: b_s – šířka brousicího kotouče, f_a se vztahuje na otáčku obrobku, a_e se vztahuje na zdvih

Druh práce	Podélný (axiální) posuv f_a [mm]	Pracovní (radiální) záběr a_e [mm]	Obvodová rychlost obrobku v_w [m.min^{-1}]
Jednoduché brusky			
- hrubování	(0,4 až 0,7)b_s	0,005 až 0,02	20 až 40
- broušení na čisto	(0,25 až 0,4)b_s	0,0025 až 0,01	20 až 40
Poloautomatické brusky			
- hrubování	(0,4 až 0,75)b_s	0,0025 až 0,005	50 až 150
- broušení na čisto	(0,25 až 0,4)b_s	0,0015 až 0,0025	50 až 150

Frekvence otáčení obrobku n_w:

Při broušení do kulata, počet otáček obrobku za jednotku času ve vztahu ke stolu. Doporučená jednotka s^{-1} [4].

Pohyb stolu a příslušné veličiny:

Posuv stolu – pohyb součásti obráběcího stroje, na kterém je upevněný obrobek nebo brousicí vřeteník, ve vztahu k jeho základu.

Posuv stroje je přímočarý nebo otáčivý.

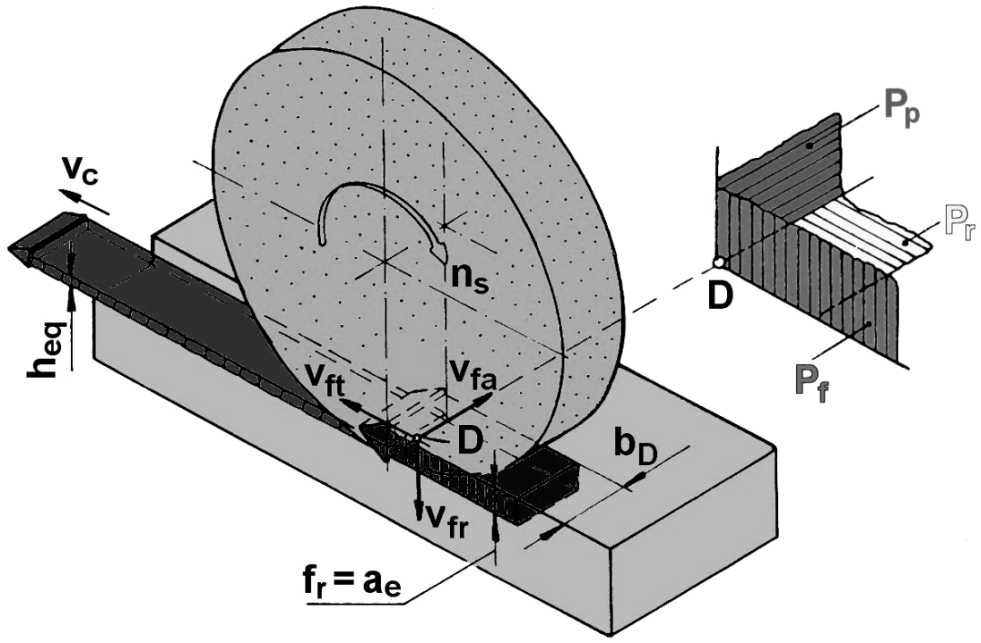
Přímočarý posuv stolu je podle orientace na brousicí kotouč axiální, radiální a tangenciální [4].

Axiální posuv stolu:

Pohyb stolu ve zvoleném bodě ve směru rovnoběžném s osou brousicího kotouče [4].

Axiální rychlost posuvu stolu v_{fa}:

Rychlost axiálního posuvu stolu ve vztahu k základu obráběcího stroje. Doporučená jednotka mm/s nebo μm/s. Obrázky 1.3 a 1.4 [4].



Obr. 1.4 Ekvivalentní hloubka brošení, pohyby, souřadnicové systémy rovin obvodového a tandenciálního broušení [4].

Axiální posuv stolu f_a:

Přemístění stolu ve vztahu k základu obráběcího stroje axiálním posuvným pohybem měřené za otáčku obrobku nebo za jeden zdvih.

Při broušení do kulata je doporučená jednotka mm/ot obrobku nebo μm/ot.

Při rovinném broušení může být axiální posuvný pohyb přerušovaný, uskutečňovaný na konci každého zdvihu. V tom případě jde o axiální posuv na zdvih nebo axiální přírůstek posuvu stolu na zdvih. Doporučená jednotka mm/zdvih nebo μm/zdvih [4].

Doporučené parametry pro obvodové broušení do kulata vnějších ploch [2]:

na hrubo: ocel …… (0.6 – 0.8) b_s
litina …… (0.75 – 0.85) b_s
na čisto: ocel …… (0.2 – 0.4) b_s
litina …… (0.3 – 0.5) b_s

Doporučené parametry pro obvodové broušení do kulata vnitřních ploch [2]:

Jsou uvedeny v tabulce 1.3.

Doporučené parametry pro rovinné broušení:

Jsou uvedeny v tabulce 1.4.

Tab. 1.4. Směrné hodnoty řezných parametrů pro rovinné broušení [2]

Druh práce	Radiální posuv f_r [mm]	Axiální posuv f_a [mm]	Tangenciální rychlost posuvu stolu v_{ft} [m·min^{-1}]
Rovinné broušení obvodové			
a) přímočarý pohyb stolu			
- hrubování	0,01 až 0,04	(0,4 až 0,7)b_s	8 až 30
- broušení na čisto	0,005 až 0,01	(0,2 až 0,3)b_s	15 až 20
b) kruhový pohyb stolu			
- hrubování	0,005 až 0,015	(0,3 až 0,6)b_s	20 až 60
- broušení na čisto	0,005 až 0,010	(0,2 až 0,25)b_s	40 až 60
Rovinné broušení čelní			
a) přímočarý pohyb stolu			
- hrubování	0,015 až 0,04	-	4 až 12
- broušení na čisto	0,005 až 0,01	-	2 až 3
b) kruhový pohyb stolu			
- hrubování	0,015 až 0,03	-	10 až 40
- broušení na čisto	0,005	-	10 až 40

Radiální posuvný pohyb:
Pohyb stolu ve zvoleném bodě ve směru kolmém na osu brousicího kotouče [4].

Radiální rychlost posuvu stolu v_{fr}:
Rychlost radiálního posuvného pohybu ve vztahu k základu obráběcího stroje. Doporučená jednotka mm/s.
Obrázky 1.3 a 1.4 [4].

Radiální posuv stolu f_r:
Přemístění stolu ve vztahu k základu obráběcího stroje radiálním posuvným pohybem měřeným za otáčku obrobku nebo zdvih, úběr.

Při broušení do kulata je doporučená jednotka mm/ot nebo µm/ot.

Při rovinném broušení je radiální posuvný pohyb přerušovaný: uskutečňuje se odebíráním další vrstvy materiálu, v tom případě jde o přírůstek radiálního přísuvu. Doporučená jednotka mm/úběr nebo µm/úběr [4].

Doporučené parametry pro obvodové broušení do kulata vnějších ploch:

Jsou uvedeny v tabulce 1.5.

Tab. 1.5. Volba řezných podmínek při bezhrotém broušení – zapichovací způsob [2].

Druh práce	Radiální posuv na 1 otáčku obrobku f_r [mm]	Obvodová rychlost podávacího kotouče v_w [mm]
Hrubování	0,005 až 0,02	10 až 25
Broušení na čisto	0,03 až 0,01	10 až 35

Doporučené parametry pro rovinné broušení:

Jsou uvedeny v tabulce 1.4.

Tangenciální posuvný pohyb stolu:

Směr pohybu stolu rovnoběžný s vektorem hlavního řezného pohybu brousicího kotouče v bodě D [4].

Tangenciální rychlost posuvu stolu v_{ft}:

Rychlost tangenciálního posuvného pohybu ve vztahu k základu obráběcího stroje [4].

Doporučené parametry pro rovinné broušení:

Jsou uvedeny v tabulce 1.4.

Tangenciální posuv stolu f_t:

Přemístění stolu ve vztahu k základu obráběcího stroje tangenciálním pohonem stolu měřené za otáčku obrobku nebo zdvihu.

Pro broušení do kulata je doporučená jednotka mm/ot nebo µm/ot [4].

Otáčivý posuvný pohyb stolu:

Pohyb stolu okolo své osy [4].

Frekvence otáčení stolu n_m:
Počet otáček stolu za jednotku času ve vztahu k základu obráběcího stroje. Doporučená jednotka s^{-1} [4].

Hlavní posuvný pohyb stolu:
Složka plynulého pohybu stolu s největší rychlostí ve zvoleném bodě [4].

Přírůstek posuvu:
Přerušené přemístění brousicího kotouče na konci každého zdvihu nebo úběru v rovině tangenciální k obrobenému povrchu. Doporučená jednotka mm/zdvih nebo μm/zdvih, úběr [4].

Přírůstek přísuvu:
Přerušované přemístění brousicího kotouče kolmo na obrobený povrch, na odstranění další vrstvy materiálu po celé obrobené ploše. Doporučená jednotka mm/zdvih nebo μm/zdvih [4].

Celková délka posuvného pohybu stolu l_{fH}:
Celková délka posuvu po dobu určitých operací ve směru pohybu stolu. Vhodný index u symbolu l označuje druh pohybu stolu.
$l_{fH} = l_{fa} + l_{fo}$ [4]

Aktivní délka posuvného pohybu stolu l_{fa}:
Délka posuvu stolu po dobu určité operace aktivního broušení [4].

Neproduktivní délka posuvného pohybu stolu l_{fo}:
Délka posuvného pohybu po dobu určité operace, při které se broušení vykonává [4].

Pomocné pohyby a další veličiny:

Přibližovací pohyb:
Pohyb brousicího kotouče přímo před začátkem broušení [4].

Kompenzační pohyb:
Plynulý nebo přerušovaný pohyb kompenzující opotřebení brousicího kotouče, tepelnou, plastickou deformaci nebo jiné změny [4].

Poměr rychlosti q:
Poměr mezi řeznou rychlostí a rychlostí posuvu ve vztahu k základu obráběcího měřený ve směru tangenty ve zvoleném bodě [4].

Přesah U (příčný přesah) při broušení do kulata nebo při rovinném broušení s axiálním posuvem:
Poměr mezi šířkou aktivní části brousicího kotouče a axiálním posuvem stolu [4]:

$$U = \frac{b_D}{f_a} \qquad (1.6)$$

1.3.3 Prostředí

Při broušení vzniká značné množství tepla, které může: deformovat obrobek, popustit kalený obrobek, způsobit na povrchu barevné skvrny.

Při broušení za sucha chladí broušenou plochu pouze okolní vzduch, strhávaný rotujícím brousicím kotoučem. Výkonnost broušení je malá a výhoda je pouze v čistotě obrobků a strojů.

Chladicí kapalina odvádí teplo vznikající při broušení, očišťuje povrch obrobku a brousicího kotouče od třísek a udržuje řezivost kotouče. Má značný vliv na kvalitu obráběné plochy [1].

Emulze

Kdysi jeden uznávaný tribotechnik, specialista na obrábění, řekl: "Ideální kapalinou na broušení by byla voda, kdyby neměla pár negativních vlastností." Voda má nízkou viskozitu a z toho vyplývá její dobrá schopnost odvádět teplo, tedy chladit obráběný dílec. Má velmi dobrou oplachovací schopnost, což je důležité pro odvod brusného kalu, který se skládá z částic obráběného materiálu a brusiva. Je ekologicky nezávadná a je levná. Proces broušení lze díky její čirosti dobře sledovat.

Proč tedy nepoužíváme k broušení čistou vodu? Protože má několik negativních vlastností pro tento proces - nemá téměř žádný mazací účinek a neposkytuje žádnou ochranu proti korozi.

Podívejme se nyní na emulzi typu olej ve vodě. Olej, kterého bývá při broušení obvykle od 2 do 8 %, zlepší mazací schopnost kapaliny, ale zhorší odvod tepla a navzdory obsahu emulgátoru, který je povrchově aktivní látkou, a má částečně i máčecí a oplachovací schopnost. Emulze jsou navíc buď mléčně bílé nebo mají bělavý nádech, čímž se zhorší sledovatelnost procesu.

Minerální olej má jen omezenou odolnost vůči vlivu tepla a mechanickému zatížení. Kvalita vody je také důležitá pro stabilitu emulze a její pěnivost. V příliš tvrdé vodě se může emulze rozpadnout, v příliš měkké může zase pěnit. Emulze z minerálního oleje a vody je navíc doslova rájem pro anaerobní mikroorganismy (žijí bez přístupu vzduchu), a když není dostatečně provzdušněná, rychle se může objevit hnilobný zápach. Ten je jen průvodním jevem dalších negativních procesů, jako je snížení pH a ruku v ruce jej provázející koroze. Přidané inhibitory koroze sice dočasně zlepší protikorozní odolnost broušených dílců, ale účinné jsou právě jen v omezené oblasti pH. Čím menší je koncentrace emulze, tím větší je její citlivost vůči napadení bakteriemi, houbami a plísněmi. Na boj s mikroorganismy je potřebné nasadit buď biocidy nebo použít emulgátory s biostatickými vlastnostmi. Ale tady je nutné si uvědomit, že tyto působí stejně nejen v emulzi, ale i v životním prostředí, do kterého mohou proniknout. Správné řešení je proto někde jinde [7].

Roztok

Jsou jím speciální syntetické kapaliny na broušení, které neobsahují minerální olej a s vodou netvoří bílé emulze, ale čiré transparentní roztoky. Většinou se vyrábějí na bázi syntetických polyalkylenglykolů, které mají, v porovnání s minerálními oleji, mnohem vyšší odolnost vůči termickým a mechanickým vlivům. Také mnohem lépe odolávají napadnutí

mikroorganismy, a proto si dlouhodobě udrží stabilní pH. Na rozdíl od "klasických" emulzí nemají tendenci pěnit ani ve velmi měkké vodě. Moderní inhibitory koroze použité v těchto systémech zabezpečí dostatečnou dočasnou ochranu proti korozi. Negativa? Pouze o něco vyšší cena v porovnání s emulzemi na bázi minerálního oleje. Agresivita těchto kapalin vůči nátěrovým hmotám použitým na strojích je minulostí, protože výrobci strojů už delší dobu používají vícesložkové polymerní laky, které těmto kapalinám dobře odolávají.
Tento moderní výrobní prostředek lze najít i v sortimentu syntetických obráběcích kapalin Agip, který nabízí kapaliny na broušení ocelí, ale i problematické litiny či barevných kovů, jakož i tvrdokovů. Podle obráběných materiálů lze vybírat z produktů Aquamet SGZ, Aquamet OSL, Aquamet SBH. Agip Aquamet SHM je navíc určen speciálně na broušení tvrdokovů a je inhibovaný vůči vyplavování kobaltu z nich [7].

Olej

Na broušení houževnatých materiálů při velkých rychlostech, jako jsou např. součástky pro automobilový nebo elektrotechnický průmysl (např. klikové či vačkové hřídele atd.), se používají řezné oleje. U nich se vyžaduje nízká viskozita (kvůli dobrému odvodu tepla a dobré oplachovací schopnosti) a dobrá mazací schopnost, která sa zvyšuje přidáním speciálních aditiv. Z pracovně-hygienického hlediska je důležité, aby se na pracovišti netvořila olejová mlha. Kapaliny, které splňují všechny tyto náročné požadavky, lze opět nalézt i v sortimentu společnosti Agip pod obchodními názvy Agip MetalGrind. Kapalina MetalGrind S 5 HM je určena na broušení ocelí, litiny a hlavně tvrdokovů, MetalGrind S 10 CBN obsahuje syntetické estery a je určen pro procesy broušení, při kterých se jako brusivo používá diamant nebo kubický bornitrid (CBN). Univerzálním produktem pro velmi široké spektrum aplikací je Agip MetalGrind S 15 UNI [7].

2 BROUSICÍ NÁSTROJE

2.1 Technologická charakteristika brousicích nástrojů

Brousicí nástroje jsou brousicí zrna spojená pojivy v tuhá tělesa vhodného tvaru.

Podle tvaru se brousicí nástroje dělí na:
a) brousicí pilníky,
b) obtahovací kameny,
c) brousicí kotouče,
d) řezací a lešticí kotouče,
e) honovací a superfinišovací kameny,
f) brousicí segmenty.

Brousicí nástroje jsou charakterizovány těmito základními údaji:
a) druhem brusiva,
b) druhem pojiva,
c) zrnitostí brusiva,
d) tvrdostí – soudržností brousicího nástroje,
e) slohem neboli strukturou,
f) geometrickým tvarem a rozměry.

Tyto znaky určují možnosti a způsob použití brousicího kotouče i jiných brousicích nástrojů. Správná volba charakteristiky brousicích nástrojů pro dané pracovní podmínky je jednou ze základních podmínek hospodárného broušení [1].

2.2 Brusivo a jeho druhy

Brusiva jsou tvrdé, houževnaté a ostrohranné krystalické látky, kterými lze brousit jiné měkčí materiály.
Podle původu jsou brusiva přírodní a umělá.
Podle tvaru mohou být brusiva rozdělena na:
a) volná zrna, tj. brousicí, lešticí a lapovací prášky,
b) zrna přilepená k podkladu – brousicí papíry a lešticí plátna,
c) zrna rozptýlená v mazadlech – brousicí pasty,
d) brousicí nástroje a pomůcky, kde jsou zrna brusiva spojena – stmelena různými pojivy [1].

2.2.1 Přírodní brusiva

Jsou to materiály nebo horniny, které jsou vhodné pro broušení nebo leštění.

Mezi přírodní brusiva patří tyto nerosty nebo horniny: lešticí růže a okry, pemza, břidlice, pískovec, pazourek, křemen, granát, smirek, přírodní korund a diamant.

Přírodní brusivo se používá jen tehdy, nelze-li umělým brusivem dosáhnout stejných výsledků, nebo je-li levnější než umělé. Rozhodujícím činitelem ovlivňujícím použití přírodních brusiv je velikost zrna, která je dána buď již při vzniku nerostu, nebo drcením a tříděním brusiva. Dále je to houževnatost a zejména tvrdost, která je podstatně nižší než u umělých brusiv, s výjimkou diamantu.

Tvrdost brusiv se hodnotí podle Mohsovy stupnice tvrdosti, která je stará více než 140 let, ale stále se při hodnocení tvrdosti používá.

Mohsova stupnice tvrdosti je řada 10 nerostů v tomto pořadí: 1. mastek, 2. sůl kamenná, 3. vápenec, 4. kazivec, 5. apatit, 6. živec, 7. křemen, 8. topas, 9. korund, 10. diamant.

Diamant D je krystalický uhlík – má tvrdost 10. Používá se k broušení velmi tvrdých materiálů a k tvarování brousicích kotoučů a jako brousicí prach do lešticích a lapovacích past pro broušení velmi tvrdých materiálů kovových i nekovových. Diamant nesnáší nárazy a prudké změny teploty. Pří teplotě vyšší než 750°C shoří [1].

2.2.2 Umělá brusiva

Mezi obvyklá umělá brusiva patří:

a) umělý korund – elektrokorund – Elektrit,
b) karbid křemíku – Karborundum,
c) nitrid boru,
d) kubický nitrid boru,
e) syntetický diamant.

Umělý korund se vyrábí přetavováním oxidu hlinitého Al_2O_3 v elektrické obloukové peci. Oxid hlinitý se získává z bauxitu. Je to nejpoužívanější brusivo na broušení oceli, ocelí na odlitky, temperované litiny a tvrdé bronzy. Brousicí zrno má velký počet řezných hran, které se rychle otupují, tříští a lámou.

Druhy umělého korundu:

bílý – označení A 99 B (99% Al_2O_3) – nejkvalitnější,
bílý – označení A 99 – je bílý jen surový, výrobky z něho jsou barevné,
růžový – označení A 98,
hnědý – označení A 96,
černý – označení A 85.

Kromě běžných druhů se dodávají i kvalitnější druhy, např.: A 98 M – legovaný má lepší vlastnosti, A 97 MK – mikrokrystalický, A 97 PL – polokřehký, A 97 ZK – zirkonový [1].

Monokorund

Zatímco zrna běžných i legovaných druhů korundů jsou vlastně úlomky korundových krystalů, je monokorund tvořen jednotlivými krystaly, omezenými přirozenými krystalovými plochami. Zrna monokorundu mají pravidelný tvar a jsou velmi stejnoměrná. Povrch není poškozen trhlinkami a zrna jsou bez vnitřního pnutí.

Monokorud se získává krystalizací Al_2O_3 rozpuštěného v sulfidické tavenině. V elektrické peci se taví směs bauxitu nejčastěji s pyritem.

Monokorundové brousicí nástroje jsou sice o 15 až 20% dražší než běžné nástroje, mají však studený řez, tj. brousí bez vzrůstu teploty a lépe drží tvar. Jsou vhodné zejména pro broušení rychlořezných ocelí a všeobecně pro ostření nástrojů. Dosahuje se lepší drsnosti povrchu a výkon broušení se zvyšuje až o 25% [1].

Karbid křemíku

Karborundum je tvrdší, houževnatější a odolnější než korund. Je to krystalická látka krystalizující v destičkových a jehličkových krystalech. Surovinou k výrobě karbidu křemíku SiC je křemičitý písek a petrolejový koks.

Karbid křemíku se používá na broušení litiny a na broušení velmi tvrdých a křehkých materiálů, jako jsou např. slinuté karbidy, ale i na měď, hliník, měkký bronz apod.

Karbid křemíku se vyrábí v několika jakostech. Průmyslově se vyrábějí zejména dva druhy SiC, a to zelený a šedý.

Označení karbidu křemíku:

zelený C 49 (49% obsahu uhlíku) – nejtvrdší a nejkvalitnější,
šedý C 48 (48% obsahu uhlíku),
černý C 47 (47% obsahu uhlíku).

Karbid boru (B_4C)

Sloučením boru a uhlíku v elektrické peci se tvoří malé lesklé krystalky vysoké tvrdosti 9.5 až 9.75 podle Mohsovy stupnice tvrdosti. Je tvrdší než karbid křemíku. Je náhražkou diamantového prášku a používá se při broušení průvlaků, broušení hran drahokamů a do lapovacích past na slinuté karbidy.

Kubický nitrid boru

Má podstatně vyšší tvrdost než všechny ostatní běžné druhy brusiv. Nedosahuje však tvrdosti diamantu. Je teplotně stálý až do 1400°C. Vůči broušené oceli je chemicky netečný. Je také velmi houževnatý a krystaly mají příznivý geometrický tvar pro broušení. Pozoruhodné výsledky jsou dosahovány zejména při broušení těžko obrobitelných ocelí.

Syntetické diamanty

Syntetické diamanty se neliší od přírodních ani strukturní mřížkou, ani tvrdostí či tepelnou odolností. V mnoha směrech dokonce předčí přírodní diamanty. Velikost diamantu se podle staré normy určovala v karátech (1karát = 0.2 gramu). Podle nové normy se velikost diamantu uvádí v gramech [1].

2.3 Pojivo

Pojivo je prostředkem k zajištění žádoucího tvaru brousicího nástroje. Jeho úkolem je navzájem spojovat brousicí zrna a umožnit, aby se při broušení uvolňovala opotřebená a otupená zrna a do řezného procesu přicházela zrna s ostrými břity. Pojivo samo nemá brousicí účinky [1].

Podle původu rozdělujeme pojiva na [1]:
a) anorganická,
b) organická.

Anorganická pojiva jsou:
a) keramická – označení V,
b) silikátová – označení S,
c) magnezitová – označení O,
d) kovová.

Organická pojiva jsou:
a) šelak – označení E,
b) pryž – označení R,
c) umělá pryskyřice – označení B,
d) klih – označení G.

Anorganická pojiva:

Keramické pojivo obsahuje převážně keramické suroviny, jako je živec, kaolín, mastek a jiné. Je to nejobvyklejší pojivo používané u většiny brousicích nástrojů. Jeho největší předností je možnost odstupňování tvrdosti, velká pórovitost a naprostá netečnost vůči vodě, oleji a chemickým vlivům. Nevýhodou je křehkost. Brousicí nástroje s keramickým pojivem nesnášejí nárazy a musí se s nimi pečlivě a opatrně zacházet.

Směs brusiva, pojiva a přísad se lisuje, lije nebo pěchuje do forem na příslušný tvar kotouče. Kotouče se potom vypalují v pecích při teplotách 1350 až 1380°C.

Silikátové pojivo je směs vodního skla, živce, kaolinu a plavené křídy. Brousicí kotouče se nejprve 24 až 30 hodin suší při normální teplotě a pak se vytvrzují při 250 až 300°C. Výroba kotoučů je poměrně rychlá. Brousicí zrna se z kotouče dobře uvolňují a mají studený řez. To je výhoda zejména u velkých brousicích nástrojů a při velké stykové ploše s broušeným předmětem. Nástroje s tímto pojivem se používají tam, kde se žádá jemný a chladný výbrus, např. v nožířství, ostření dřevoobráběcích nástrojů apod. Kotouče dobře odolávají vodě.

Magnezitové pojivo je minerální pojivo vyrobené ze směsi uhličitanu hořečnatého, vypáleného v tzv. kaustický magnezit, dále chloridu hořečnatého a vody. Předností magnezitového pojiva je, že se zvlášť nevypaluje ani nesuší. Lze z něho vyrábět velké kotouče o průměru až 2 metry. Kotouče při broušení nepálí – mají chladný řez. Jsou stejnoměrně tvrdé a používají se jako náhrada za kotouče pískovcové. Jsou vhodné však jen k broušení za sucha, protože nesnášejí vlhko, ani přílišné změny teploty. Magnezitové pojivo se

používá poměrně zřídka na kotouče k broušení hliníku, zinku a k ostření nástrojů, jako jsou nože apod. [1]

Organická pojiva

Pryž je pojivo vhodné na kotouče vystavené mimořádnému mechanickému namáhání při zvlášť velkých obvodových rychlostech. Základem pryžových pojiv je přírodní nebo umělý kaučuk, síra a urychlovače k vytvrzování. U pryžového pojiva se využívá vysoké pevnosti a pružnosti ke zhotovování velmi tenkých kotoučů na rozřezávání a broušení. Kromě toho jsou z něj zhotovovány lešticí kotouče.

Šelak je přirozená pryskyřice. Lze z něho vyrábět velmi tenké kotouče vhodné k ostření pil a k jemnému ostření kalených nástrojů. Nesnáší však vysoké teploty. Při zahřátí se stává lepkavým a třísky ulpívají na kotouči a ucpávají póry.

Umělá pryskyřice. Nejpoužívanější umělou pryskyřicí je bakelit. Surovinami k výrobě tohoto pojiva jsou fenol a formaldehyd. Vyznačuje se značnou pevností a je to výborné pojivo pro řezací kotouče, pro hrubé obrušování a čištění, ale i na lapovací kotouče.

Značná mechanická pevnost dovoluje využít toto pojivo na rychloběžné řezací a drážkovací kotouče pro řezné rychlosti až 80 m/s.

Umělá pryskyřice se často ještě zpevňuje využitím textilních vláken (bavlna, plátno, plst). Kotouče ztužené textilem, tzv. kotouče FLEX, se vyznačují velkou výkonností, bezpečností a univerzálností. Používají se na odřezávání vtoků a nálitků, výborně se osvědčují při broušení svarů, odlitků a ploch po řezání plamenem.

Kromě uvedených pojiv se používají pojiva kovová, zejména při výrobě diamantových brousicích nástrojů (mosaz, měkká ocel).

Vývoj nových druhů pojiv neustále pokračuje. V zahraničí se dnes vyrábějí keramické kotouče pro rychlost 60 m/s. Příznivé výsledky byly dosaženy při broušení sírovanými brousicími kotouči. Také vývoj nových organických pojiv přináší další zvýšení výkonnosti broušení [1].

2.4 Zrnitost brusiva

Brusivo vyjmuté z elektrické pece má podobu velkých drúz krystalů, které se drtí v silných drtičích a válcích na zrna. Zrna se pak čistí, aby se odstranily různé příměsi, a podrobují se dalším chemickým úpravám, jako je praní v louhu sodném, v kyselinách, promývání vodou, sušení, prosívání, odmagnetování apod. Brusivo se pak třídí podle velikosti na korekčních sítech [1].

Velikost zrna je, dle normy ČSN ISO 525 a ČSN 22 4012, dána číslem, které odpovídá počtu ok na délku jednoho anglického palce toho síta, jímž při třídění ještě zrno propadne. Podle normy ČSN se užívalo značení, které, násobeno deseti, udává přibližně rozměr zrna v μm. Od tohoto označení se upouští [3].

Velikost zrna se označuje čísly od nejhrubšího po nejjemnější [3]:

hrubá	4, 5, 6, 7, 8, 10, 12, 14, 16, 20, 22, 24,
střední	30, 36, 40, 46, 54, 60,
jemná	70, 80, 90, 100, 120, 150, 180,
velmi jemná	220, 240, 280, 320, 360, 400, 500, 600, 800, 1000, 1200.

Zrnitost brusiva se volí podle předepsané drsnosti povrchu broušené součásti [1].

2.5 Tvrdost brousicích kotoučů

Tvrdost neboli soudržnost kotouče se volí podle druhu broušeného materiálu a způsobu broušení.

Tvrdost brousicího nástroje je dána odporem, který klade pojivo proti vylomení jednotlivých brusných zrn z nástroje. Tvrdost je závislá na druhu a množství pojiva a na teplotě vypalování.

Stupně tvrdosti se označují písmeny velké abecedy.

Rozeznáváme brousicí nástroje:

velmi měkké	G, H,
měkké	I, J, K,
střední	L, M, N, O,
tvrdé	P, Q, R, S,
velmi tvrdé	T, U,
zvláště tvrdé	V, Z.

Brousicí kotouč volíme tím měkčí, čím tvrdší je broušený předmět a čím větší je styčná plocha brousicího kotouče s broušeným předmětem.

Brousicí schopnost kotouče se musí obnovit vhodným způsobem orovnání, při němž se otupená zrna vylámou a nahradí ostrými [1].

2.6 Struktura

Slohem neboli strukturou brousicích nástrojů se rozumí poměr objemu pórů k celkovému objemu brousicího tělesa.

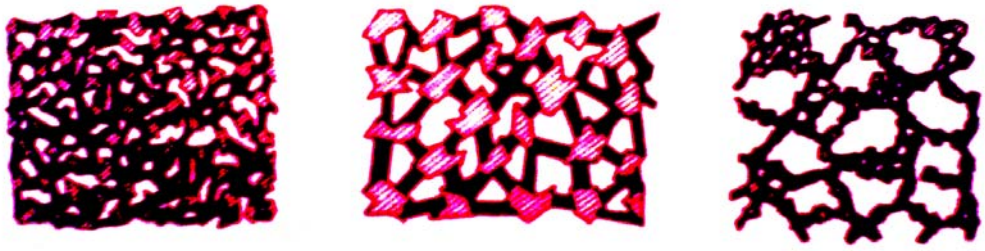
Sloh brousicích nástrojů se označuje čísly, která vyjadřují obsah pórů v procentech.

Brousicí nástroje mají sloh:

velmi hutný	1,2,
hutný	3,4,
polohutný	5,6,
pórovitý	7,8,
velmi pórovitý	9,10,
zvlášť pórovitý	11,12,13.

Na broušení hladkých předmětů z tvrdého a křehkého materiálu při malé styčné ploše broušení se doporučuje sloh hutný. Na broušení houževnatých materiálů při velké stykové ploše se doporučuje sloh pórovitý. Na broušení obrobků, které se nesmějí při obrábění zahřívat, je třeba volit nástroje zvlášť pórovité.

Póry jsou většinou menší než brousicí zrna, ale mohou být i několikrát větší, jak ukazuje obr. 2.1 [1].



a b c

Obr. 2.1 Struktura brousicích kotoučů [1]
a – hutný, b – pórovitý, c – zvlášť pórovitý

Póry vytvářejí vlastně zubové mezery mezi zrny, a tedy prostory pro třísky i řeznou kapalinu.

Slohu se dosahuje uměle přísadou pórotvorných komponentů a má velký vliv na výkonnost brousicího nástroje [1].

2.7 Označování brousicích kotoučů

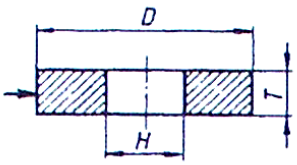
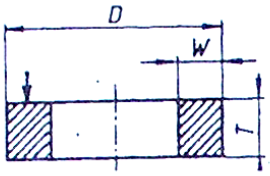
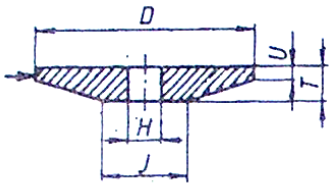
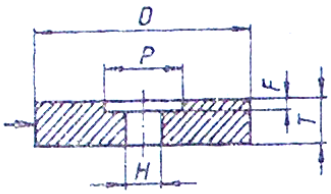
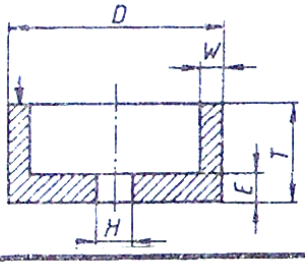
Brousicí kotouče se označují podle ČSN ISO 0525 (22 4503) z hlediska tvaru, rozměrů, specifikace složení a maximální obvodové rychlosti.

Označení tvaru brousicích kotoučů je dáno typem kotouče, doplněným u plochých kotoučů dle potřeby také označením profilu obvodu – tab. 2.1.

Příklad pro plochý brousicí kotouč, vnější průměr 300 mm, tloušťka 50 mm, díra 76 mm, brousicí materiál umělý korund, velikost zrna 36, tvrdost L, struktura 5, pojivo keramické, maximální obvodová rychlost 35 m/s [2]:

Typ kotouče 1 – 300 x 50 x 76 – A 36 L 5 V – 35 m/s

Tab. 2.1 Označování tvarů a rozměrů brousicích kotoučů – výběr [2]

Typ	Vyobrazení	Označení - charakteristika
1		Kotouče ploché Typ 1 – profil – D x T x H
2		Kotouče prstencové Typ 2 – D x T x W
3		Kotouče jednostranně zkosené Typ 3 – D/J… x T/U … x
5		Kotouče s jednostranným vybráním Typ 5 – D x T x H – P…, F
6		Kotouče hrncovité Typ 6 – D x T x H – W…, E

3 PARAMETRY PŘESNOSTI BROUŠENÉ PLOCHY

Technologie broušení se ve většině případů používá jako dokončovací operace, proto se požaduje, aby tomu odpovídala přesnost rozměrů a jakost obrobených ploch. Tyto parametry závisí především na tuhosti a přesnosti brusky, velikosti zrna a dalších vlastnostech brousicího kotouče, na způsobu broušení a na řezných podmínkách [3].

3.1 Struktura povrchu a geometrické tolerance

3.1.1 Struktura povrchu

Funkce ploch součástí závisí také na nerovnostech, které na povrchu zanechává jakákoliv technologická metoda. Na obrobeném povrchu jsou tyto nerovnosti stopami, které zanechává řezný nástroj, popř. brusivo nebo jiskrový výboj. Na neobrobených plochách zůstávají podle způsobu zpracování – otisky nerovností forem u odlitků, kovadel a zápustek u výkovků, válců, průvlaků apod. [5]

Pro posouzení nerovností povrchu součásti jsou důležité dva pojmy [5]:

- nedokonalost povrchu a
- struktura povrchu

Nedokonalostí povrchu jsou např. rýhy, trhliny, póry, staženiny (lunkry), koroze, mikrotrhliny apod. náhodně způsobené během výroby, skladování nebo funkce povrchu. Tyto a další nedokonalosti povrchu se nezahrnují do hodnocení struktury povrchu [5].

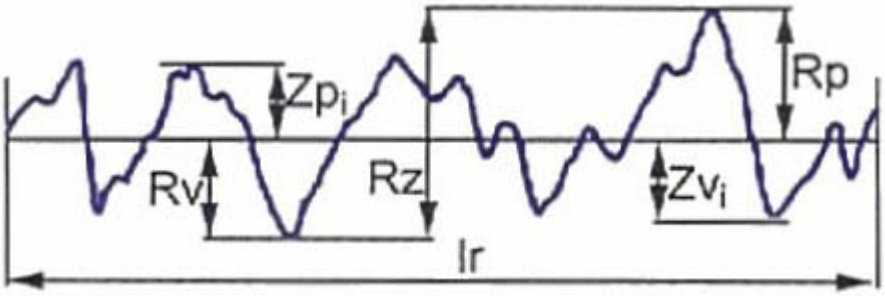
Struktura povrchu jsou opakované nebo náhodné úchylky od geometrického povrchu, které tvoří trojrozměrnou topografii povrchu. Struktura povrchu se člení na složky podle velikosti rozteče příslušných nerovností. Složka s nejmenší roztečí nerovnosti tvoří drsnost povrchu, další složka se nazývá vlnitost povrchu a složka s největší nerovností je určena základním profilem [5].

Parametry struktury povrchu jsou:

- maximální výška profilu Rz
- střední aritmetická hodnota drsnosti Ra

Maximální výška profilu Rz

Schematické vyjádření maximální výšky profilu Rz je na obr. 3.1 [8].



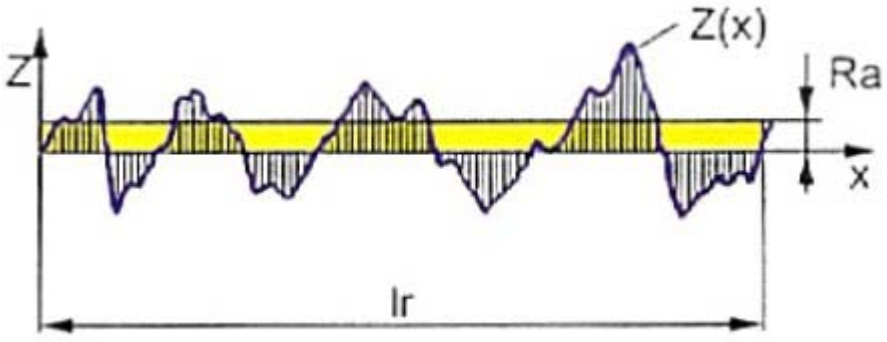
Obr. 3.1 Schematické vyjádření maximální výšky profilu Rz [8]

Střední aritmetická hodnota drsnosti Ra

Střední aritmetická hodnota drsnosti Ra je definována vztahem 3.1 [8].

$$Ra = \frac{1}{lr}\int_0^{lr}\left|Z(x)\right|dx \qquad (3.1)$$

Schematické vyjádření střední aritmetické hodnoty drsnosti Ra je na obr. 3.3 [8].



Obr. 3.3 Schematické vyjádření střední aritmetické hodnoty drsnosti Ra [8]

3.1.2 Geometrické tolerance

Úchylky tvaru, směru, polohy i házení skutečných ploch a profilů mohou nepříznivě ovlivnit funkci jak jednotlivých součástí, tak celých strojů. Například úchylky kruhovitosti elementu valivých ložisek zvyšují opotřebení a hlučnost chodu, házení rotujících kotoučů a hřídelů způsobuje chvění strojů. Na přímosti, rovnoběžnosti nebo kolmosti vodících a upínacích ploch záleží přesnost obráběcích strojů apod. Zaměnitelnost součástí je pak podmíněna tím, aby úchylky rozměrů, struktury povrchů a geometrické úchylky funkčních ploch nepřesáhly účelně stanovené mezní hodnoty, tj. aby součásti byly vyrobeny v předepsaných tolerancích [5].

Druhy geometrických tolerancí [5]**:**

Tolerance vztahující se k jednomu prvku:

Tvaru:

- Přímosti
- Rovinnosti
- Kruhovitosti
- Válcovitosti

Tolerance vztahující se k jednomu prvku nebo dvěma (a více) prvkům:

Tvaru:

- Tvaru čáry
- Tvaru polohy

Tolerance vztahující se ke dvěma nebo více prvkům:

Směru:

- Rovnoběžnosti
- Kolmosti
- Sklonu

Polohy:

- Umístění
- Soustřednosti a souososti
- Souměrnosti

Házení:

- Kruhového (obvodového a čelního)
- Celkového (obvodového a čelního)

3.2 Dosahované parametry přesnosti rozměrů a jakosti obrobené plochy

V tab. 3.1 jsou uvedeny přesnosti rozměrů a jakosti obrobené plochy, dosahované při různých způsobech broušení [3].

Tab. 3.1 Přesnost a jakost ploch obrobených broušením [3]

Tvar broušené plochy	Způsob broušení	Přesnost rozměrů **IT** [-]	Jakost obrobené plochy **Ra** [μm]
Rovinná	hrubování		
	- čelem	9 až 11	0,8 až 6,3
	- obvodem	8 až 11	0,8 až 3,2
	broušení na čisto		
	- čelem	5 až 7	0,2 až 1,6
	- obvodem	5 až 7	0,2 až 1,6
	jemné broušení	3 až 5	0,025 až 0,4
Vnitřní válcová	hrubování	9 až 11	1,6 až 3,2
	broušení na čisto	5 až 7	0,4 až 1,6
	jemné broušení	3 až 6	0,05 až 0,4
Vnější válcová	hrubování	9 až 11	1,6 až 3,2
	broušení na čisto	5 až 7	0,4 až 1,6
	jemné broušení	3 až 6	0,025 až 0,4

3.3 Parametry struktury povrchu v závislosti na době trvání brousicího procesu

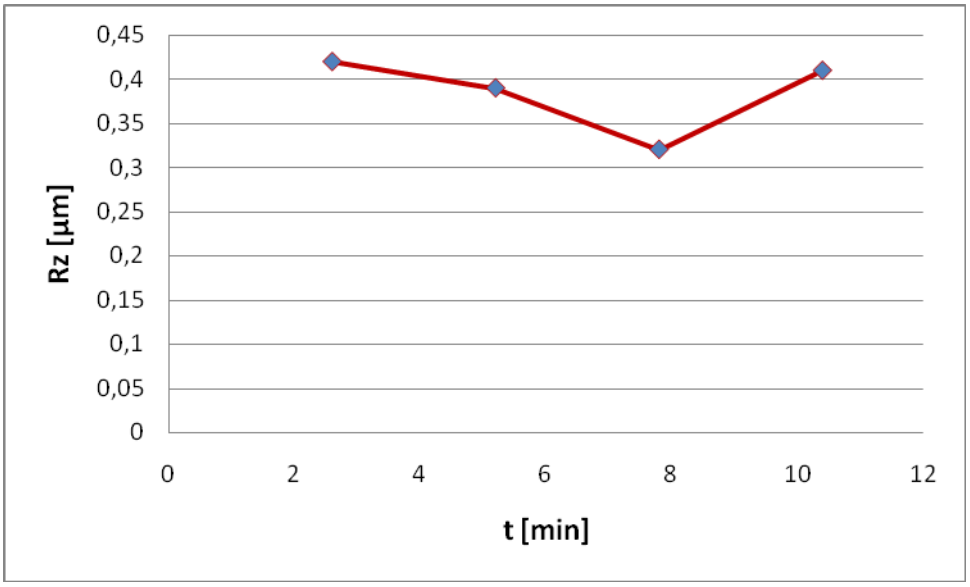
Měli jsme za úkol zjistit, zda a jak se mění Maximální výška profilu Rz a Střední aritmetická hodnoty drsnosti Ra v závislosti na době trvání brousicího procesu.

Maximální výška profilu Rz

V tab. 3.2 jsou uvedeny změřené hodnoty maximální výšky profilu Rz v závislosti na době trvání brousicího procesu a na obr.3.2 je vidět průběh maximální výšky profilu Rz v závislosti na době trvání brousicího procesu. Při druhém a třetím měření je vidět, že se hodnota lehce snížila oproti hodnotě změřené při prvním měření. Při čtvrtém měření se však již evidentně zvýšila a dá se předpokládat, že s přibývajícím časem by se dále zvyšovala. Můžeme tedy říci, že s přibývajícím časem roste maximální výška profilu Rz.

Tab. 3.2 Změřené hodnoty maximální výšky profilu Rz v závislosti na době trvání brousicího procesu

t [min]	2,6	5,2	7,8	10,4
Rz [µm]	0,42	0,39	0,32	0,41



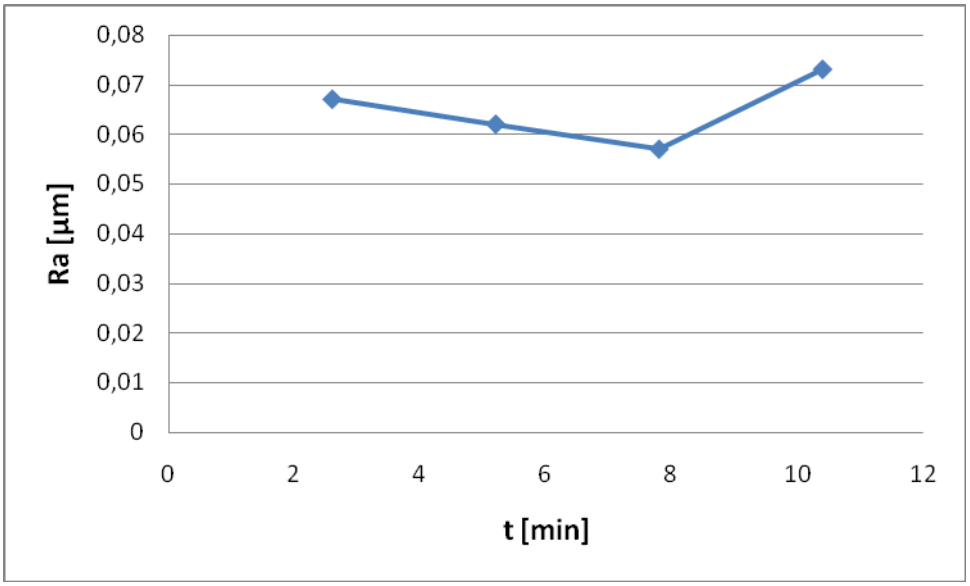
Obr. 3.2 Průběh maximální výšky profilu Rz v závislosti na době trvání brousicího procesu

Střední aritmetická hodnota drsnosti Ra

V tab. 3.3 jsou uvedeny změřené hodnoty střední aritmetické hodnoty drsnosti Ra v závislosti na době trvání brousicího procesu a na obr.3.4 je vidět průběh střední aritmetické hodnoty drsnosti Ra v závislosti na době trvání brousicího procesu. Stejně jako při měření Rz došlo při druhém a třetím měření ke snížení hodnoty a při čtvrtém měření k rapidnímu zvýšení. Závěr lze tedy formulovat podobně, s rostoucím časem dochází ke zvýšení střední aritmetické hodnoty drsnosti Ra, tudíž s rostoucím časem broušení se drsnost povrchu zhoršuje.

Tab. 3.3 Změřené hodnoty střední aritmetické hodnoty drsnosti Ra v závislosti na době trvání brousicího procesu

t [min]	2,6	5,2	7,8	10,4
Ra [µm]	0,067	0,062	0,057	0,073



Obr. 3.4 Průběh střední aritmetické hodnoty drsnosti Ra v závislosti na době trvání brousicího procesu

ZÁVĚR

Hospodárnost brousicího procesu závisí především na velikosti řezné rychlosti v_c, kterou volíme hlavně podle vlastností použitého brousicího kotouče a podle obrobitelnosti broušeného materiálu. U broušení do kulata závisí hospodárnost též na velikosti obvodové rychlosti obrobku v_w. Dalšími parametry, které ovlivňují hospodárnost jsou velikosti radiálního, axiálního a tangenciálního posuvu stolu. Hospodárnost se dá dále zvýšit vhodně zvolenou velikostí přídavku na broušení a veliký vliv má též brousicí prostředí – chlazení.

Vlastnosti brousicího nástroje jsou charakterizovány především druhem brusiva, druhem pojiva, zrnitostí brusiva, tvrdostí – soudržností brousicího nástroje, slohem neboli strukturou a geometrickým tvarem a rozměry.

Dosahované parametry přesnosti broušené plochy pak závisí na všem výše popsaném, plus na přesnosti brousicího stroje – brusky a v neposlední řadě též na kvalitě obsluhy brousicího stroje.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

[1] DRIENSKY D. a kol.: *Strojní obrábění I.* 1. vyd. Alfa Bratislava, 1985. 424s.

[2] KOCMAN, K. a PROKOP, J. *Technologie obrábění.* 2. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2005. 270 s. ISBN 80-214-3068-0

[3] ŘASA J., GABRIEL V.: *Strojírenská technologie 3 – 1. díl.* 2. vyd. Scientia Praha, 2005. 256s. ISBN 80-7183-337-1

[4] ČSN ISO 3002-4 (22 0017) ZÁKLADNÉ VELIČINY PŘI ŘEZÁNÍ A BROUŠENÍ. Časť 5: Základná terminológia brúsnych operácií používajúcich brúsiace kotúče. Český normalizační institut. Praha. 1993

[5] SVOBODA P. a kol.: *Základy konstruování* vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2005. 202 s. ISBN 80-7204-405-2

[6] CNI-NORMY, *Přídavky pro broušení* [online]. [cit. 2009-03-21]. URL:< http://import.cni-normy.cz/nahledy/00154_nahled.htm>

[7] MM PRŮMYSLOVÉ SPEKTRUM, *Broušení – emulze, roztok nebo olej* [online]. [cit. 2009-04-03]. URL:<http://www.mmspektrum.com/clanek/brouseni-emulze-roztok-nebo-olej>

[8] KATEDRA STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE, *Povrchy povlaku* [online]. [cit. 2009-05-03]. URL:<http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/stud_materialy/spt/povrchy%20povlaku.pdf>

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

Zkratka/Symbol	Jednotka	Popis
a_e	[mm]	pracovní radiální záběr
b_D	[mm]	šířka aktivní části brousicího kotouče
b_s	[mm]	šířka brousicího kotouče
D	[-]	hlavní bod při broušení
d_s	[mm]	průměr brousicího kotouče
d_w	[mm]	průměr obrobku
f_a	[m]	axiální posuv stolu
f_r	[m]	radiální posuv stolu
f_t	[m]	tangenciální posuv stolu
l_a	[mm]	délka axiální dráhy brousicího kotouče
l_{fa}	[mm]	aktivní délka posuvného pohybu stolu
l_{fH}	[mm]	celková délka posuvného pohybu stolu
l_{fo}	[mm]	neproduktivní délka posuvného pohybu stolu
l_e	[mm]	skutečná délka styku
l_g	[mm]	geometrická délka styku
l_k	[mm]	kinematická délka styku
l_w	[mm]	délka obrobku
n_m	$[s^{-1}]$	frekvence otáčení stolu
n_s	$[min^{-1}]$	frekvence otáčení brousicího kotouče
P_f	[-]	nástrojová rovina boční
P_p	[-]	nástrojová rovina zadní
P_r	[-]	nástrojová rovina základní
q	[-]	poměr rychlosti

r_{eq}	[mm]	ekvivalent poloměru brousicího kotouče
r_s	[mm]	poloměr brousicího kotouče
r_w	[mm]	poloměr obrobku
n_w	[min^{-1}]	frekvence otáčení obrobku
U	[-]	poměr mezi šířkou aktivní části brousicího kotouče a axiálním posuvem stolu
v_c	[$m \cdot s^{-1}$]	řezná rychlost
v_{fa}	[$m \cdot min^{-1}$]	axiální rychlost posuvu stolu
v_{fr}	[$m \cdot min^{-1}$]	radiální rychlost posuvu stolu
v_{ft}	[$m \cdot min^{-1}$]	tangenciální rychlost posuvu stolu