

PRÍSPEVOK K PRIAMEMU VÝPOČTU STREDNEJ ARITMETICKEJ ODCHÝLKY PROFILU DRSNOSTI PRI POZDĹŽNOM SÚSTRUŽENÍ

CONTRIBUTION TO DIRECT CALCULATION OF ARITHMETICAL AVERAGE DEVIATION FROM A MEAN LINE BY LONGITUDINAL TURNING

Zdenko LIPA, Jozef PETERKA, Peter POKORNÝ, Michal ŠTEFÁNEK,
Stanislav TOMANÍČEK, Dagmar TOMANÍČKOVÁ

*Autori: Prof. Ing. Zdenko Lipa, CSc., Prof. Dr. Ing. Jozef Peterka, Ing. Peter Pokorný,
PhD., Doc. Ing. Michal Štefánek, CSc., Ing. Stanislav Tomaníček*, Ing. Dagmar
Tomaníčková*

*Pracovisko: Katedra obrábania a montáže, *Katedra aplikovanej mechaniky,
Materiálovotechnologická fakulta, STU*

Adresa: Bottova 23, 917 24 Trnava, SR

*Tel.: 00421 33 5521007 E-mail: peterka@mtf.stuba.sk, pokorny@mtf.stuba.sk,
stefanek@mtf.stuba.sk, stanislav.tomanicek@stuba.sk, tomanic@mtf.stuba.sk*

Abstract

Pre pozdĺžne sústruženie sa zvykne teoreticky určovať len najväčšia výška nerovnosti profilu Rz. Stredná aritmetická odchýlka profilu drsnosti Ra sa určuje teoreticky na základe Rz len pre trojuholníkový profil drsnosti. V našom príspevku sa Ra určuje aj pre ostatné možné teoretické profily drsnosti.

It is used to theoretic determine for longitudinal turning the maximum height of profile irregularities Rz. Arithmetical average deviation from a mean line Ra is determined theoretically according to Rz only for triangular roughness profile. In our contribution is Ra determined also for other possible theoretical roughness profiles.

Key words

odchýlka profilu drsnosti stredná aritmetická, sústruženie pozdĺžne, čiara profilu stredná, výška nerovnosti profilu najväčšia, posuv

arithmetical average deviation of surface profile from a mean line, longitudinal turning, profile mean line, maximum height of profile peak, feed

Úvod

Podľa parametrov pozdĺžneho sústruženia vplývajúcich na drsnosť povrchu sa zvykne vypočítavať priamo len najväčšia výška nerovnosti profilu Rz a stredná aritmetická odchýlka profilu drsnosti Ra sa potom určuje vzťahom

$$Ra = \frac{Rz}{2,5 \div 7}, \quad (1)$$

pričom pre hrubovanie sa uvažuje hodnota $2,5 \div 3$ pre dokončovanie 4 a jemné sústruženie $5 \div 7$.

Výpočet strednej aritmetickej odchýlky profilu drsnosti Ra

Ak uvažujeme, že teoretická drsnosť pozdĺžne osústruženej plochy je daná stopami po nástroji, tzv. zbytkovým hrebienkom, ktorý je tvorený posuvom f , polomerom hrotu nástroja r_ε , uhlom nastavenia hlavnej reznej hrany κ_r a uhlom nastavenia vedľajšej reznej hrany κ'_r (a tým aj uhlom hrotu ε_r), potom sa dá dokázať, že často používaný vzťah

$$Ra = \frac{Rz}{4} \quad (2)$$

platí pre trojuholníkový zbytkový hrebienok (ak $r_\varepsilon = 0$), tam možno potom skutočne písať

$$Ra = \frac{f}{4} \cdot \frac{\operatorname{tg} \kappa_r \cdot \operatorname{tg} \kappa'_r}{\operatorname{tg} \kappa_r + \operatorname{tg} \kappa'_r}. \quad (3)$$

Zbytkové hrebienky pri pozdĺžnom sústružení vytvára špička sústružníckeho noža (obr. 1) v nástrojovej základnej rovine P_r .

Predpokladajme priamy uberací pravý nôž s $\kappa_r > \kappa'_r$. Prípade $\kappa_r < \kappa'_r$ (alebo aj $\kappa_r = \kappa'_r$) môžeme odvodiť ako zrkadlový obraz obrazu 1 (v prípade $\kappa_r = \kappa'_r$ ako symetrický obraz $\kappa_r = \kappa'_r$) a v nasledovných vzorcoch vymeniť čiarky nad „kapami“. Pre symboly uvedené v obr. 1 sa dajú odvodiť vzťahy:

$$f_1 = 2r_\varepsilon \sin \kappa'_r \quad (4)$$

$$f_2 = r_\varepsilon [\sin \kappa_r + \sin \kappa'_r + (\cos \kappa'_r - \cos \kappa_r) \cot g \kappa'_r] \quad (5)$$

$$f_3 = r_\varepsilon \frac{\sin \kappa_r + \sin \kappa'_r}{\sin \kappa_r \cdot \sin \kappa'_r} \quad (6)$$

$$h_1 = r_\varepsilon (1 - \cos \kappa'_r) \quad (7)$$

$$h_2 = r_\varepsilon (\cos \kappa'_r - \cos \kappa_r) \quad (8)$$

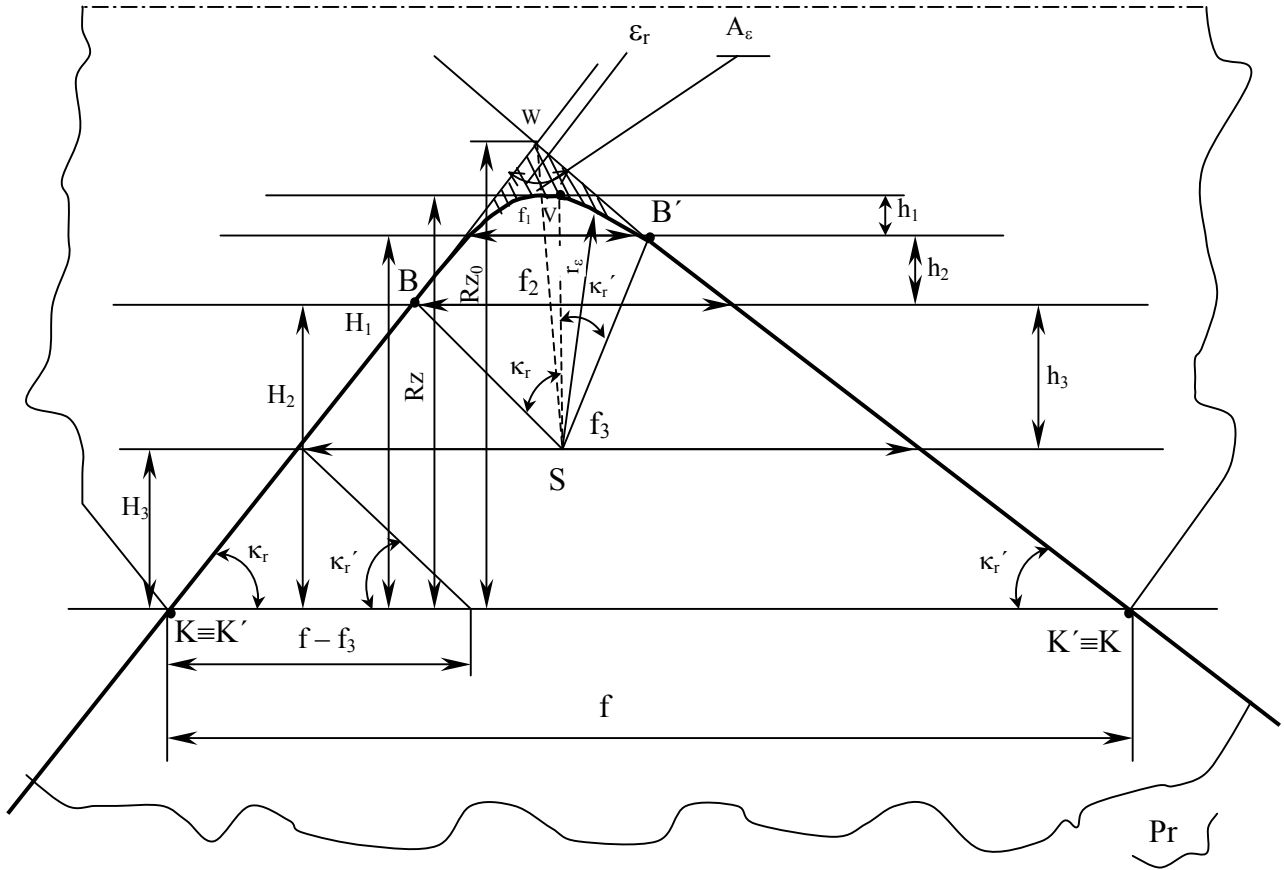
$$h_3 = r_\varepsilon \cos \kappa_r \quad (9)$$

Pripomínáme, že úseky $\overline{KB}$ a $\overline{K'B'}$ sú priamkové (sú úsečky) a úsek $\overline{BB'}$ je oblúk (s polomerom r_ε) a V je vrchol oblúka. Ak úseky $KBVB'K'$ nahradíme priamkovými úsekmi $KBWB'K'$ (W je teoretický hrot nástroja), obdržíme plochu $VBWB'V$, ktorá je akýmsi nadbytkom (excesom). Počítame teda plošný exces A_ε :

$$A_\varepsilon = r_\varepsilon^2 \left[\cot g \frac{\varepsilon_r}{2} - \operatorname{arc}(\kappa_r + \kappa'_r) \right]. \quad (10)$$

Pre Rz_0 (pozri obr. 2) platí známy vzťah ([1] a i.)

$$Rz_0 = \frac{f}{\cot g\kappa_r + \cot g\kappa'_r}. \quad (11)$$



Obr. 1

Plochu vniknutej špičky nástroja do obrobku označme A_N (je to plocha, ktorú ohraničuje čiara KBVB'K'K).

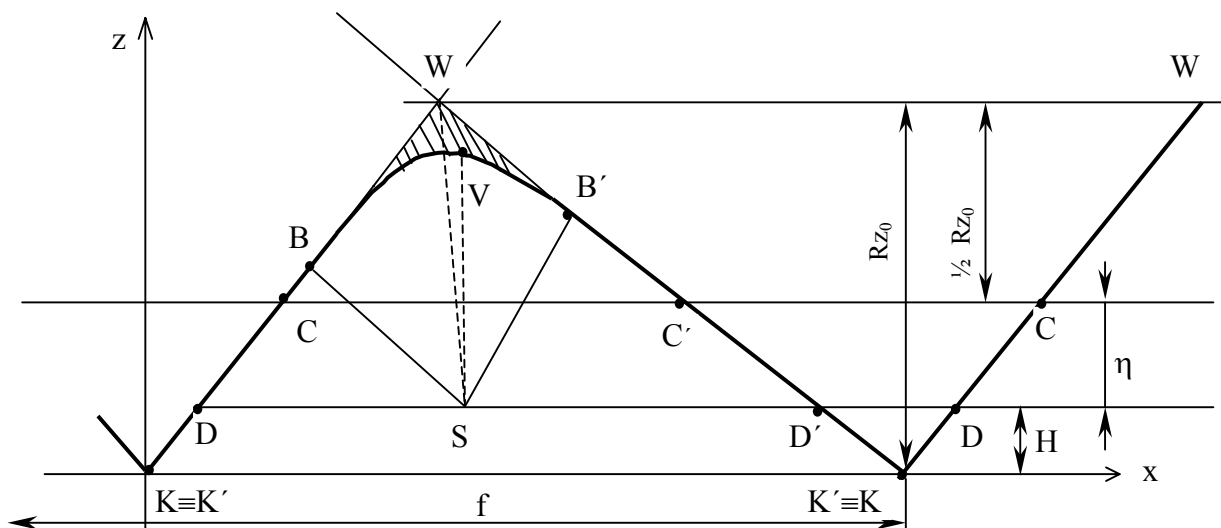
Plochu trojuholníka KWK' označme A_R .

Potom bude:

$$A_N = A_R - A_\epsilon = \frac{f^2}{2(\cot g\kappa_r + \cot g\kappa'_r)} - r_\epsilon^2 \left[\cot g \frac{\epsilon_r}{2} - \arccos(\kappa_r + \kappa'_r) \right]. \quad (12)$$

Pre Ra je nutné poznať polohu strednej čiary profilu. Strednú čiaru profilu môžeme nájsť z podmienky

$$\int_0^f z^2 dx \Rightarrow \min, \quad (13)$$



Obr. 2

kde z je poradnica bodu profilu od strednej čiary profilu. Ľahšie sa vyhľadáva tzv. stredná aritmetická čiara profilu, lebo je to čiara, ktorá rozdelí plochu A_N tak, že plocha výstupku A_v a plocha priehlbni A_p sú rovnako veľké.

Polohu H strednej aritmetickej čiary profilu nájdeme z podmienky

$$A_N = f \cdot H, \quad (14)$$

potom

$$H = \frac{A_N}{f} = \frac{f}{2(\cot g \kappa_r + \cot g \kappa'_r)} - \frac{r_\varepsilon^2}{f} \left[\cot g \frac{\varepsilon_r}{2} - \text{arc}(\kappa_r + \kappa'_r) \right], \quad (15)$$

alebo niekedy je výhodné počítať η (pozri obr. 2), lebo

$$\eta \cdot f = A_\varepsilon, \quad (16)$$

potom ale

$$H = \frac{Rz_0}{2} - \eta$$

a po úprave dostaneme vzťah zhodný zo vzťahom (15). Zavedme ešte podľa obr. 1:

$$H_3 = \frac{f - f_3}{\cot g \kappa_r + \cot g \kappa'_r} \quad (17)$$

$$H_2 = H_3 + h_3 \quad (18)$$

$$H_1 = H_3 + h_3 + h_2 \quad (19)$$

$$Rz = H_3 + r_\varepsilon \quad (20)$$

Podľa obr. 1 môžeme riešiť nasledovné prípady:

A) $f > f_3$

Pre H tu platí vzťah (15).

Teraz ešte musíme rozlíšiť:

Aa) $H < H_3$

Pre Ra vzhľadom na strednú aritmetickú čiaru profilu môžeme vziať do úvahy alebo plochu výstupku A_v alebo plochu priehlbné A_p , ktoré sú rovnako veľké.

A_v je trojuholník $\triangle DD'K'$, A_p je plocha ohraničená čiarami $DBVB'D'D$ (pozri obr. 2). Jednoduchšie je počítať plochu A_v .

$$A_v = \frac{1}{2} H^2 (\cot g \kappa_r + \cot g \kappa'_r) \quad (21)$$

Podľa definície Ra máme možnosť písať

$$Ra \cdot f = 2 A_v \quad (22)$$

odtiaľ s použitím vzťahov (15) a (21) po úprave dostaneme

$$Ra = \frac{\cot g \kappa_r + \cot g \kappa'_r}{f} \left\{ \frac{f}{2(\cot g \kappa_r + \cot g \kappa'_r)} - \frac{r_\varepsilon^2}{f} \left[\cot g \frac{\varepsilon_r}{2} - \arccos(\kappa_r + \kappa'_r) \right] \right\}^2 \quad (23)$$

Ab) $H = H_3$

Potom

$$A_v = \frac{1}{2} H_3^2 (\cot g \kappa_r + \cot g \kappa'_r). \quad (24)$$

Zo vzťahov (15), (17), (22) a (24) po úprave dostaneme:

$$Ra = \frac{1}{f(\cot g \kappa_r + \cot g \kappa'_r)} \left[f - r_\varepsilon \frac{\sin \kappa_r + \sin \kappa'_r}{\sin \kappa_r \cdot \sin \kappa'_r} \right]^2. \quad (25)$$

Ac) $H_2 > H > H_3$

Aj tu bude ešte trojuholníkový výstupok a pre Ra by sme po úpravách obdržali vzťah zhodný so vzťahom (23).

Ad) $H = H_2$

Potom

$$A_v = \frac{1}{2} H_2^2 (\cot g \kappa_r + \cot g \kappa'_r) \quad (26)$$

Zo vzťahov (9), (12), (15), (17), (22), (26) po úprave dostaneme:

alebo možno použiť vzťah (ak sme už určili H_3):

$$Rz = H_3 + r_\varepsilon, \quad (32)$$

potom

$$Ra \cdot f = 2A_p, \quad (33)$$

a teda

$$Ra = \frac{1}{2} \cdot \frac{r_\varepsilon^2}{f} (\text{arc} \kappa_x - \sin \kappa_x) + \frac{1}{2} \cdot \frac{r_\varepsilon^2}{f} (\text{arc} \kappa'_r - \sin \kappa'_r) + \frac{2r_\varepsilon}{f} [Rz - H - r_\varepsilon (1 - \cos \kappa'_r)] \sin \kappa'_r + \frac{1}{f} [Rz - H - r_\varepsilon (1 - \cos \kappa'_r)]^2 \cot g \kappa'_r. \quad (34)$$

Af) $H = H_1$

Ak by nastal tento prípad, môžeme počítať:

plochu priehlbné ako:

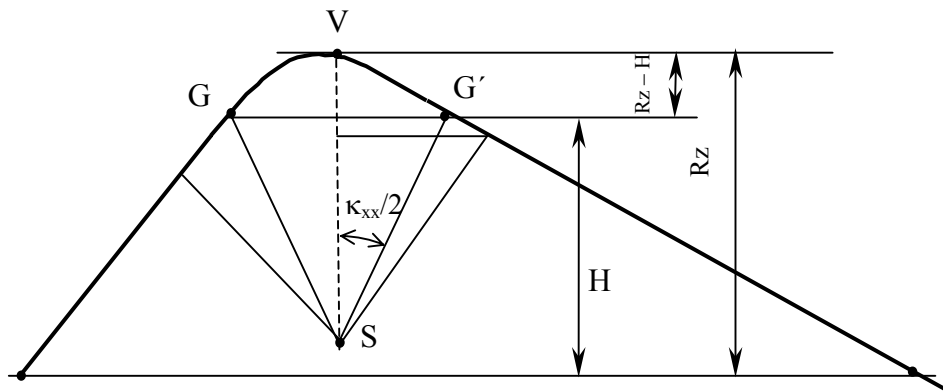
$$A_p = \frac{1}{2} r_\varepsilon^2 (\text{arc} \kappa'_r - \sin \kappa'_r), \quad (35)$$

odtiaľ už z podmienky $Ra \cdot f = 2A_p$ máme:

$$Ra = \frac{r_\varepsilon^2}{f} (\text{arc} \kappa'_r - \sin \kappa'_r). \quad (36)$$

Ag) $H > H_1$

Ak by nastal tento prípad, môžeme postupovať nasledovne (obr. 4):



Obr. 4

Ak označíme uhol κ_{xx} ako na obr. 4, potom bude

$$\sin \frac{\kappa_{xx}}{2} = \frac{\sqrt{2r_\varepsilon (Rz - H) - (Rz - H)^2}}{r_\varepsilon}, \quad (37)$$

lebo tetiva $\overline{GG'} = t_{xx}$ sa dá určiť zo vzťahu

$$t_{xx} = 2\sqrt{2r_\varepsilon(Rz - H) - (Rz - H)^2}. \quad (38)$$

Potom plocha priehlbne bude

$$A_p = \frac{1}{2}r_\varepsilon^2(\text{arc}\kappa_{xx} - \sin\kappa_{xx}) \quad (39)$$

a z podmienky $Ra \cdot f = 2A_p$ dostaneme

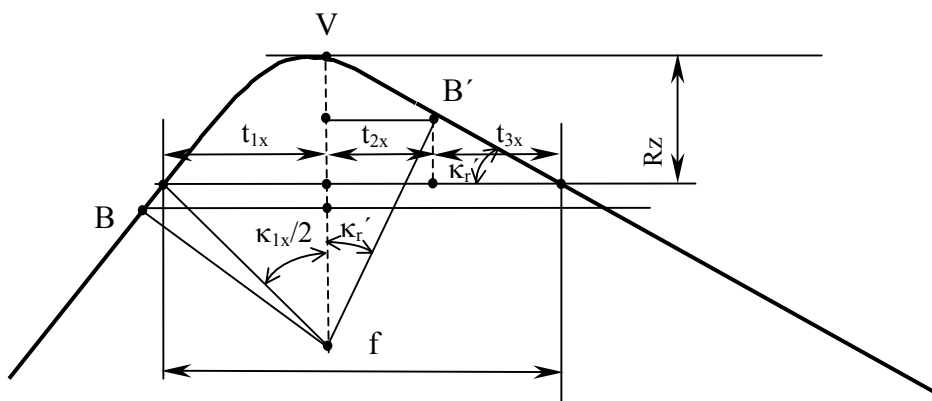
$$Ra = \frac{r_\varepsilon^2}{f}(\text{arc}\kappa_{xx} - \sin\kappa_{xx}). \quad (40)$$

B) $f_3 > f > f_2$ a aj $f = f_3$ a $f = f_2$

V týchto prípadoch možno postupovať podobne ako v bode A, lebo celý excés A_e je tu taktiež obsiahnutý.

C) $f_2 > f > f_1$

Tu treba počítať nie excés ale plochu A_N prestupu nástroja do obrobku (plochu vniknutej špičky nástroja do obrobku). Táto sa bude skladať z dvoch kruhových polodsekov, z jedného obdĺžnika a z jedného trojuholníka (podobný postup ako v prípade Ae).



Obr. 5

Rz môžeme v tomto prípade počítať podľa známeho vzťahu ([1] a i.):

$$Rz = r_\varepsilon(1 - \cos\kappa_r') + f \sin\kappa_r' \cdot \cos\kappa_r' - \sin\kappa_r' \sqrt{f \cdot \sin\kappa_r'(2r_\varepsilon - f \sin\kappa_r')}. \quad (41)$$

Potom:

$$t_{1x} = \sqrt{r_\varepsilon^2 - (r_\varepsilon - Rz)^2}, \quad (42)$$

$$t_{2x} = r_\varepsilon \cdot \sin\kappa_r', \quad (43)$$

$$t_{3x} = f - t_{1x} - t_{2x} = f - \sqrt{r_\varepsilon^2 - (r_\varepsilon - Rz)^2} - r_\varepsilon \cdot \sin \kappa'_r. \quad (44)$$

Potom:

$$\sin \frac{\kappa_{1x}}{2} = \frac{t_{1x}}{r_\varepsilon} \quad (45)$$

a tak:

$$A_N = \frac{1}{4} r_\varepsilon^2 (\text{arc} \kappa_{1x} - \sin \kappa_{1x}) + \frac{1}{4} r_\varepsilon^2 (\text{arc} \kappa'_r - \sin \kappa'_r) + \\ + [Rz - r_\varepsilon (1 - \cos \kappa'_r)] \cdot r_\varepsilon \cdot \sin \kappa'_r + \frac{1}{2} [Rz - r_\varepsilon (1 - \cos \kappa'_r)]^2 \cot g \kappa'_r, \quad (46)$$

a odiaľ pre $H \cdot f = A_N$ bude:

$$H = \frac{r_\varepsilon^2}{4f} (\text{arc} \kappa_{1x} - \sin \kappa_{1x}) + \frac{r_\varepsilon^2}{4f} (\text{arc} \kappa'_r - \sin \kappa'_r) + \\ + \frac{r_\varepsilon}{f} [Rz - r_\varepsilon (1 - \cos \kappa'_r)] \cdot \sin \kappa'_r + \frac{1}{2f} [Rz - r_\varepsilon (1 - \cos \kappa'_r)]^2 \cot g \kappa'_r. \quad (47)$$

Potom môžeme rozoberať prípady

$H_1 > H > H_2$ a tiež $H = H_1$ a aj $H > H_1$ postupmi ako v obdobných prípadoch bodu A a dôjsť k podobným vzorcom ako sú vzorce (34), (36) a (40).

D) $f < f_1$ resp. $f = f_1$

Rz možno určiť podľa známych vzťahov ([1] a i.), ďalej určiť stredový uhol κ_{x0} , potom vypočítať plochu A_N , určiť H

$$Rz = r_\varepsilon - \frac{1}{2} \sqrt{4r_\varepsilon^2 - f^2}, \quad (48)$$

resp.

$$Rz = r_\varepsilon (1 - \cos \kappa'_r), \quad (49)$$

$$\sin \frac{\kappa_{x0}}{2} = \frac{f}{2r_\varepsilon}, \quad (50)$$

resp. máme uhol κ'_r a potom

$$A_N = \frac{r_\varepsilon^2}{2} (\text{arcc} \kappa_{x0} - \sin \kappa_{x0}), \quad (51)$$

resp.

$$A_N = \frac{r_\varepsilon^2}{2} (\text{arc} \kappa'_r - \sin \kappa'_r), \quad (52)$$

potom zo známej podmienky $H \cdot f = A_N$ bude

resp.

Potom počítame tetivu t_{00} a stredový uhol κ_{00}

Plocha priehlbyny A_p :

z podmienky $Ra \cdot f = 2A_p$ dostaneme:

E) nech miesto polomeru hrotu r_ε máme zrazenie hrotu b_ε podľa obr. 6.



Exces A_ε má plochu

$$A_N = \frac{f^2}{2(\cot g\kappa_r + \cot g\kappa'_r)} - \frac{b_\varepsilon^2}{2(\cot g\kappa_r + \cot g\kappa'_r)} \quad (59)$$

$$H = \frac{f^2 - b_\varepsilon^2}{2f(\cot g\kappa_r + \cot g\kappa'_r)}. \quad (60)$$

Plocha výstupku A_v :

$$A_v = \frac{1}{2} H^2 (\cot g\kappa_r + \cot g\kappa'_r) \quad (61)$$

$$A_v = \frac{(f^2 - b_\varepsilon^2)^2}{8(\cot g\kappa_r + \cot g\kappa'_r)}. \quad (62)$$

Z podmienky

$$Ra \cdot f = 2A_v$$

$$Ra = \frac{(f^2 - b_\varepsilon^2)^2}{4f(\cot g\kappa_r + \cot g\kappa'_r)}. \quad (63)$$

F) nech miesto polomeru hrotu r_ε máme zrazenie hrotu b_ε podľa obr. 7.

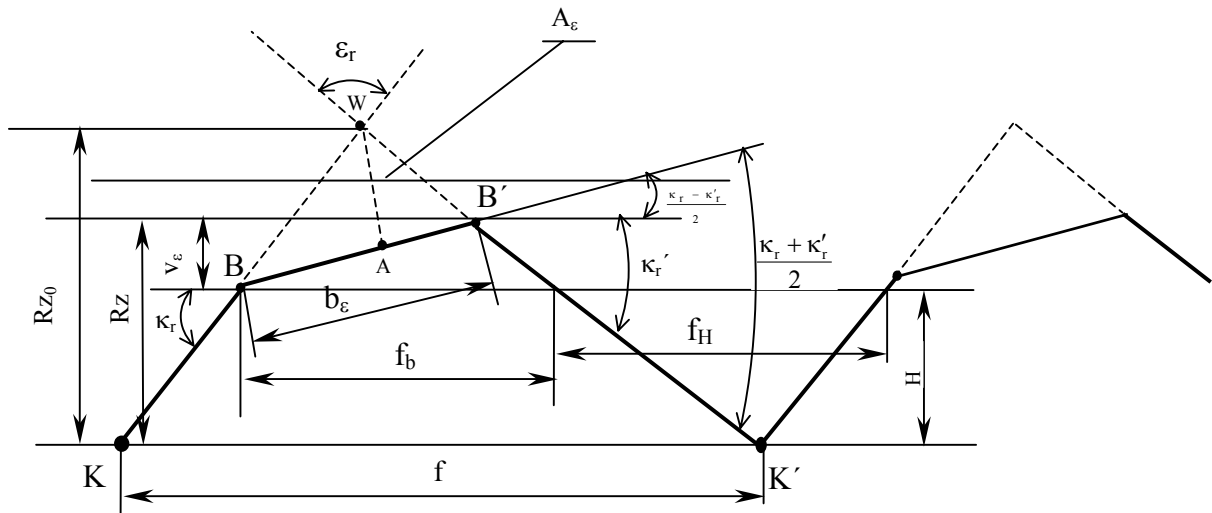
Dĺžka zrazeného hrotu b_ε je v tomto prípade úsečka $\overline{BB'}$ (porovnaj s obr. 1). V obr. 7 okrem uvedeného ešte platí:

$$\overline{WB} = \overline{WB'} = a_\varepsilon = \frac{b_\varepsilon}{2 \cos\left(90 - \frac{\varepsilon_r}{2}\right)} = \frac{b_\varepsilon}{2 \sin \frac{\varepsilon_r}{2}} = \frac{b_\varepsilon}{2 \cos \frac{\kappa_r + \kappa'_r}{2}} \quad (64)$$

$$\overline{BA} = \overline{AB'} = \frac{b_\varepsilon}{2} \quad (65)$$

$$Rz = Rz_0 - a_\varepsilon \sin \kappa'_r = \frac{f}{\cot g\kappa_r + \cot g\kappa'_r} - \frac{b_\varepsilon \sin \kappa'_r}{2 \cos \frac{\kappa_r + \kappa'_r}{2}} \quad (66)$$

$$A_\varepsilon = \frac{b_\varepsilon^2}{2} \cdot \cot g \frac{\varepsilon_r}{2} = \frac{b_\varepsilon^2}{2 \cot g \frac{\kappa_r + \kappa'_r}{2}}. \quad (67)$$



Obr. 7

Plocha vzniku hrotu A_N do obrobku potom bude

$$A_N = \frac{f^2}{2(\cot g\kappa_r + \cot g\kappa'_r)} - \frac{b_\varepsilon^2}{2 \cot g \frac{\kappa_r + \kappa'_r}{2}}. \quad (68)$$

Z podmienky $f \cdot H = A_N$ dostaneme pre polohu strednej čiary profilu

$$H = \frac{A_N}{f} = \frac{f}{2 \cdot (\cot g\kappa_r + \cot g\kappa'_r)} - \frac{b_\varepsilon^2}{2 \cdot f \cdot \cot g \frac{\kappa_r + \kappa'_r}{2}}. \quad (69)$$

Výstupky budú mať trojuholníkový profil so základňami f_H a výškami H . Pre základňu výstupku potom platí.

$$f_H = H(\cot g\kappa_r + \cot g\kappa'_r) = \frac{f}{2} - \frac{b_\varepsilon \cdot \cos \frac{\kappa_r - \kappa'_r}{2}}{2}. \quad (70)$$

Plocha výstupku A_v potom bude

$$A_v = \frac{1}{2} H^2 (\cot g\kappa_r + \cot g\kappa'_r) \quad (71)$$

a z podmienky $Ra \cdot f = 2A_v$ dostaneme pre Ra

$$\begin{aligned} Ra &= \frac{2A_v}{f} = \frac{H^2 (\cot g\kappa_r + \cot g\kappa'_r)}{f} = \\ &= \left[\frac{f}{2(\cot g\kappa_r + \cot g\kappa'_r)} - \frac{b_\varepsilon^2}{2f \cdot \cot g \frac{\kappa_r + \kappa'_r}{2}} \right]^2 \cdot \frac{\cot g\kappa_r + \cot g\kappa'_r}{f} = \\ &= \left[\frac{f^2}{4(\cot g\kappa_r + \cot g\kappa'_r)^2} - \frac{b_\varepsilon^2}{2(\cot g\kappa_r + \cot g\kappa'_r) \cot g \frac{\kappa_r + \kappa'_r}{2}} + \frac{b_\varepsilon^4}{4f^2 \cot^2 g \frac{\kappa_r + \kappa'_r}{2}} \right] \cdot \\ &\frac{\cot g\kappa_r + \cot g\kappa'_r}{f} = \frac{f}{4(\cot g\kappa_r + \cot g\kappa'_r)} - \frac{b_\varepsilon^2}{2f \cdot \cot g \frac{\kappa_r + \kappa'_r}{2}} + \frac{b_\varepsilon^2 (\cot g\kappa_r + \cot g\kappa'_r)}{4f^3 \cdot \cot^2 g \frac{\kappa_r + \kappa'_r}{2}} \end{aligned} \quad (72)$$

Tento vzťah platí pri podmienke $f > f_b$ pričom

$$f_b = b_\varepsilon \sin \frac{\kappa_r - \kappa'_r}{2} \left(\cot g \frac{\kappa_r - \kappa'_r}{2} + \cot g\kappa'_r \right). \quad (73)$$

Pri splnenej podmienke $f \leq f_b$ bude zvyškový hrebienok mať trojuholníkový profil a bude platiť pre $f = f_b$:

$$v_{\varepsilon} = b_{\varepsilon} \sin \frac{\kappa_r - \kappa'_r}{2} = Rz_b, \quad (74)$$

$$Ra = \frac{1}{4} b_{\varepsilon} \sin \frac{\kappa_r - \kappa'_r}{2} \quad (75)$$

a pre $f < f_b$ bude

$$Ra = \frac{1}{4} \cdot \frac{f}{\cot g \frac{\kappa_r + \kappa'_r}{2} + \cot g \kappa'_r}. \quad (76)$$

Záver

Stredná aritmetická odchýlka profilu drsnosti povrchu Ra je parameter, ktorý je uvádzaný na výrobných výkresoch a je preto zo všetkých parametrov drsnosti najdôležitejší. Jeho nevýhodou je, že sa obtiažnejšie vypočítava ako napríklad najväčšia výška profilu Rz . Pre výpočet Rz existuje dostatok vzťahov vo vedeckej i odbornej literatúre (pozri uvedenú literatúru a i.). Teraz však bude pre pozdĺžne sústruženie ako jeden zo základných spôsobov obrábania možnosť si pre dané podmienky vypočítať teoretickú hodnotu parametra Ra . Podotýkame, že pri stanovovaní Ra sme brali do úvahy len geometrické a kinematické pomery premietnuté do nástrojovej základnej roviny P_r . Tým sa samozrejme nezohľadňuje vplyv reznej rýchlosti (ktorý je mimo tzv. nárastkovej oblasti malý) a vplyv dynamických pomerov sústruženia (chvenie, rezné sily a i.). Uvedený príspevok je aj tak prínosom pre teóriu obrábania ale i pre prax.

PodĎakovanie

Príspevok vznikol v rámci riešenia grantovej úlohy č. 1/1079/04.

Zoznam bibliografických odkazov:

- [1] LIPA, Z. Príspevok k metodike výpočtu teoretickej drsnosti obrobeného povrchu sústružením. In *Nové smery vo výrobných technológiách. V. medzinár. konferencia*. Prešov: 2000, s. 324-329.
- [2] BUMBÁLEK, B., ODVODY, V., OŠŤÁDAL, B. *Drsnosť povrchu*. Praha: SNTL, 1989.
- [3] BUDA, J., BÉKES, J. *Teoretické základy obrábania kovov*. Bratislava: ALFA, 1977.
- [4] BEŇO, J. *Teória rezania kovov*. Košice: Viena, 1999.
- [5] VASILKO, K., VASILKOVÁ, D. *Metódy zlepšenia morfológie povrchov súčiastok*. Prešov, 2000.
- [6] BÁTORA, B., VASILKO, K. *Obrobené povrchy*. Trenčín, 2000.