

Karol Vasilko \*

# NOVÝ PRÍSTUP K ZLEPŠENIU AKOSTI OBROBENÉHO POVRCHU

## NEW POSSIBILITIES FOR MACHINED SURFACE QUALITY IMPROVEMENTS

*Ako je známe, medzi dosahovanou drsnosťou obrobeneho povrchu, posuvom a polomerom zaoblenia hrotu platí približný vzťah:  $R_y = f^2/8r_\epsilon$ , ktorý znamená, že pri zväčšovaní posuvu stúpa drsnosť povrchu podľa zákona paraboly. Táto skutočnosť je prekážkou voči zvyšovaniu výrobnosti operácie sústruženia. Naopak, pri zväčšovaní polomeru zaoblenia hrotu hyperbolicky klesá drsnosť povrchu. Preto je potrebné zväčšovať polomery zaoblenia hrotu. Pri veľkých polomeroch však nastáva kmitanie v technologickej sústave. Boli zaznamenané mnohé pokusy na modifikáciu uvedeného vzťahu. Známý je napr. Kolesovov nôž, ktorý má lineárnu vedľajšiu reznú hranu, umiestnenú pod uhlom nastavenia  $0^\circ$ . Autor predkladá originálne riešenie tohto problému, vrátane experimentálneho overenia.*

### 1. Úvod

Je známe, že medzi dosahovanou drsnosťou obrobeneho povrchu  $R_y$ , posuvom  $f$  a polomerom zaoblenia hrotu noža  $r_\epsilon$  platí približný vzťah:

$$R_y = \frac{f^2}{8r_\epsilon} \quad (1)$$

Tento vzťah udáva, že pri zväčšovaní posuvu prudko rastie drsnosť povrchu podľa zákona paraboly. To je hlavnou prekážkou zvyšovania výrobnosti sústruženia. Naopak, pri zväčšovaní polomeru zaoblenia hrotu noža drsnosť povrchu klesá. Zväčšovaním polomeru zaoblenia však stúpa dĺžka styku reznej hrany s obrobkom a dochádza ku kmitaniu technologickej sústavy. Tento problém riešilo veľa autorov. Napr. Kolesov vytvoril lineárnu vedľajšiu reznú hranu, rovnobežnú s osou obrobku, umiestnenú pod uhlom nastavenia  $0^\circ$ . Autor predkladá originálne riešenie problému, podložené experimentálnymi skúškami.

### 2. Analýza doterajších riešení problému

História zaznamenala viaceré pokusy o modifikáciu vzťahu (1). Jedno z riešení predložili Nestmann a Loos [5] podľa obr. 1. Spočíva vo vybrúsení ďalších rezných hrán, hlavnej  $S$  a vedľajšej

*The main relationships governing the machining process include the relationship between the roughness of the machined surface, the feed and the curvature radius of the tool tip expressed by the approximate equation:  $R_y = f^2/8r_\epsilon$ . According to this equation, an increase of the feed increases the capacity of the surface roughness, according to a parabolic law. This fact prevents large increases in the productivity of machining. There are certain reserves in increasing the curvature radius of the tip which is present in the denominator. However, very large increase of the tip diameter increases the length of the cutting edge in engagement and causes vibration of the system. It is therefore necessary to find other solutions. One of them is the so-called Kolesov tool, with a section of the secondary cutting edge with setting angle of  $0^\circ$ . In contrast to these solution, the author proposes an original concept, together with its partial verification.*

### 1. Introduction

The main relationships governing the machining process include the relationship between the roughness of the machining surface, the feed and the curvature radius of the tool tip expressed by the approximate equation:

$$R_y = \frac{f^2}{8r_\epsilon} \quad (1)$$

Increase of the feed rapidly increases the surface roughness, according to a parabolic law. This fact prevents large increases in the productivity of machining. There are certain reserves in increasing the curvature radius of the tip which is present in the denominator of Eq. (1). However, a very large increase of the tip diameter increases the length of the cutting edge in engagement and causes vibration of the system. It is therefore necessary to find other solutions. One of them is the Kolesov tool, with a section of the secondary cutting edge with the setting angle of  $0^\circ$ . In contrast to these solutions, the author proposes an original concept, together with its partial verification.

### 2. Analysis of the approaches to solving the problem

The history of the development of machining is characterised by the effort to modify Eq. (1) in such manner as to ensure that

\* Prof. Ing. Karol Vasilko, DrSc.,

Faculty of Production Technologies, Technical University of Košice, with the seat in Prešov,  
e-mail: fvtpo@vadium.sk

$S'$ , ktoré sú rovnobežné s osou obrobnku. Nástroj sa dá použiť pri dokončovacom obrábaní s maximálnou hĺbkou rezu  $a_h$ , podľa obr. 1.

Na obr. 2 je úprava, ktorú navrhol Romgnolo [4].

Riešenie spočíva v pootočení rezných platničiek tak, že uhol nastavenia je veľmi malý. Uhol hrotu  $r_e$  sa blíži k  $180^\circ$ . Drsnosť obrobeného povrchu je definovaná vzťahom:

$$R_y = f \tan \kappa'_r = f k'_k \quad (2)$$

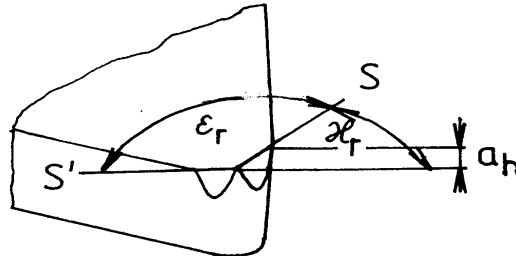
Nástroj je tiež použiteľný na dokončovacie obrábanie s obmedzenou veľkosťou hĺbky rezu  $a_h$ .

Zaujímavé riešenie predložili Escher a Lindl [6]. Je zobrazené na obr. 3. Riešenie spočíva vo vytvorení ďalšieho hrotu, ktorý zarovnáva nerovnosti, vytvorené prvým hrotom. Poloha druhého hrotu je definovaná vzdialenosťou:  $k = nf$ , kde  $n$  je nepárne kladné číslo. Tým sa druhý hrot dostane na miesto najväčšej vyvýšeniny povrchu, vytvorenej prvým klinom (čiarkovaný obrys).

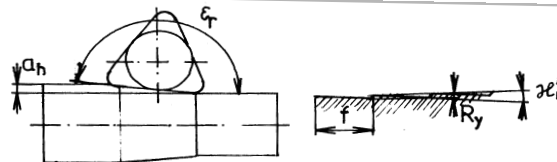
Nevýhodou nástroja je komplikované ostrenie. Súčasne dochádza k nerovnomernému opotrebeniu oboch hrotov.

Eckle a Lochgau [7] riešili modifikáciu vzťahu (1) tak, že zaoblili vedľajšiu reznú hranu do veľkého polomeru  $R$ , podľa obr. 4.

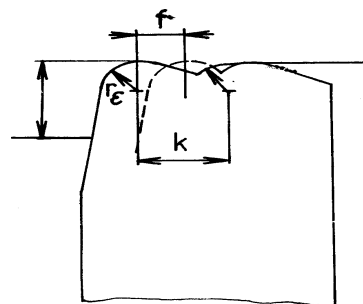
Autori definovali optimálnu veľkosť polomeru  $R = (0,15 - 0,05)L$ . Rovnako v tomto prípade sú problémy s vytvorením presných tvarov jednotlivých hrotov platničky.



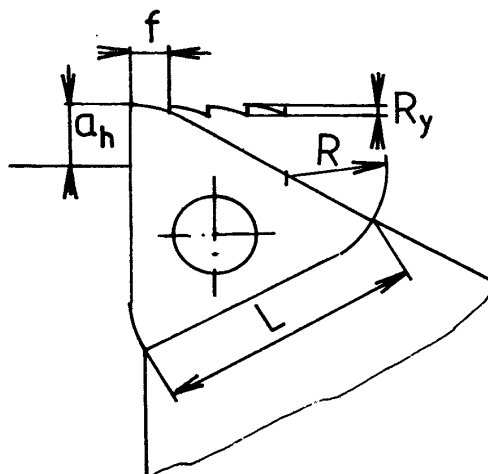
Obr. 1. Jedna z úprav geometrie hrotu noža [5]  
Fig.1 Modification of the tool tip by producing rake areas [5]



Obr. 2. Rezná platnička na dokončovacie obrábanie [4]  
Fig. 2 Cutting tip for finish turning of bars [4]



Obr. 3. Nôž s dvoma hrotmi [6]  
Fig.3 Tool with two tips [6]



Obr. 4. Nôž so zaoblenou vedľajšou reznou hranou [7]  
Fig. 4 Tool with an „arc“ secondary cutting edge [7]

the change of the roughness of the machined surface is marked less under the effect of a change of the feed. Nestmann and Loos [5] proposed to grind two areas, Fig. 1, on the tip of the tool. One area forms, with the tool tip, the main cutting edge  $S$  and the other area the secondary edge  $S'$ , parallel to the axis of the workpiece. This causes a smoothing of the surface and a large reduction of surface roughness. The tool is suitable only for very fine machining with a small depth of cut  $a_h$ .

Figure 2 shows a modification proposed by Romgnolo [4]

It is based on producing a special cutting sheet with six cutting edges. The main and secondary cutting edge ( $S$  and  $S'$ ) form a tip with a large angle  $\epsilon_r$  close to  $180^\circ$ . As before, the secondary cutting edge  $S'$  smoothes the machined surface. A shortcoming of both solutions is the need to set accurately the secondary cutting edge in such a manner as to ensure that the secondary setting angle  $\kappa_r$  is equal to zero. Any deviation results in a surface roughness  $R_y$ .

Fig. 2, whose value is set from the relationship:

$$R_y = f \tan \kappa'_r = f k'_k \quad (2)$$

This solution is suitable only for finishing machining with small cutting depths  $a_h$ .

An interesting solution is to form two tips proposed by Escher and Lindl [6]. According to Fig. 3, the main cutting tip is followed by another one, displaced by  $k = nf$ , where  $n$  is an odd integer. The radii of both tips can be identical or different. A condition for a satisfactory result is to set both tips to the same level in relation to the axis workpiece. The position of the second tip  $k$  is selected in such a manner that the second tip smoothes the irregularities generated by the first tip (broken line).

The tool can also be used for rough machining. One of the disadvantages is complicated sharpening. According to the authors, to avoid interference of



### 3. Návrh novej geometrie nástroja

Základnou požiadavkou je, aby nástroj zabezpečoval vysokú výrobnosť operácie a súčasne dobrú akosť obrobeného povrchu. Pri aplikácii nástroja s polomerom hrotu, kde sa drsnosť povrchu riadi vzťahom (1) sa to nedá zabezpečiť. Efektívne riešenie nástroja a jeho poloha k obrodku je na obr. 6.

Podstatou riešenia je úprava rezného nástroja tak, že hrot noža je nad osou obrodku. Hlavná rezná hrana  $S$  odoberá hrubovaciu hĺbku rezu  $ah_1$ . Vedľajšia rezná hrana je umiestnená pod uhlami:  $\kappa_r = 0^0$ ,  $\lambda_s \neq 0$ . Táto rezná hrana odoberá dokončovaciu hĺbku rezu  $ah_2$ . Vzájomný pomer medzi hrubovacou a dokončovacou hĺbkou rezu je daný veľkosťou prevýšenia hrotu noža  $k$ . Medzi drsnosťou povrchu a jednotlivými veličinami platí nový vzťah [3]:

$$R_y = \sqrt{\frac{f^2}{4} \operatorname{tg}^2 \lambda_s + r^2} - r \quad (3)$$

### 4. Experimentálna verifikácia teoretických predpokladov

V ďalšom boli vykonané experimentálne skúšky obrábania navrhnutým nožom. Ako obrábaný materiál bola oceľ 12050.5 a titánová zliatina VT 3-1. Cieľom experimentov bolo potvrdenie závislosti (3).

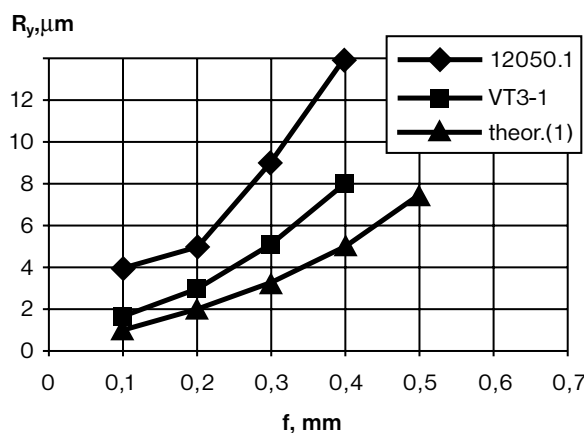
Na obr. 7 je znázornená experimentálna závislosť medzi drsnosťou obrobeného povrchu a posuvom pri obrábaní nožom s polomerom zaoblenia hrotu  $r_e = 1$  mm. Na grafe je aj teoretická krivka, získaná výpočtom podľa vzťahu (1).

Z obr. je zjavné, že experimentálne krivky sledujú charakter teoretickej krivky, hodnoty drsnosti sú však vyššie, pričom viac u ocele ako titánu. Je to dané rozdielnou plasticitou oboch kovových zliatin.

Na obr. 8 sú rovnaké závislosti, získané pri obrábaní nožom podľa obr. 6. Teoretická krivka bola zostrojená podľa vzťahu (3).

Vidno, že absolútne hodnoty drsnosti sú výrazne menšie ako pri obrábaní klasickým nožom.

Ďalšie experimenty boli zamerané na objasnenie funkcie  $R_y = f(\lambda'_s)$ . Výsledok je na obr. 9.



Obr. 7. Teoretická a experimentálne krivky závislosti drsnosti povrchu na posuve, pri obrábaní nožom so zaobleným hrotom  
Fig. 7 Theoretical and experimental dependence of the mean arithmetic value of the profile on feed in machining with a tool with a rounded tip

### 3. Proposal of a new tool geometry

The main postulate of the current machining methods is the division of the allowance of the rough and finishing part. Rough machining is carried out with a large feed with a requirement of higher productivity and without any regard to the resultant surface roughness of the workpiece. On the other hand, the finishing operations are characterised by small feeds thus obtaining the required surface quality according to Eq. (1). This is carried out using tools with a larger tip diameter of some of the previously mentioned solutions. The aim of the proposed solution is to combine the rough machining operations. The principle of this solution is shown in Fig. 6.

This proposal is based on the fact that the main cutting edge  $S$  of the cutting tool is normal or inclined in relation to the axis of the workpiece but is directed above the axis of the workpiece and the extent to which the tip  $A$  is extended is detoned  $k$ , the main cutting edge removes the rough machining allowance  $ah_1$ . The secondary cutting edge of the tool  $S'$  is normal to the main cutting edge is not parallel with the axis of the workpiece and is set under the angles:  $\kappa_r = 0^0$ ,  $\lambda_s \neq 0$ . This cutting edge removes the finishing cutting depth  $ah$ . The ratio between  $ah_1$  and  $ah_2$  depends on the value of  $k$  and the radius of the workpiece  $r$ . We shall now try to derive the individual relationships

Relationship for the roughness of the machined surface [3]:

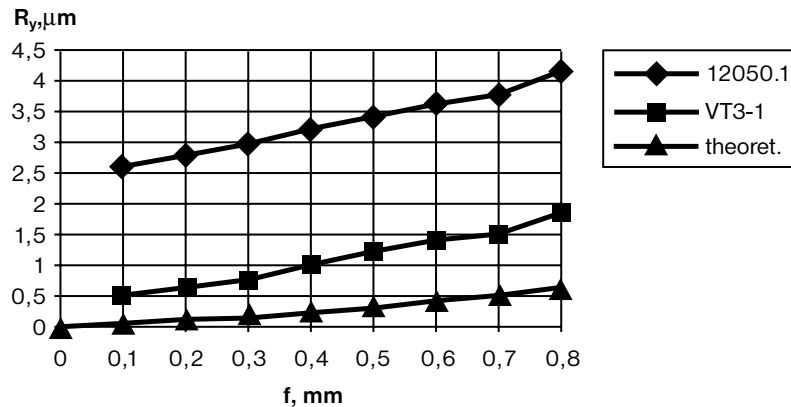
$$R_y = \sqrt{\frac{f^2}{4} \operatorname{tg}^2 \lambda_s + r^2} - r \quad (3)$$

### 4. Experimental verification of theoretical assumptions

From a practical viewpoint, it is important to know the dependence of  $R$  on the cutting conditions and the angle of inclination of the cutting edge. Therefore, experimental machining tests were carried out. Their aim was mainly to confirm the validity of equation (3). The tests were carried out on two materials with different ductility properties: 12050.1 steel and VT 3-1 titanium alloy.

Figure 7 shows the experimental dependence of the roughness of the machined surface on the tool feed for both materials. We used a conventional tool with the tip radius of  $r_e = 1$  mm. It may be seen that dependence corresponds to the theoretical equation (1). The roughness values in the entire range are considerably better in the titanium alloy where the copying of the tool tip on the machined surface is more accurate.

Figure 8 shows a similar dependence obtained in cutting with the tool in Fig.6. Repeated tests obtained scattered values. It may be seen that the results, especially for the steel, differ from the theoretical



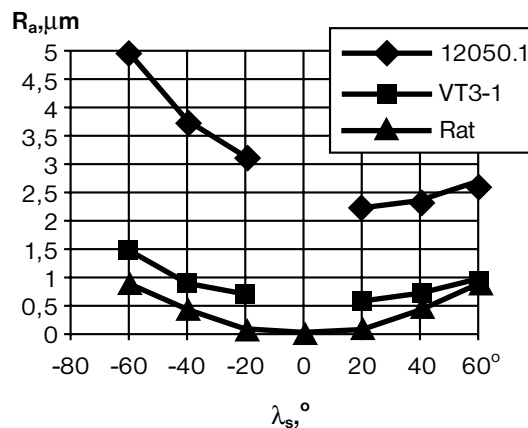
Obr. 8. Teoretická a experimentálne krivky závislosti drsnosti povrchu od posuvu, získané pri obrábaní upraveným nožom  
Fig.8 Theoretical and experimental dependence of the mean arithmetic deviation of the profile on feed in machining with a modified tool

Rovnako tento experiment potvrdil teoretické predpoklady. Treba povedať, že pri uhle nastavenia blízkom nule obrábanie nie je možné, pretože dochádza k styku celej vedľajšej reznej hrany s obrobenou plochou. Pri záporných uhloch nastavenia dochádza ku kmitaniu technologickej sústavy. Preto tieto uhly nemožno odporúčať

Nástroj má niektoré ďalšie zvláštnosti. Napr. tým, že dochádza k rozdeleniu prídavku na obrábanie medzi hlavnú a vedľajšiu reznú hranu, dochádza k prirodzenému stáčeniu triesky do skrutkovice. Trieska od hlavnej aj vedľajšej hrany má totiž tendenciu odchádzať vo smere kolmo k reznú hrane. Tým sa pretínajú vektory pohybu triesky. Tvar odchádzajúcej triesky je zrejmy z fotografie obročku, ktorá bola získaná pri zastavení obrábania.



Obr. 10. Fotografia odchádzajúcej triesky  
Fig. 10 Turnings formed on the side of the tool face



Obr. 9. Teoretická a experimentálna závislosť drsnosti obrobeného povrchu od uhla nastavenia vedľajšej reznej hrany, získaná pri obrábaní upraveným nožom

Fig. 9. Theoretical and experimental form of the dependence of the main arithmetic deviation of the profile on the angle of inclination of the cutting edge

assumptions. However, the absolute roughness values are considerably lower in the entire range than in machining with a conventional tool.

Another set of the results was obtained for the second parameter in the equation (3) - the tool angle of inclination of the cutting edge. For this purpose, the tools were sharpened with negative and positive angles (at negative angles the tip of the tool was above the axis of the workpiece).

Fig.9 shows the dependence obtained in machining the steel.

As stated previously, the experimental values are higher than the theoretical values. At negative angles of inclination the roughness values are higher. This can be explained by an unfavourable change of the angles (negative angle of inclination and the face) resulting in oscillation of the system.

Better results were obtained in machining titanium. In the region of feasible positive angles of inclination, the average scatter was only 0.2 μm and the values were close to theoretical.

An interesting experimental dependence is the form of the turnings in relation to the cutting speed. Figure 10 shows a set of turnings obtained at cutting speeds of  $v_c = 140 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ , machined material steel 12050.1. It may be seen that in accordance with the theoretical assumptions, the turnings are compressed and break up into different length sections, despite the fact that the tool face is flat, without any shaping device. The mechanism of formation of the turnings may be seen partially in Fig.10 which shows the view of the lower side of the turnings (from the side of the tool) interrupting the machining process.

## 5. Záver

Vidno, že nové prístupy k riešeniu geometrie nástroja môžu priniesť pozitívne výsledky, prejavujúce sa na akosti obrobenej plochy. Bol odvodený nový vzťah medzi drsnosťou povrchu a posuvom (3), ktorý umožňuje zvyšovať posuvy, bez výrazného vplyvu na drsnosť obrobenej plochy. Tým, že možno pri použití upraveného noža výrazne zvýšiť posuv, pričom sa dosahuje vyhovujúca drsnosť povrchu, možno výrazne skrátiť strojový čas  $\tau_s$ , a tým zvýšiť výrobnosť operácie sústruženia.

Okrem toho riešenie umožňuje zlúčiť hrubovanie a dokončovanie do jedného pracovného prechodu, čo za predpokladu dostatočnej tuhosti stroja je ďalším prínosom pre výrobnosť operácie.

## Literatúra

- [1] VASILKO, K. et al.: Technológia obrábania a montáže. ALFA Bratislava, 1991, 494 s.
- [2] GILES, C. R et al.: Some power and geometry characteristics of axial skiving. Annals of the CIRP, Vol.30/1/1981
- [3] VASILKO, K.: Characteristics of turning with a tool with a straight cutting edge inclined in relation to axis of the work-piece. Transaction of the Technical University of Košice, 1991, 1, Cambridge, England
- [4] ROMGNOLO, G.: Plaque de coupe amovible pour e crou-tage de barres sur machine sans centre. Francúzsky patent č. 7528886, 12.09.75
- [5] NESTMANN, S. - LOOS, B.: Scheidelement zur spananhebenden Bearbeitung. Patent SRN No. 214645., 27. 07. 89
- [6] ESHER, S. - LINDL, K.: Verfahren und Vorrichtung zur spananhebenden Bearbeitung von Wrkstücken. West German Patent Nr. 2610097, 11.03.76
- [7] ECIDE, O. - LOCHGAU, F.: Triangular indexable cutting plate for lathe tools. US Patent No. 4486127.,19.07.82

Recenzenti: J. Zongor, S. Turek

## 5. Conclusions

The search for new approaches to the geometrical parameters of the tool has resulted in deriving an efficient relationship between the roughness of the machined surface and the feed (3). On the basis of the theoretical and experimental analysis, the examined tool has certain positive characteristics which support its application in practice. The practical importance of the tool is indicated by reducing the machining time. This result is important and enables the productivity of machining to be increased proportionately.

Another important effect is that it is not required to divide the operation into rough machining and finish machining because the resultant surface roughness does not depend on the system. It is possible to obtain the required surface quality in a single passage of the modified tool. For this reason, the tested tool can be referred to as the roughing-smoothing tool.

## References

- [1] VASILKO, K. et al.: Technology of metal cutting and montage. ALFA Bratislava, 1991
- [2] GILES, C. R et al.: Some power and geometry characteristics of axial skiving. Annals of the CIRP, Vol. 30/1/1981
- [3] VASILKO, K.: Characteristics of turning with a tool with a straight cutting edge inclined in relation to axis of the work-piece. Transaction of the Technical University of Košice, 1991, 1, Cambridge, England
- [4] ROMGNOLO, G.: Plaque de coupe amovible pour e crou-tage de barres sur machine sans centre. French Patent No. 7528886.,12.09.75
- [5] NESTMANN, S. - LOOS, B.: Schneidelement zur spananhebenden Bearbeitung. West German Patent No. 214645., 27. 07. 89
- [6] ESHER, S. - LINDL, K.: Verfahren und Vorrichtung zur spananhebenden Bearbeitung von Wrkstücken. West German Patent Nr. 2610097, 11.03.76
- [7] ECIDE, O. - LOCHGAU, F.: Triangular indexable cutting plate for lathe tools. US Patent No. 4486127.,19.07.82

Reviewed by: J. Zongor, S. Turek