

# BRUSKY

Broušení je nejčastěji používanou dokončovací operací s ohledem geometrickou i rozměrovou přesností a drsností povrchu. Příklad na opracování bývá podle velikosti obrobku a s ohledem na použitou předchozí metodu obrábění – většinou pro běžné strojní součásti kolem 0,3 [mm].

Hlavním požadavkem je přesné uložení vřetená, klidný chod – bez rázů a chvění a to všech pohyblivých částí stroje. Hydrostatická ložiska umožňují vysokou přesnost v rozsahu otáček (2 000 až 100 000) [ot . min<sup>-1</sup>].

Podle způsobu ubírání materiálu je dělíme na:

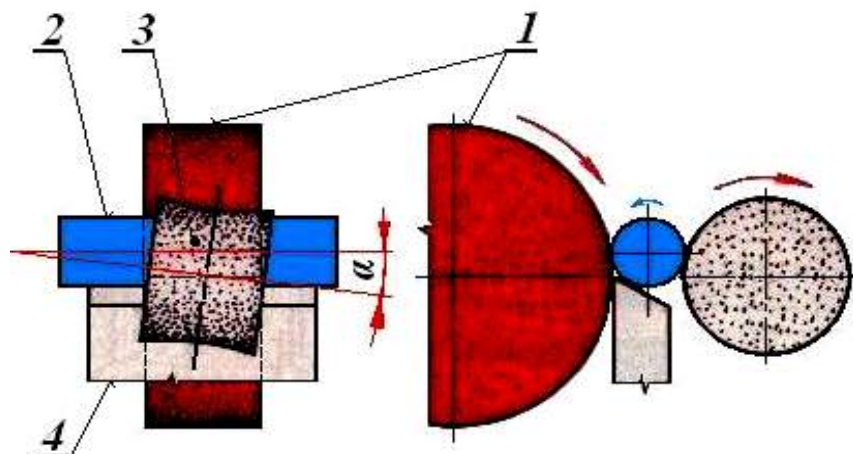
- a) **Brusky pro postupný úběr materiálu** - mnoha třískami, přičemž pracují velkým posuvem a malým přísuvem.
- b) **Brusky pro silové broušení** - velkým, většinou radiálním posuvem se bere celý přídavek (profil) najednou. Proto jde o tzv. silové resp. profilové broušení.

Druhy brusek a jejich použití

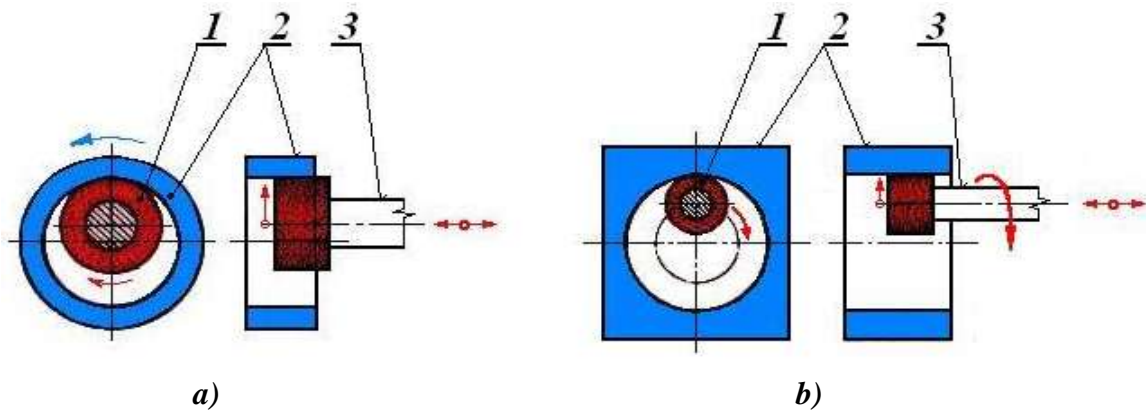
- a) **Hrotové brusky** - používají se k broušení vnějších rotačních – válcových i kuželových ploch na obrobkách upnutých mezi hroty. Charakteristickými rozměry jsou oběžný průměr obrobku nad ložem a největší vzdálenost mezi hroty. Stávají se z lože, brousícího vřeteníku, unášecího vřeteníku, stolu, koníku a příslušenství. Vyrábějí se ve dvou provedeních:
  - **hrotové brusky s posuvným unášecím vřeteníkem** - vřeteník a koník s obrobkem jsou uchyceny na pracovním stole, který vykonává posuv a brousící kotouč se otáčí a radiálně přisouvá k obrobku.
  - **hrotové brusky s posuvným brousícím vřeteníkem** - jsou vhodné pro broušení rozměrných obrobků s velkou hmotností. Obrobek se pouze otáčí a všechny ostatní pohyby vykonává brousící vřeteník.
- b) **Bezhraté brusky** - mají vřeteník brousícího kotouče otáčející se konstantními otáčkami a radiálně posuvný vřeteník podávacího kotouče s měnitelnými otáčkami, takže vzdálenost obou kotoučů lze nastavit podle průměru obrobku. Tento vřeteník se natáčí tak, aby osy obrobku a kotouče byly mimoběžné a dosáhlo se tak axiálního posuvu obrobku.

Legenda:  
1 – brousící kotouč  
2 – obrobek  
3 – podávací kotouč  
4 – vodící lišta

Obr. 1 Schéma bezhratého broušení



- c) **Brusky na díry** - opět se vyskytují dvě provedení:
- **stroje s otáčejícím se obrobkem** - vhodné pro broušení velkých obrobků a děr souosých s vnějším povrchem.
  - **stroje s planetovým pohybem brousícího kotouče** - slouží k broušení děr součástí skříňového tvaru.



Legenda:  
 1 – brousící kotouč; 2 – obrobek – rotačního resp. skříňového tvaru; 3 – brousící vřetenno vykonávající současně rotační i posuvný pohyb a přířuv, resp. planetový pohyb

Obr. 2 Schéma broušení děr

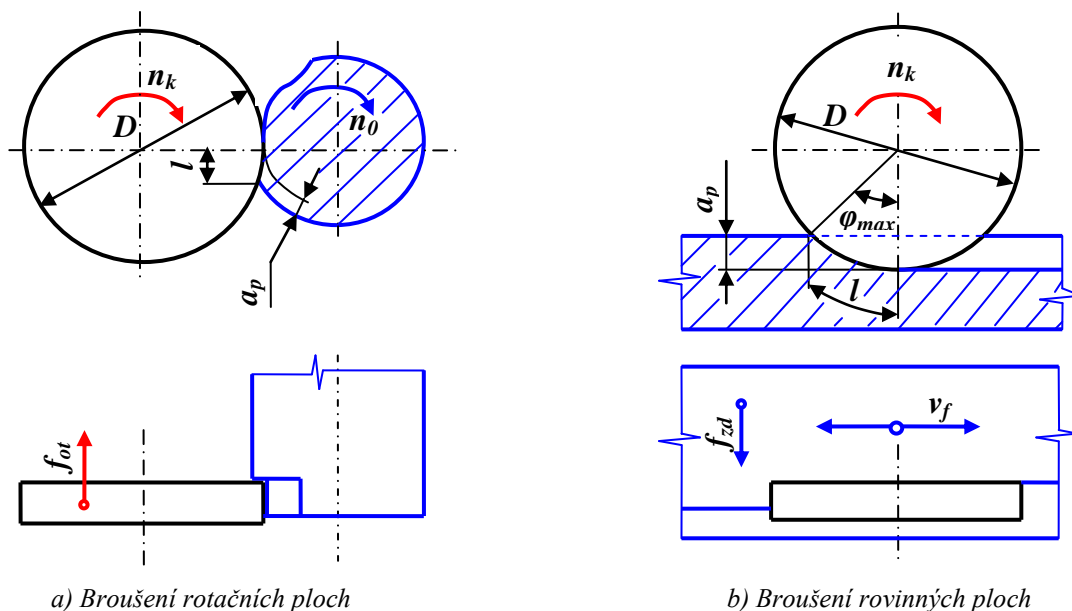
- d) **Rovinné brusky** – **vodorovné nebo svislé** - pracují většinou čelem např. segmentového brousícího kotouče s průměrem větším než je šířka obrobku. Jsou velmi výkonné.
- **na broušení vodicích ploch** - většinou dvoustojanové s upínacím stolem a mají také dva brousící vřeteníky.
- e) **Nástrojové brusky** - **univerzální ostříčky nástrojů** - na ostření fréz, závitníků, nožů apod.
- **automatické ostříčky nástrojů** - jsou řízené číslicově.
- f) **Speciální brusky** - např. kopírovací tvarové brusky, podbrušovací brusky – na broušení fréz a odvalovacích fréz na výrobu ozubení, brusky na závity a planetové brusky na broušení středících důlků.

## Charakteristika výrobní metody

Při broušení se materiál z obrobku odebírá tvrdými zrny brusiva brousícího kotouče při řezných rychlostech (30 až 80) [ $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ]. Brusný kotouč si lze představit jako mnohobřitový nástroj, takže k úběru materiálu dochází analogicky jako u frézování, avšak průřez třísky je podstatně menší asi (0,000 1 až 0,002) [ $\text{mm}^2$ ]. S ohledem na tvar broušených ploch rozlišujeme dva základní způsoby broušení:

- a) **Broušení rotačních ploch** - brousící kotouč se otáčí obvodovou rychlostí  $v_k$  a obrobek v opačném smyslu rychlostí  $v_0$ . Brousící kotouč se navíc posouvá posuvem na otáčku obrobku  $f_{ot}$ , takže výsledný pohyb má tvar šroubovice – analogicky jako při podélném soustružení.

b) **Rovinné broušení** - brousící kotouč se otáčí rychlostí  $v_k$ , stůl s obrobkem koná přímočarý vratný pohyb rychlostí posuvu stolu  $v_f$ . Obrobek se navíc posune v úvrati stolu posuvem na zdvih  $f_{zd}$ .



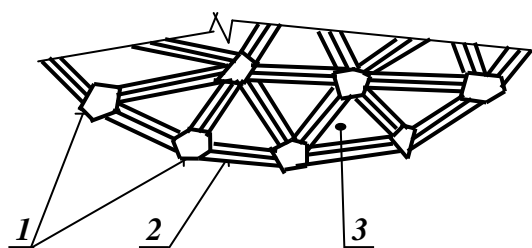
Legenda:

$a_p$  ..... hloubka řezu ;  $f_{ot}$  ..... posuv kotouče na otáčku obrobku;  $f_{zd}$  ..... posuv obrobku na zdvih;  
 $l$  ..... délka styčné plochy;  $n_0$  ... otáčky obrobku;  $n_k$  ..... otáčky kotouče;  $v_f$  ..... posuvová rychlost obrobku;  
 $D$  ... průměr brousícího kotouče;  $\varphi_{max}$  .... úhel krajního styku s obrobkem

Obr. 3 Kinematika základních způsobů broušení

## Brusné nástroje

jsou tvořeny zrny brusiva spojených pojivy v tuhé těleso vhodného tvaru, tvrdosti a struktury (slohu).



Legenda:

1 – brusná zrna  
 2 – spojovací můstky (pojivo)  
 3 - póry

Obr. 4 Struktura brusného nástroje

Brusivo - používají se v podstatě dva druhy:

- a) tavený  $\text{Al}_2\text{O}_3$  - umělý korund
- b) karbid křemíku ( $\text{SiC}$ ) - karborundum

Brusivo se posuzuje podle velikosti částic – zrna – tzv. zrnitosti a to v rozmezí (3 až 600)  $[\mu\text{m}]$ .

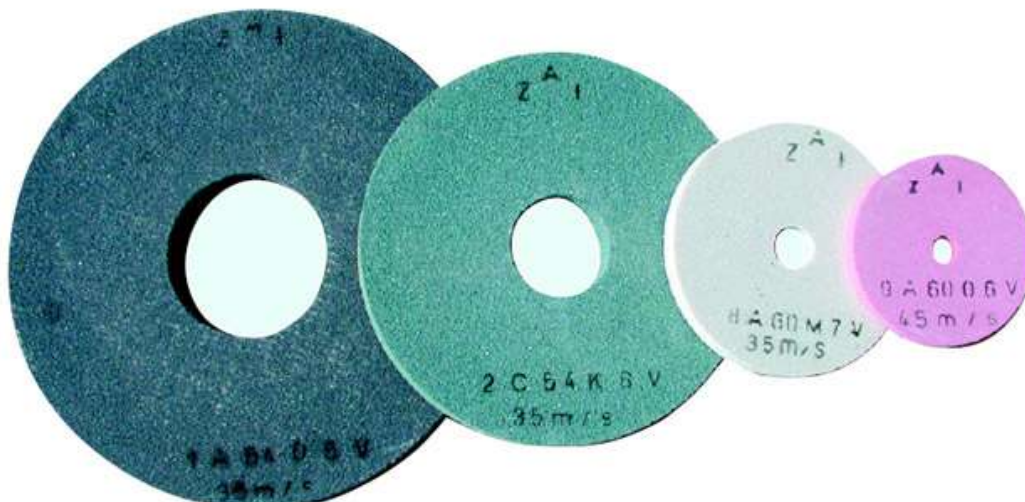
- Platí zásada – pro velké styčné plochy mezi kotoučem a obrobkem a pro velké řezné rychlosti – volíme hrubé zrno. Čím větší zahřátí obrobku je přípustné – např. kalená ocel – volíme naopak zrno jemnější. Mírou odolnosti zrn brusiva proti vydrolování je dána tvrdost kotouče – značí se písmeny G – velmi měkký, ....., Z – tvrdý.
- Platí zásada - čím tvrdší broušený materiál, tím měkčí brousící kotouč a naopak. Struktura (sloh) brousícího kotouče - určuje kvantitativní poměr objemu brusiva, pojiva a pórů. Označuje se čísly 1 až 13.
- Platí zásada - čím vyšší číslo, tím větší jsou póry v kotouči, který je tak méně hutný.

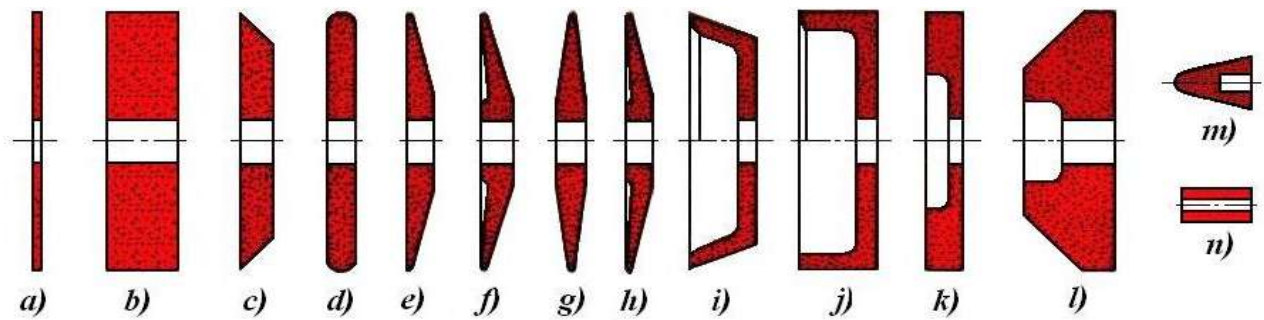
Pojivo - spojuje vzájemně zrna brusiva. Jeho druh určuje pevnost kotouče a tím i jeho dovolenou obvodovou rychlost. Například: V - označuje keramické pojivo – dovoluje obvodovou rychlost (30 až 80)  $[\text{m} \cdot \text{s}^{-1}]$ . Kovová pojiva pro diamantové kotouče a pryžová pojiva pro úzké řezací kotouče umožňují obvodové rychlosti až do 80  $[\text{m} \cdot \text{s}^{-1}]$ .

Tvary brousících kotoučů - jsou normalizovány, ukázky nejpoužívanějších viz obr. 315. Abychom dosáhli jakostního povrchu orovnávané kotouče diamantovými orovnávači. Kolečkovými orovnávači dosáhneme u kotoučů větších hospodárných úběrů. Orovnávači se odstraní otupená brusná zrna.

Upínání brousících kotoučů – většinou se provádí na vřetení brusky dvěma přírubami, jimiž jsou čelně sevřeny a unášeny – viz obr. 316.

Diamantové brousící kotouče a kotouče z kubického nitridu bóru - mají nosné těleso a brousící vrstvu. Pojivo mají většinou kovové (bronz), organické (bakelit), pryžové – vhodné pro leštění a pryskyřičné – pro boronitové kotouče. Obecně diamantové kotouče jsou určeny pro broušení nástrojů z nástrojových a rychlořezných ocelí a k lapování nástrojů ze slinutých karbidů. Nejsou vhodné pro velké úběry.

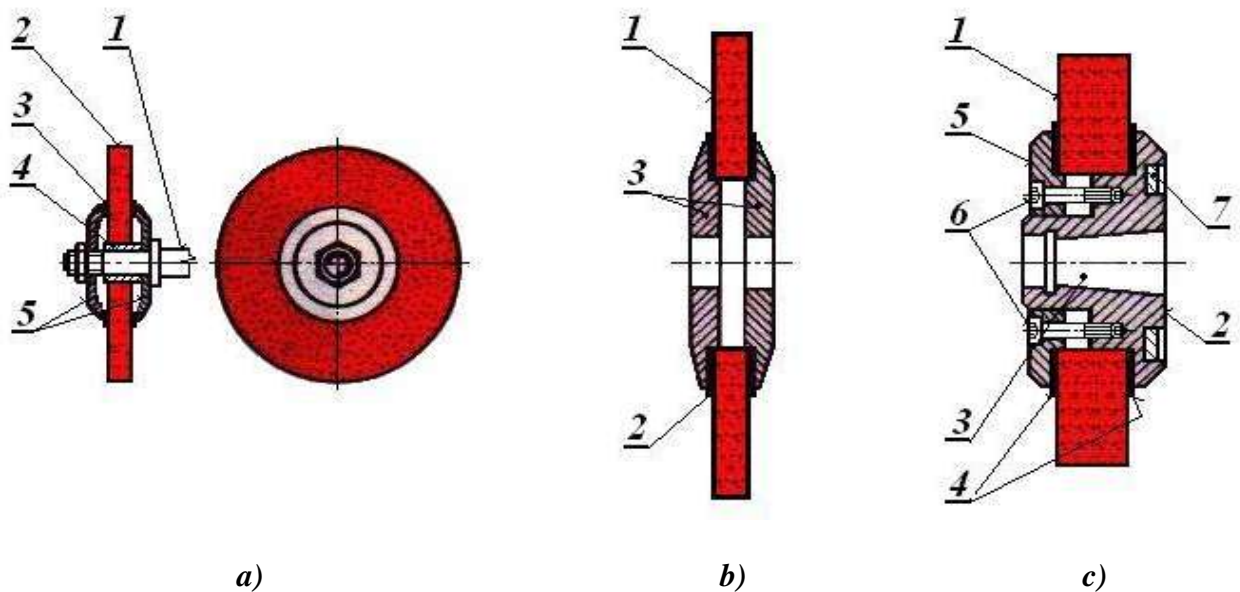




Legenda:

a) plochý úzký (řezací); b) plochý široký; c) kuželový jednostranný; d) plochý oblý; e) jednostranně kuželový; f) talířový; g) oboustranně kuželový; h) talířový na broušení ozubení; i) miskový; j) hrncový; k) plochý s jednostranným vybráním; l) kuželový s jednostranným vybráním; m) kuželové zaoblené brousící těleso; n) válcové brousící těleso

Obr. 6 Tvary brousících kotoučů



Legenda:

a) Upevnění brousícího kotouče s malým otvorem: 1 – vřeteno brusky; 2 – brousící kotouč; 3 – pružná vložka; 4 – olověná vložka; 5 – ocelové příruby  
b) Upevnění brousícího kotouče s velkým otvorem: 1 – brousící kotouč; 2 – pružná vložka; 3 – ocelové příruby;  
c) Upevnění brousícího kotouče velké hmotnosti: 1 – brousící kotouč; 2 – příruba s kuželem; 3 – středící kužel; 4 – pružné vložky; 5 – plochá příruba; 6 – spojovací šrouby; 7 – vyvažovací tělíska

Obr. 7 Upevnění brousícího kotouče na vřetenu brusky



Označování brousících kotoučů – je normalizované (ČSN 22 4501), uvádí se na brousícím kotouči, čímž jsou dány jeho parametry. Například:

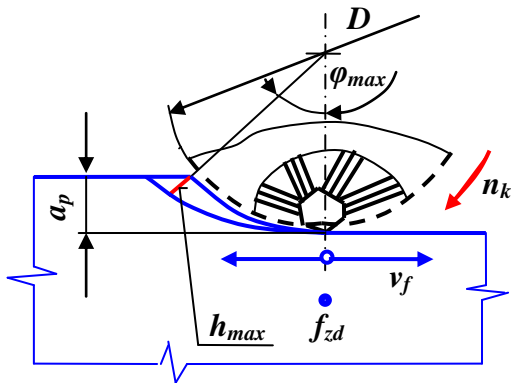
300 x 40 x 127 A 99 60 K 9V

průměr kotouče - 300	šířka kotouče - 40	průměr díry - 127
A 99	materiál brousícího kotouče (brusivo)	bílý $Al_2O_3$
60	zrnitost	střední
K	stupeň tvrdosti	měkký
9	struktura (sloh, pórovitost)	velmi pórovitý
V	druh pojiva	keramické

Výše uvedený brousící kotouč je vhodný k broušení nástrojové legované kalené oceli. Větší podrobnosti ohledně jednotlivých parametrů brousících kotoučů a doporučení k jejich použití jsou uvedeny ve strojnických tabulkách.

## Řezné podmínky při broušení

### a) Rovinné broušení



Obr. 8 Parametry při rovinném broušení

$n_k$  .... otáčky brousícího kotouče [ $1 \cdot \text{min}^{-1}$ ];  
 $v_k$  .... řezná rychlost je největší obvodová rychlost na největším průměru brousícího kotouče [ $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ]

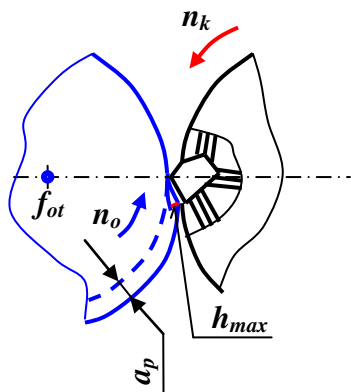
$$v_k = \frac{\pi D n_k}{60 \cdot 1000};$$

$D$  .... průměr brousícího kotouče [mm];  
 $v_f$  .... posuvová rychlost stolu [ $\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$ ];  
 $f_{zd}$  .... příčný posuv v úvratích stolu [ $\text{mm} \cdot \text{zd}^{-1}$ ];  
 $h_{max}$  .... maximální tloušťka třísky [mm];  
 $\varphi_{max}$  .... úhel krajního styku [ $^\circ$ ];  
 $a_p$  .... hloubka řezu [mm]

Důležitým parametrem, jak dále uvidíme, je střední průřez odebíraného materiálu:

$$A_s = \frac{v_f \cdot \varphi_{max}}{360 \cdot n_k} \cdot \sqrt{\frac{a_p}{D}} \cdot f_{zd} \quad [\text{mm}^2]$$

## b) Broušení do kulata



$n_k$  .... otáčky brousícího kotouče [ $1 \cdot \text{min}^{-1}$ ];  
 $v_k$  .... řezná rychlost je největší obvodová rychlost na největším průměru brousícího kotouče [ $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ]

$$v_k = \frac{\pi D n_k}{60 \cdot 1000};$$

$D$  .... průměr brousícího kotouče [mm];

$n_o$  .... otáčky obrobku [ $1 \cdot \text{min}^{-1}$ ];

$v_o$  .... obvodová rychlost obrobku [ $\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$ ];

$f_{ot}$  .... relativní posuv obrobku na jeho jednu otáčku vůči brousícímu kotouči [ $\text{mm} \cdot \text{ot}^{-1}$ ];  $f_{ot} = (0,3 \text{ až } 0,7) B$  - hrubování

$$f_{ot} = (0,3 \text{ až } 0,7) B \text{ - na čisto}$$

$B$  .... šířka brousícího kotouče [mm]

$h_{max}$  .... maximální tloušťka třísky [mm];

$a_p$  .... hloubka řezu [mm].

Obr. 9 Parametry při broušení do kulata

**Střední průřez odebíraného materiálu při broušení do kulata:**

$$A_s = \frac{v_o}{60 v_k} \cdot a_p \cdot f_{ot} \quad [\text{mm}^2]$$

## Dosahované parametry při broušení

Přesnost rozměru a drsnost povrchu při broušení je ovlivněna mnoha činiteli. Vyšší kvality dosáhneme především:

- jemnou zrnitostí brousícího kotouče,
- vyšší obvodovou rychlostí brousícího kotouče a nižší obvodovou rychlostí obrobku,
- menší hloubkou broušení,
- menším podélným posuvem při broušení mezi hroty a menším posuvem na zdvih při rovinném broušení.

Tab. 1 Dosahovaná přesnost rozměrů a drsnost povrchu při broušení

Způsob práce	Přesnost IT	Drsnost povrchu Ra [ $\mu\text{m}$ ]
<i>Hrubování – čelem kotouče</i>	9 až 11	0,8 až 6,3
<i>Hrubování – obvodem kotouče</i>	9 až 11	0,8 až 3,2
<i>Na čisto - čelem kotouče</i>	5 až 7	0,2 až 1,6
<i>Na čisto - obvodem kotouče</i>	5 až 7	0,2 až 0,8
<i>Jemné broušení</i>	3 až 4	0,05 až 0,4

