13. VLIV PARAMETRŮ NA TEORETICKOU A SKUTEČNOU DRSNOST POVRCHU

Po úspěšném a aktivním absolvování této KAPITOLY

Budete umět: • Definovat základní parametry kvality obrobené plochy. • Popsat mikrogeometrii obrobené plochy. • Stanovit teoretickou drsnost v závislosti na řezné geometrii a řezných parametrech nástroje.	**Budete umět**

Budete schopni: • Vypočítat teoretickou drsnost.	**Budete schopni**

Čas ke studiu: 3 hodiny

Výklad

Kvalita obrobeného povrchu jako integrovaná charakteristika strojových součástí, je definována:

- Geometrií obrobeného povrchu
- Fyzikálně-mechanickými vlastnostmi povrchové vrstvy, zejména odchylkami od ideálního tvaru
- Fyzikálně-chemickým stavem povrchu.

13.1. Mikrogeometrie obrobeného povrchu

Stav a kvalita povrchové vrstvy obrobeného kovu ovlivňují únavovou pevnost, odolnost proti opotřebení, protikorozní stabilitu, kvalitu montáže apod. je známé, že dynamicky namáhané součástky se zpravidla začnou porušovat na povrchu. Obrobená plocha se tvoří jako obalová plocha trajektorií pracovního pohybu bodů řezné hrany nástroje a od základních geometrických ploch zadaných výkresem, tedy od roviny, válcové plochy apod. se zásadně liší. Např. podélně soustružená plocha je šroubovitá, čelně soustružená spirálová, hoblovaná žlábkovitá. Avšak i takové pojetí obrobené plochy je idealizací jejího skutečného stavu. Geometrický sled postupných poloh bodů řezné hrany je přetvořený v závislosti od jednotlivých fyzikálních procesů, které zákonitě provázejí obrábění.

Teoretický sled poloh řezné části nástroje, daný kinematickým schématem se mění v důsledku následujících faktorů:

- Pružnou a plastickou deformací v průběhu tvoření třísky.
- Dynamickými jevy, tedy kmitáním technologické soustavy.
- Přesností výrobního zařízení.

Vliv plastické deformace na skutečný obrobený povrch se zakládá zejména na adhezních silách mezi obrobkem a nástrojem a na tvoření nárůstku. Nárůstek se odděluje od ploch řezného nástroje, přilepuje se na obrobený povrch a vytváří na něm vyvýšeniny. Ty se můžou v procesu řezání odtrhávat a na povrchu se objeví vytrhané plošky.

Při obrábění litiny a kovů v křehkém stavu nevzniká „čisté“ řezání. V důsledku napjatosti se některá zrna odtrhávají od základního materiálu, čím vznikají odchylky od teoretického povrchu ve tvaru nepravidelných prohloubení.

Vliv kmitání se projevuje tím, že narůstá teoretický sled pohybů řezné hrany, jednak má vliv na oddělování nárůstku od ploch nástroje.

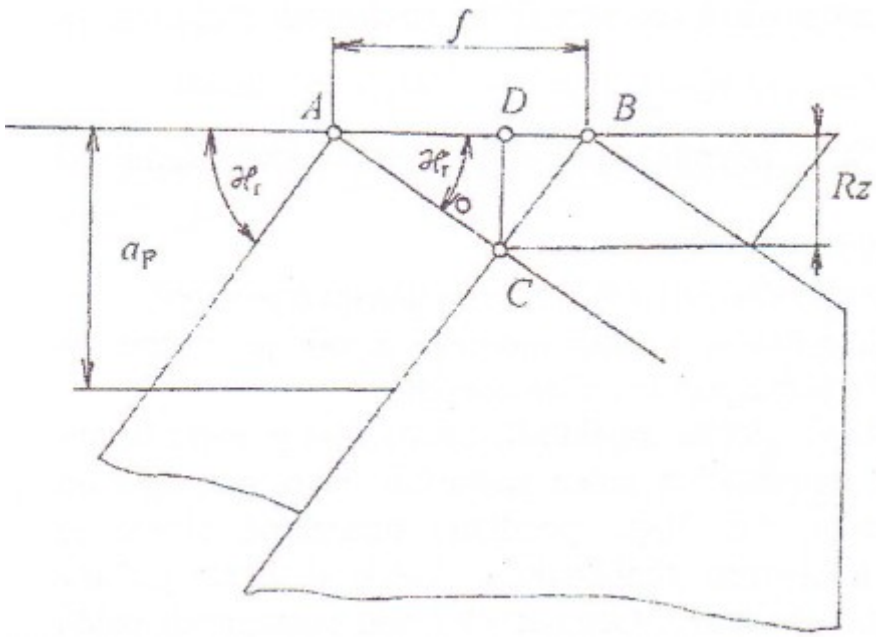
Vliv tření hřbetu nože o obrobek se projevuje i tím, že nerovnosti řezné hrany se kopírují na obráběný povrch.

Drsnost povrchu, definovanou na výkrese, lze považovat za limitní hodnotu, která se má v technologickém procesu dosáhnout. Jednoduchý geometrický přístup k identifikaci mikrogeometrie obrobeného povrchu vychází z prostého kopírování tvaru řezného klínu na obrobený povrch.

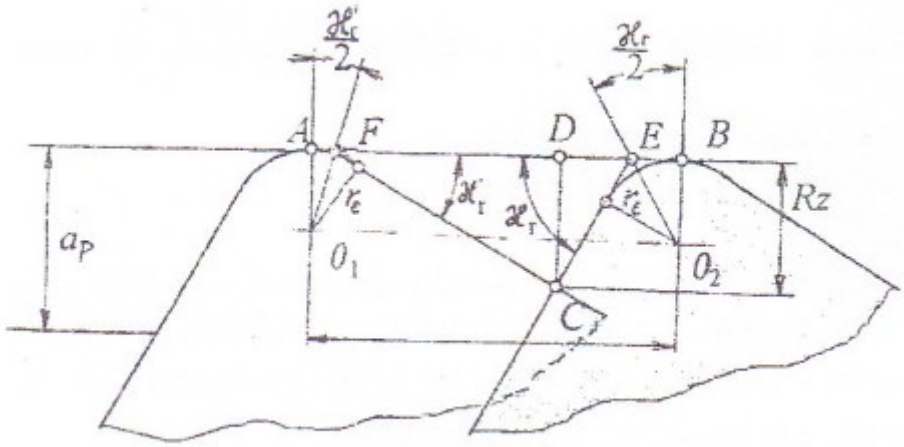
13.2. Výpočet teoretické drsnosti povrchu

Mohou nastat tři případy:

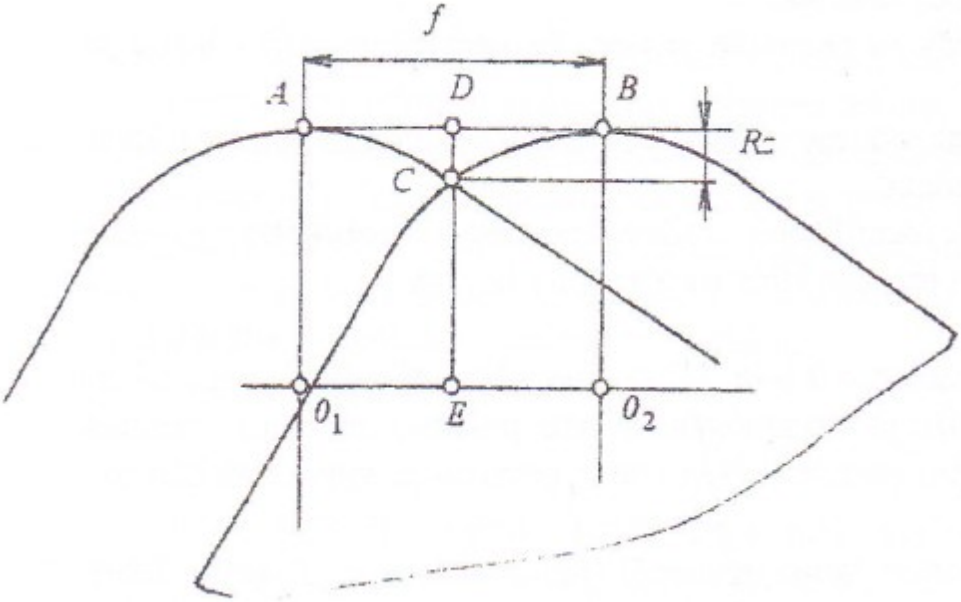
- **Hrot nástroje není zaoblený, tedy $r_\varepsilon = 0$** (obr. 13.1). Tento limitní případ znamená, že posuv můžeme zanedbat, protože je mnohem menší jako poloměr zaoblení nástroje a odpovídá hrubování velkými posuvy. Nerovnost povrchu je vytvářena hlavní a vedlejší řeznou hranou.
- **Hrot nože je zaoblený a poloměr hrotu je menší jako posuv: $r_\varepsilon \leq f$** (obr. 13.2). Nerovnost povrchu je vytvářena zaobleným hrotem i úseky hlavní a vedlejší řezné hrany. Lze to považovat za polohrubování.
- **Hrot nože je zaoblený, přičemž poloměr $r_\varepsilon \geq f$.** Profil povrchu je vytvořený jen zaobleným hrotem nástroje. Tento případ odpovídá dokončování povrchu (obr. 12.3), proto nás z hlediska kvality povrchu zaujímají nejvíce.



Obr. 13.1 Schéma pro výpočet teoretické nerovnosti obrobeného povrchu při obrábění nástrojem s minimálním poloměrem hrotu [1]



Obr. 13.2 Schéma „polohrubování“ povrchu [1]



Obr. 13.3 Schéma dokončování povrchu [1]

Sledujeme první případ. Z obr. 13.1. Platí [10, 13]:

$$f = AD + BD = \frac{Rz}{tg\kappa} + \frac{Rz}{tg\kappa} = Rz \cdot \frac{tg\kappa + tg\kappa}{tg\kappa \cdot tg\kappa}. \tag{13.1}$$

Odtud:

$$Rz = f \cdot \frac{tg\kappa \cdot tg\kappa}{tg\kappa + tg\kappa}. \tag{13.2}$$

Podle tohoto vztahu teda Rz roste se zvětšováním obou úhlů nastavení (v čitateli je součin, ve jmenovateli součet) a lineární na posuvu.

V případě nástroje s poloměrem hrotu (obr. 13.2) bude:

$$Rz = ED - EC = ED - \sqrt{CO_1^2 - EO_1^2}$$
$$ED = AO_1 = r_\varepsilon \qquad (13.3)$$

Po dosazení:

$$Rz = r_\varepsilon - \sqrt{r_\varepsilon^{\,2} - \frac{f}{2}}. \qquad (13.4)$$

Dostali jsme rovnici na výpočet teoretické výšky nerovností profilu. Pro praktické použití se používá jednodušší tvar rovnice:

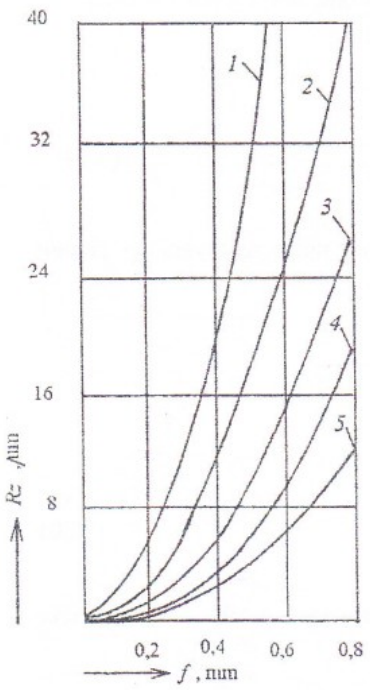
Po úpravě:

$$\frac{f^2}{4} = 2 \cdot Rz \cdot r_\varepsilon - Rz^2. \qquad (13.5)$$

Protože člen Rz^2 je velmi malý v porovnání s $2.Rz.r_\varepsilon$, lze ho zanedbat a dostáváme:

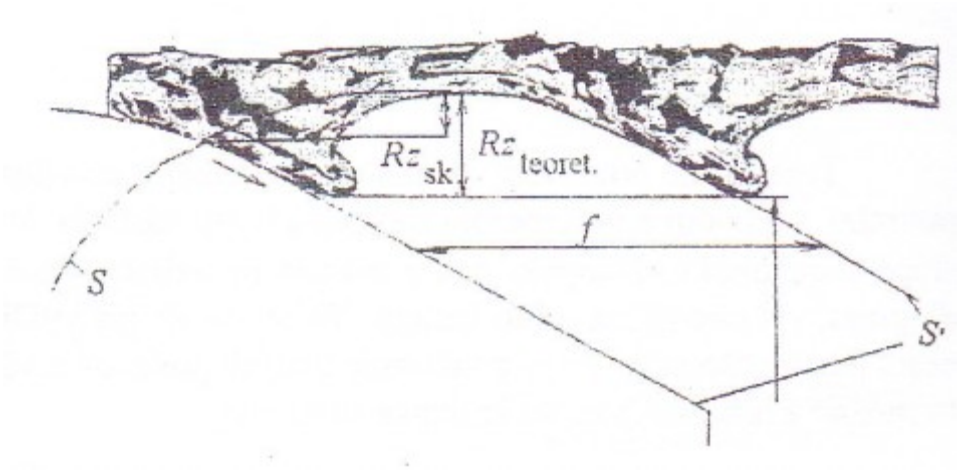
$$Rz = \frac{f^2}{8r_\varepsilon}. \qquad (13.6)$$

Tento často používaný vztah udává funkční závislost mezi teoretickou nerovností povrchu, posuvem a poloměrem zaoblení hrotu nástroje. Vyplývá z něho, že Rz s nárůstem posuvu f stoupá parabolicky. Naopak, podle zákona hyperboly klesá s nárůstem r_ε. Na obr. 13.4 je diagram, vytvořený z tohoto vztahu. Lze vidět, že Rz při vyšších posuvech prudce stoupá. Proto cesta na zmenšování Rz vede k používání malých posuvů a větších poloměrů hrotu (pokud je to možné z hlediska vzniku kmitání soustavy).



Obr. 13.4 Teoretická závislost mezi R_z posuvem a poloměrem hrotu nástroje. 1-5, postupně r_ε = – mm [1]

Skutečná výška nerovností profilu je vyšší než teoretická. Proces tvoření povrchu je totiž provázen vznikem některých defektů na obrobené ploše, které jsou důsledkem plastické deformace. V důsledku plastického zvětšování šířky třísky b_1 oproti šířce odřezávané vrstvy b dochází na povrchu obrobené plochy ke vzniku hřebínků, které jsou orientovány podél vedlejší řezné hrany (obr. 13.5)

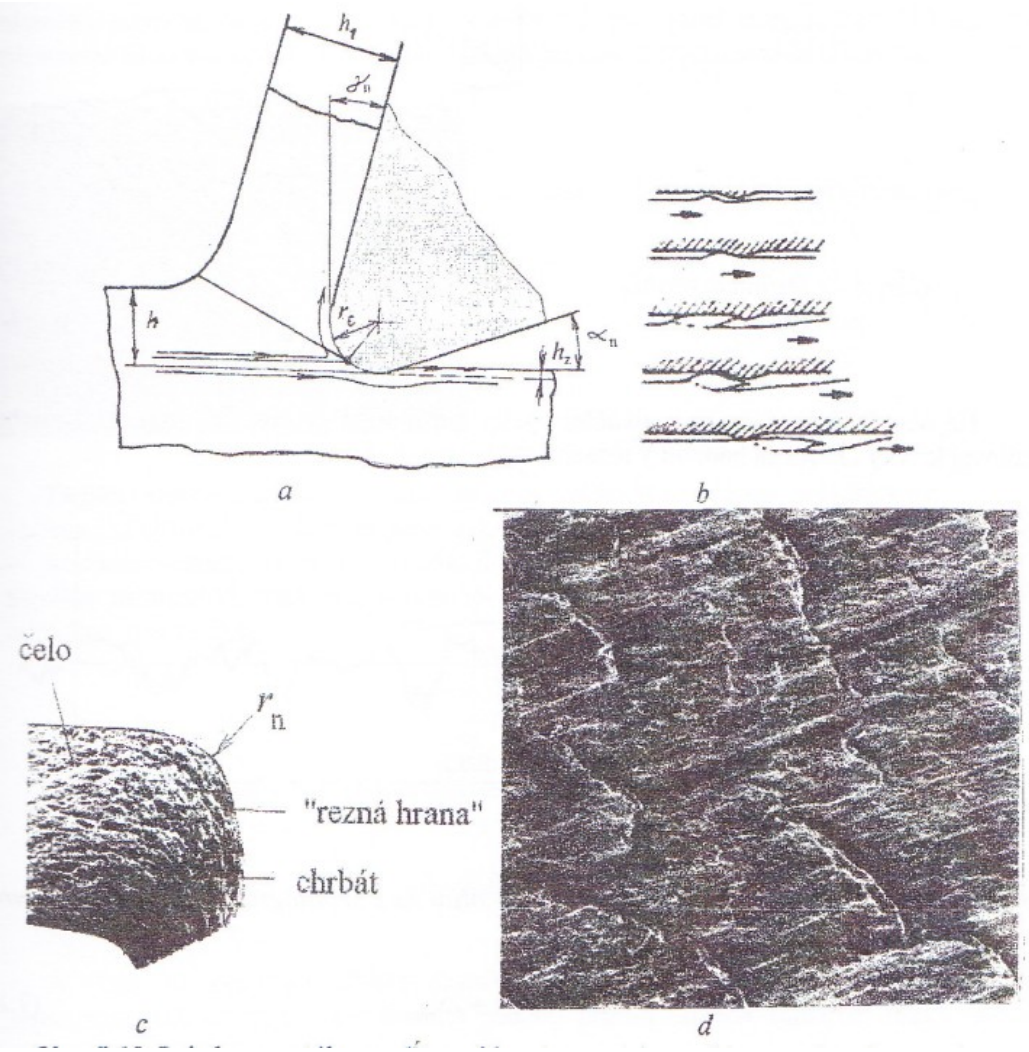


Obr. 13.5 příčný řez obrobeným povrchem (řez rovinou P_r). $R_{z_{sk}}$ - skutečná výška nerovností profilu, $R_{z_{teoret.}}$ - teoretická výška profilu [1]

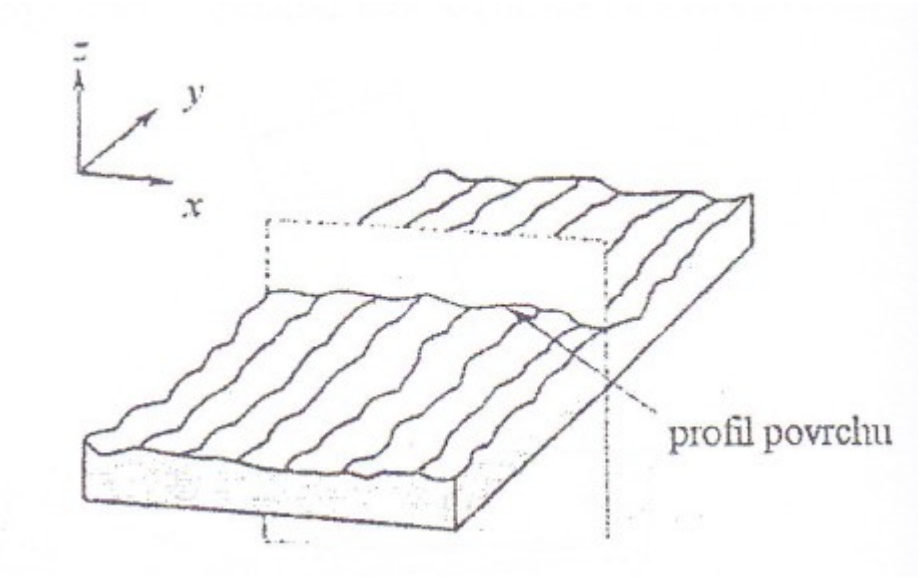
Uvedené úvahy se týkaly příčné nerovnosti povrchu (měřené kolmo na vektor řezné rychlosti). Mimo to existuje i podélná drsnost, která se měří ve směru vektoru řezné rychlosti. V případě velkých rozdílů mezi příčnou a podélnou nerovností povrchu charakterizujeme takový povrch jako orientovány. Podélná nerovnost vzniká v důsledku vtláčení materiálu pod zaoblenou řeznou hranu, podle obr. 13.6. Na obr. 13.6c je pohled na „řeznou hranu“ elektrolyticky ostřeného nástroje při zvětšení 1200x. V daném případě je opsaný poloměr hrany 40µm. V důsledku jeho existence dochází při malých h k vtlačení materiálu pod řezný klín.

V důsledku pružné a plastické deformace spojené s přilnutím na hřbetě nástroje, zůstávají na obrobeném povrchu šupinky, které tvoří podélnou nerovnost povrchu (obr. 13.6d).

Teoretickou představu o mikronerovnosti obrobeného povrchu získáme z profilových křivek. Jsou to průsečnice povrchu s rovinami kolmými na povrch. Parametry nerovnosti povrchu získané z profilových křivek charakterizuje norma STN ISO 4287. Definuje profil povrchu a souřadnicovou soustavu na sledování povrchu podle obr. 13.7.



Obr. 13.6 a- pohyb materiálu podél zaoblené řezné hrany,
b - vznik mikrotřísky na obrobeném povrchu,
c - pohled na řeznou hranu nástroje ostřeného elektrolyticky,
d- obrobený povrch s podélnou mikronerovností [1]



Obr. 13.7 Definice profilu povrchu [1]

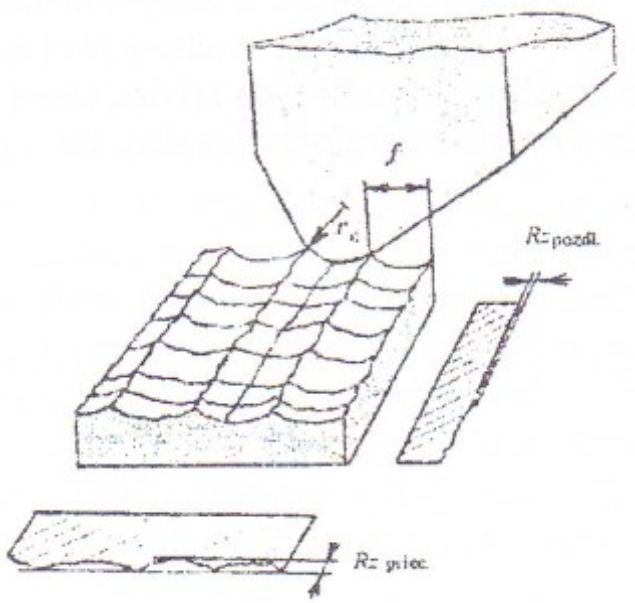
Na obr. 13.8 je definice největší výšky nerovností profilu R_z z reálného průběhu profilové křivky, která se hodnotí v rozsahu základní délky.

Obr. 13.8 Definice největší výšky nerovností profilu R_z z profilografu obrobeného povrchu [1]

Platí:

$$R_z = {}_{p_{\max}} + {}_{v_{\max}}. \qquad (13.7)$$

Nerovnost, která je definovaná na obr. 13.7 můžeme považovat za „ příčnou“ ($R_{z_{příč}}$). Při orientovaných površích v případě podélného měření nerovnosti povrchu dostaneme podstatně odlišnou velikost ($R_{z_{pozdl.}}$),(obr. 13.9).



Obr. 13.9 Definice příčné a podélné nerovnosti povrchu [1]

Neorientované povrchy, které vznikají při elektrických metodách obrábění, otryskávání, leptání, mají ve všech směrech stejnou hodnotu R_z. Na obr. 13.10 je příklad tryskaného povrchu součástky. Plocha je tvořená krátery, které mají různou hloubku a jsou náhodně rozmístěny. Podobné povrchy vznikají při elektrických metodách obrábění.

Obr. 13.10 Otryskaný povrch součástky [1]

Dalšími charakteristikami povrchu, které se uvádí na výkrese součástky jsou:

- střední aritmetická odchylka profilu R_a
- střední kvadratická odchylka profilu R_q

Střední aritmetická odchylka profilu Ra je definovaná jako střední hodnota absolutních odchylek profilu $Z(x)$:

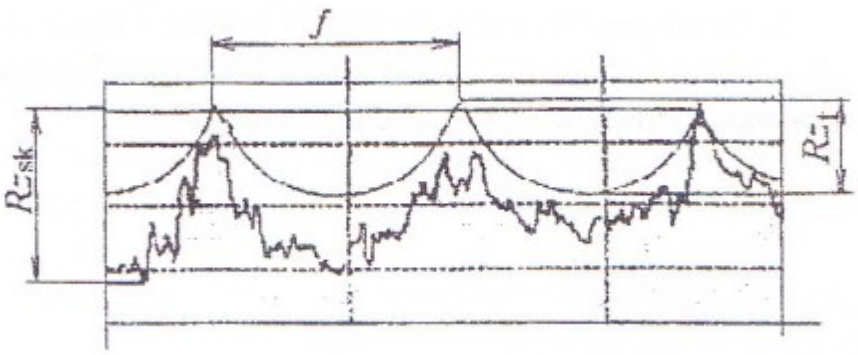
$$R_a = \frac{1}{l} \cdot \int_1^l |Z(x)| dx. \tag{13.8}$$

Střední kvadratická odchylka profilu Rq je definovaná:

$$R_q = \sqrt{\frac{1}{l} \cdot \int_1^l Z(x)^2 .dx}. \tag{13.9}$$

V praxi se používají ještě další charakteristiky povrchu, např. únosnost povrchu, reprezentovaná křivkou materiálového podílu profilu (změna sumární délky dotyku povrchu v závislosti na hloubce profilu).

Pokud je na výkrese součástky definována R_z, není problém pro technologa určit maximální posuv f na jeho dosáhnutí. Rozdíl mezi teoretickou a skutečnou hodnotou R_z je na obr. 13.11.



Obr. 13.11 Definice teoretické a skutečné R_z z profilografu povrchu [1]

Aby bylo možné stanovit potřebný posuv, považujeme $R_{z_t} \approx R_{z_s}$. Potom je možné stanovit maximální posuv z teoretického vztahu pro R_z:

$$f_{\max} \leq \sqrt{8.R_z.r_\varepsilon} \tag{13.10}$$

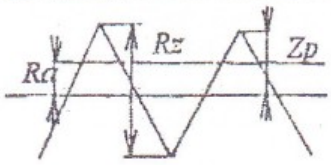
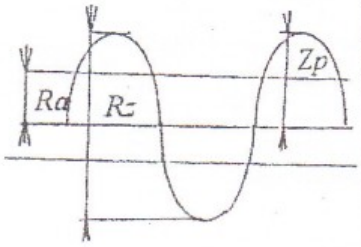
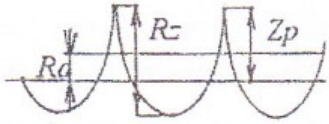
V případě, že na výkrese je zadaná hodnota R_a musíme znát vztah mezi R_a a R_z.

Běžně platí:

$$\frac{R_z}{R_a} \approx 4 \Rightarrow f_{\max} = \sqrt{2.R_a.r_\varepsilon} \tag{13.11}$$

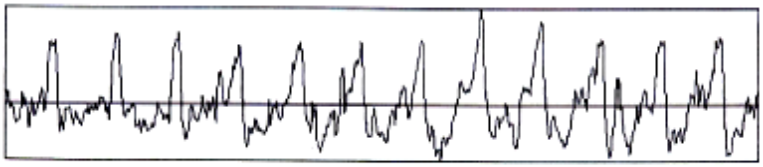
Při přesnějším určování tohoto poměru však musíme vědět, o jaký tvar profilu (anebo způsob obrábění) jde. V tabulce 13.1 je tento poměr definovaný pro některé případy profilu povrchu.

Tab. 13.1 Vztah mezi Ra a Rz při rozdílném tvaru profilu [1]

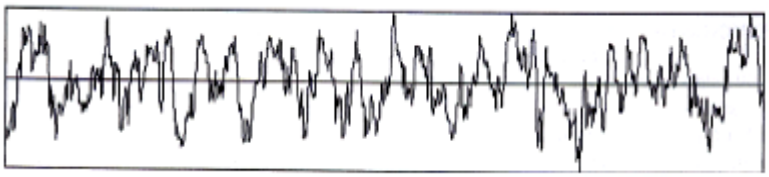
Spôsob obrábania	Idealizovaný profil	*Rz*, µm	*Ra*, µm	*Zp*, µm	$\frac{Rz}{Ra}$
Nástroj bez polomeru hrotu		20	5	10	4
Nástroj so zaobleným hrotom Tvárnený povrch		20	6,3	10	3,2
Brúsený povrch		20	3,65	15,4	5,4

Lze vidět, že vztah mezi R_a a R_z se liší.

Současné profiloměry umožňují přímé vyhodnocení všech parametrů profilu. Na obr. 13.12 a 13.13 je vzor záznamu z profiloměru Mitutoyo Surfest 301.



Obr. 13.13 Profil drsnosti soustruženého povrchu [2]



Obr. 13.13 Profil drsnosti broušeného povrchu [2]

Shrnutí kapitoly

této kapitole jsme se dozvěděli, co vše zahrnuje kvalita obrobené plochy a jaké parametry mají vliv na teoretickou drsnost povrchu. Dále jsme se naučili vypočítat teoretickou drsnost povrchu, když hrot nástroje není zaoblený, hrot nože je zaoblený a poloměr hrotu je menší jako posuv $r_\varepsilon \leq f$ a hrot nože je zaoblený, přičemž poloměr $r_\varepsilon \geq f$.

Kontrolní otázky

1. Co znamená Ra, Rq a Rz?
2. Jak se vypočítá střední aritmetická odchylka profilu?
3. Jak se vypočítá střední kvadratická odchylka profilu?
4. Jak se vypočítá teoretická drsnost Rz?
5. Jaké případy mohou nastat při výpočtu teoretické drsnosti?
6. Kterému typu obrábění odpovídá, když hrot není zaoblený?
7. Kterému typu obrábění odpovídá, když hrot nože je zaoblený a poloměr hrotu je menší jako posuv: $r_\varepsilon \leq f$?
8. Kterému typu obrábění odpovídá, když hrot nože je zaoblený, přičemž poloměr $r_\varepsilon \geq f$?

Další zdroje

1. VASILKO Karol. *Analytická teória trieskového obrábania*. COFIN Prešov, 2007. ISBN 978-80-8073-759-7.
2. BUDA, J. - SOUČEK, J. - VASILKO, K.: *Teória obrábania*, ALFA Bratislava, 1983
3. MAŇKOVÁ, I. - BEŇO, J.: *Technologické a materiálové činitele obrábania,* Vienala Košice, 2004, ISBN 80-7099-701-X
4. MAŇKOVÁ, I.: *Vybrané aspekty monitorovania stavu nástroja v procese rezania,* Košice, 2004, ISBN 80-8073-1837
5. NESLUŠAN, M. – TUREK, S. – BRYCHTA, J. – ČEP, R. – TABAČEK, M.:

Experimentálne metódy v trieskovom obrábaní. EDIS Žilina, 2007. ISBN 978-80-8070-711-8.

6. MÁDL, J. - SCHUBERT, V.: *Experimentální metody a optimalizace v teorii obrábění.* Praha : ČVUT Praha, 1985
7. Bilík, O. *Obrábění II. (1.Díl): Fyzikálně mechanické záležitosti procesu obrábění.* Ostrava: Vysoká škola báňská –TU Ostrava, 1994. 132 s. ISBN 80-7078-228-5.
8. Bilík, O. *Obrábění II. (2.Díl).* Ostrava: Vysoká škola báňská –TU Ostrava, 2001. 118 s. ISBN 80-7078-994-1.
9. BRYCHTA, Josef; ČEP, Robert; NOVÁKOVÁ, Jana, PETŘKOVSKÁ, Lenka. Technologie II – 1. díl. Ostrava : Ediční středisko VŠB – TU Ostrava. ISBN 978–80–248–1641–8.
10. BRYCHTA, Josef; ČEP, Robert; NOVÁKOVÁ, Jana, PETŘKOVSKÁ, Lenka. Technologie II – 2. díl. Ostrava : Ediční středisko VŠB – TU Ostrava. ISBN 978–80–248–1822–1.

CD-ROM

Na videu jsou zobrazeny dva případy obrábění (poloměrem nástroje – dokončování a lineární částí ostří se zaoblením – polodokončování) a změřena drsnost povrchu při daných řezných parametrech. Dále je porovnána s teoretickou drsností, která je vypočítána dle vztahů v kapitole.

Klíč k řešení

O 13.1 Ra – střední aritmetická odchylka profilu, Rq – střední kvadratická odchylka profilu, Rz – maximální výška nerovností.

O 13.2 $$R_a = \frac{1}{l} \cdot \int Z(x)\,dx.$$

O 13.3 $$R_q = \sqrt{\frac{1}{l} \cdot \int_1^l Z(x)^2\,dx}.$$

O 13.4 $$Rz = \frac{f^2}{8 r_\varepsilon}.$$

O 13.5
- Hrot nástroje není zaoblený, tedy $r_\varepsilon = 0$
- Hrot nože je zaoblený a poloměr hrotu je menší jako posuv: $r_\varepsilon \leq f$
- Hrot nože je zaoblený, přičemž poloměr $r_\varepsilon \geq f$

O 13.6 Hrubování.

O 13.7 Polohrubování.

O 13.8 Dokončování.