

## Параметри на срязвания слой при струговане с кръгли режещи пластини

Михаил Кършаков

**Annotation:** Dependences are determined, that describe the relation between the surface, the physical and technological dimensions of the cut layer in accordance to the radius of the plates. Restricting conditions are inputted that describe the type of the cut layer section.

**Key words:** cut layer, dimensions of the cut layer, base angles, depth of cutting, feed.

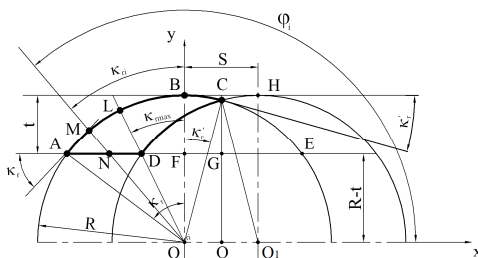
### ВЪВЕДЕНИЕ

Използването на кръгли режещи пластини за струговане на цилиндрични повърхнини намира сравнително ограничено разпространение в машиностроителната практика. Една от основните причини за това произтича от обстоятелството, че с нарастване на дълбочината на рязане и радиуса на пластината се увеличава значително широчината на срязвания слой (дължината на активната част от режещия ръб), което води до големи сили на рязане и до възникване на вибрации в технологичната система, влошаващи условията на обработване и качеството на получаваните повърхнини. Изборът на подходящ радиус на кръглата пластина за конкретните условия на обработване изисква познаване на влиянието му върху физичните размери на срязвания слой [1, 5, 6].

Съществуват теоретични изследвания [1, 2, 3, 7], които в една или друга степен разкриват посочените връзки, но в повечето случаи са изложени частични резултати, при които сечението на срязвания слой се разглежда формирано от режещ ръб с праволинейна и криволинейна режещи части или им липсват достатъчна пълнота и прецизност.

### ИЗЛОЖЕНИЕ

Струговането с кръгли пластини е съпроводено със срязването на слой, който има сравнително сложна форма на напречното сечение, което се характеризира със следните физични размери: дебелина  $a$ , широчина  $b$  и площ  $f$ . Те са в пряка зависимост от режимните параметри дълбочина на рязане  $t$  и подаване  $S$ , известни още като технологични размери на срязвания слой и влияят значително върху явленията, съпровождащи стружкоотнемането. На фиг.1 формата на сечението е очертана от контура ABCD, при което режещият ръб на пластината (дъгата AC) е разделен от условия връх  $B$  на две части – главен (дъгата AB) и спомагателен (дъгата BC).



Фиг.1. Сечение на срязвания слой при рязане с кръгли пластини

Дебелината на срязвания слой се измерва като разстояние между пресечните точки на радиус-вектора с център т.О и контура ABCD. Текущата ѝ големина  $a_r = MN$  се изменя от 0 в точките А и С до  $a_{max}$  в т. D.

Текущите стойности на главния установъчен ъгъл  $\kappa_{r_i}$  и на спомагателния установъчен ъгъл  $\kappa_{r_i}'$  нарастват от нула, във върховата точка В, съответно до  $\kappa_r$  и  $\kappa_r'$  в точките А и С.

В правоъгълния триъгълник AFO (фиг.1) може да се установи, че  $\angle AOF = \kappa_r$ , при което

$$\kappa_r^o = \arccos \frac{FO}{AO} = \arccos \frac{R-t}{R} . \quad (1)$$

Пак там  $\angle BOC = \angle OCQ = \kappa_r'$  и от правоъгълния триъгълник OQC  $\angle OCQ = \arcsin \frac{OQ}{OC}$ . От построението се вижда, че  $OQ = \frac{OO_1}{2} = \frac{S}{2}$ , а  $OC = R$ .

При това се получава

$$\kappa_r'^o = \arcsin \frac{S}{2R} , \quad (2)$$

където S е преместването на инструмента за един оборот на заготовката;

R – радиусът на пластината.

Познаването на установъчните ъгли  $\kappa_r^o$  и  $\kappa_r'^o$  позволява да се определи ширината на срязвания слой, която е сбор от дъгите

$$\widehat{AB} = R\kappa_r = \frac{\pi R}{180} \kappa_r^o , \quad (3)$$

$$\text{и } \widehat{BC} = R\kappa_r' = \frac{\pi R}{180} \kappa_r'^o , \quad (4)$$

където  $\kappa_r$  и  $\kappa_r'$  са в радиани.

Тогава

$$b_0 = \widehat{AB} + \widehat{BC} = \frac{\pi R}{180} (\kappa_r^o + \kappa_r'^o) , \quad (5)$$

където  $b_0$  е ширината на срязвания слой при  $\lambda_s = 0^\circ$ .

Промениливият характер на дебелината на срязвания слой налага този параметър да бъде представен със средната си стойност

$$a_{cp} = \frac{f}{b_0} , \quad (6)$$

където  $f = f_{ABCD}$  е площта на сечението на срязвания слой.

Съгласно фиг.1, за да бъде определена, площта  $f$  може да се изрази чрез площи, които за улеснение получават следните означения:  $f_{ABE} = f_1$ ;  $f_{CEG} = f_{CDG} = f_2$ ;  $f_{BCGF} = f_3$ ;  $f_{OFGQ} = f_4$ ;  $f_{OBCQ} = f_5$ .

При това е очевидно, че

$$f = f_1 - 2f_2 , \quad (7)$$

$$f_2 = \frac{f_1}{2} - f_3 . \quad (8)$$

След заместване на (8) в (7) се получава

$$f = 2f_3 . \quad (9)$$

Площта  $f_3$  с известно приближение може да се изчисли по формулата

$$f_3 = BF.FG = t \frac{S}{2} , \quad (10)$$

при което, след заместване на (10) в (9), търсената площ е

$$f = t.S . \quad (11)$$

Получената формула е аналогична на тази, по която се изчисляват площите при праволинейни режещи ръбове и може да се използва за практически цели, но тя дава леко завишени стойности.

Ако формула (11) и формула (5) се заместят във формула (6), за дебелината на срязвания слой се получава следната приближена зависимост:

$$a_{cp} = \frac{180^\circ t.S}{\pi R(k_r^o + k_r^o)} . \quad (12)$$

За точно определяне на площта на срязвания слой, площта  $f_3$  може да бъде изразена чрез зависимостта

$$f_3 = f_5 - f_4 . \quad (13)$$

Съгласно фиг.1

$$f_4 = \frac{S}{2}(R-t) . \quad (14)$$

Площта  $f_5$  се получава чрез интегриране на уравнението на окръжността с център т.О в координатната система xOy, при което решението на интеграла има вида [4]

$$f_5 = \int_0^{\frac{S}{2}} \sqrt{R^2 - x^2} dx = \frac{x}{2} \sqrt{R^2 - x^2} + \frac{R^2}{2} \arcsin \frac{x}{R} \Big|_0^{\frac{S}{2}} \quad (15)$$

След заместване на границите

$$f_5 = \frac{S}{4} \sqrt{R^2 - \frac{S^2}{4}} + \frac{R^2}{2} \arcsin \frac{S}{2R} . \quad (16)$$

Ако формула (2) се замести в (16) и се отчете фактът, че в решението на интеграла ъглите трябва да са в радиани се получава

$$f_5 = \frac{S}{4} \sqrt{R^2 - \frac{S^2}{4}} + \frac{\pi R^2}{360} k_r^o . \quad (17)$$

Зависимости (14) и (17) се заместват в (13), а от там в зависимост (9) и, като се пренебрегне изразът  $\frac{S^2}{4}$ , формулата за площта на сечението на срязвания слой добива вида

$$f = \frac{\pi R^2}{180} k_r^o - S.(0,5R-t) . \quad (18)$$

Въз основа на формули (18) и (5), заместени в (6) средната дебелина на срязвания слой е

$$a_{cp} = \frac{R\kappa_r^{\circ} - \frac{180S}{\pi R}(0,5R-t)}{\kappa_r^{\circ} + \kappa_r^{\circ}} . \quad (19)$$

От фиг.1 може да се установи, че максималната дебелина на срязвания слой  $a_{max}$  може да се определи по формулата

$$a_{max} = LD = R - OD \quad (20)$$

От правоъгълния триъгълник  $OFD$

$$OD = \sqrt{(R-t)^2 + DF^2} \quad (21)$$

За определянето на отсечката  $DF$  е необходимо да се намери абсцисата на точка  $D$  в координатната система  $xOy$ . За целта се решава системата

$$\begin{cases} (x-S)^2 - y^2 = R^2 \\ y = R-t \end{cases} . \quad (22)$$

$$x_{1,2} = S \pm \sqrt{t(2R-t)} . \quad (23)$$

Очевидно е, че търсената абсциса на т. $D$  е отсечката

$$DF = S - \sqrt{t(2R-t)} . \quad (24)$$

След последователно заместване на (24) в (21) и в (20) и преобразуване, формулата за определяне на  $a_{max}$  добива вида

$$a_{max} = R - \sqrt{R^2 + S^2 - 2S\sqrt{t(2R-t)}} . \quad (25)$$

Дебелината на срязвания слой  $a_i$  за произволна точка от режещия ръб  $AC$  може да бъде намерена [5] като разлика между радиуса на пластината и радиус-вектора  $r_i$  в полярни координати на системата  $xOy$ . При това, правоъгълните координати са

$$x_i = r_i \cdot \cos \varphi_i \quad \text{и} \quad y_i = r_i \cdot \sin \varphi_i , \quad (26)$$

където  $\varphi_i$  е ъгълът, заключен между положителното направление на полярната ос  $Ox$  и радиус-вектора  $r_i$ .

За определяне на  $r_i$  в участъка  $AD$  (текуща големина  $ON$ ) от посочения контур се използва уравнението на правата

$$y = R - t , \quad (27)$$

от където, след заместване на  $y$  във формула (26), се получава

$$r_i = \frac{R-t}{\sin \varphi_i} . \quad (28)$$

Съгласно изложениия подход

$$a_i = OM - ON = R - r_i , \quad (29)$$

при което, след заместване на (28) в (29)

$$a_i = R - \frac{R-t}{\sin \varphi_i} . \quad (30)$$

Ако ъгловият параметър  $\varphi_i$  се изрази чрез главния установъчен ъгъл

$$\varphi_i = 90 + \kappa_{ri}^{\circ} \quad (31)$$

формулата за определяне на текущата дебелина на срязвания слой в участъка  $AL$  от главния режещ ръб добива вида

$$a_i = R - \frac{R-t}{\cos \kappa_{ri}^{\circ}}, \quad (32)$$

където  $\kappa_{r \max}^{\circ} < \kappa_{ri}^{\circ} < \kappa_r^{\circ}$ .

За определянето на  $\kappa_{r \max}^{\circ}$  може да се използва правоъгълният триъгълник  $OFD$ , от където

$$\kappa_{r \max}^{\circ} = \text{arctg} \frac{DF}{OF}. \quad (33)$$

От фиг.1

$$\kappa_{r \max}^{\circ} = \text{arctg} \frac{\sqrt{t(2R-t)} - S}{R-t}. \quad (34)$$

За определяне на радиус-вектора  $r_i$  в участъка  $DC$  се използва уравнението на окръжността с център  $T.O_1$  в координатната система  $xOy$

$$(x-S)^2 + y^2 = R^2, \quad (35)$$

от където, след заместване на (26) в (35) и решаване на полученото квадратно уравнение, се получава

$$r_i = S \cos \varphi_i + \sqrt{R^2 - S^2 \sin^2 \varphi_i}. \quad (36)$$

Тогава, съгласно (29) и (36), определянето на  $a_i$  за частта  $LC$  от режещия ръб може да стане чрез зависимостта

$$a_i = R - S \cdot \cos \varphi_i - \sqrt{R^2 - S^2 \sin^2 \varphi_i}. \quad (37)$$

И в този случай след заместване на ъгловия параметър  $\varphi_i$  във формула (37) се получава

- за участъка  $LB$  от главния режещ ръб  $\varphi_i$  се взема от (31), при което

$$a_i = R + S \cdot \sin \kappa_{ri}^{\circ} - \sqrt{R^2 - S^2 \cos^2 \kappa_{ri}^{\circ}}, \quad (38)$$

където  $0 < \kappa_{ri}^{\circ} < \kappa_r^{\circ}$ ;

- за участъка  $BC$  от спомагателния режещ ръб  $\varphi_i = 90 - \kappa_{ri}^{\circ}$ , при което

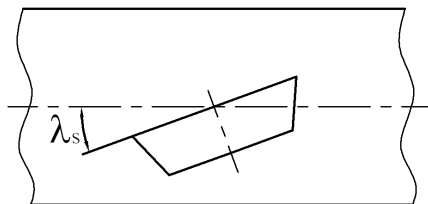
$$a_i = R - S \cdot \sin \kappa_{ri}^{\circ} - \sqrt{R^2 - S^2 \cos^2 \kappa_{ri}^{\circ}}, \quad (39)$$

където  $0 < \kappa_{ri}^{\circ} < \kappa_r^{\circ}$

Очевидно е, че при  $\kappa_{ri}^{\circ} = \kappa_r^{\circ} = 0$  при условия връх  $B$

$$a_B = R - \sqrt{R^2 - S^2}. \quad (40)$$

Изложените до тук зависимости за определяне размерите на срязвания слой са изведени при предпоставката, че ъгъл  $\lambda_S = 0^{\circ}$ . При кръгли твърдосплавни пластини промяната му се осъществява чрез накланяне в осовата равнина – фиг.2.



Фиг.2. Разположение на кръгла режеща пластина при ъгъл на наклона на режещия ръб  $\lambda_s \neq 0^\circ$

Това се отразява върху ширината на срязвания слой чрез зависимостта

$$b = \frac{b_0}{\cos \lambda_s}, \quad (41)$$

при което

$$a_{cp} = \frac{R \cdot \kappa_r^\circ \cos \lambda_s - \frac{180S}{\pi R} (0,5 - t) \cos \lambda_s}{\kappa_r^\circ + \kappa_r^\circ}. \quad (42)$$

Известно е [1], че при надлъжно струговане с праволинейни режещи ръбове, в зависимост от стойностите на  $t$ ,  $S$  и  $\kappa_r^\circ$ , са възможни три форми на сечението на срязвания слой, характеризирани се с определени съотношения на физичните и технологичните му размери:

- право сечение, при което

$$b > a \text{ и } \frac{t}{S} > \sin^2 \kappa_r^\circ; \quad (43)$$

- обратно сечение, при което

$$b > a \text{ и } \frac{t}{S} < \sin^2 \kappa_r^\circ; \quad (44)$$

- равностранно сечение, при което

$$b = a \text{ и } \frac{t}{S} = \sin^2 \kappa_r^\circ. \quad (45)$$

Като се използват зависимостите (43), (44) и (45) не е трудно да се установи, че при право сечение, в зависимост от големината на  $\kappa_r^\circ$  са възможни следните два случая:

$$a > t, \quad b < S; \quad (46)$$

$$a < t, \quad b > S. \quad (47)$$

При обратно и при равностранно сечение

$$a > t \text{ и } b < S. \quad (48)$$

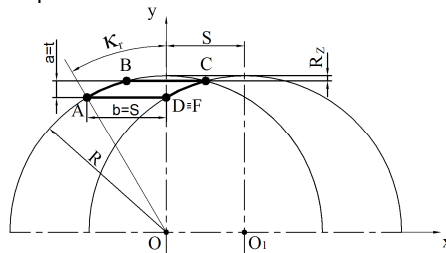
Необходимо е да се подчертае, че при обратно сечение неравенствата (49) са в сила само ако главният и спомагателният режещи ръбове запазват функциите си. Но при такова сечение функциите на режещите ръбове се разменят, при което

$$a = t \text{ и } b = S . \quad (49)$$

Когато главният и спомагателният режещи ръбове са части от една и съща окръжност зависимостите (43), (44) и (45) са неприложими.

Не е трудно да се докаже (фиг.1), че съотношенията (46) и (48) не могат да бъдат реализирани, при което отпада възможността за съществуването на равностранно сечение.

Правото сечение, което удовлетворява съотношенията (47) може да се превърне в обратно, удовлетворяващо съотношенията (49) при определени условия, илюстрирани чрез фиг.1 и фиг.3.



Фиг.3. Обратно сечение на срязвания слой

От фиг.1 се вижда, че равенството  $a = t$  е постижимо, ако т. D се придвижи до съвпадане с т. F, което отговаря на условието

$$AF = 0,5AE = S . \quad (50)$$

Съгласно [4] и фиг.3

$$AE = AD = 2R \sin \kappa_r^\circ , \quad (51)$$

при което, след заместване на (51) в (50),

$$S = R \sin \kappa_r^\circ . \quad (52)$$

Ако през върха С на неизрязаната част от обработената повърхнина се прекара линия, перпендикулярна на OD до пресичането и в т.В с окръжността с център O, може да се приеме, че очерталият се контур ABCD представлява вида на обратното сечение на срязвания слой, при което  $AD=BC=S=b$  и  $a=t$ . Основания за такова приемане е обстоятелството, че разликата между дълбочините на рязане от фиг.3 и фиг.1 е теоретичната височина на грапавините  $R_z$ , която, отнесена към големината на  $t$ , може да се пренебрегне. Полученото сечение е гранично, тъй като с нарастването на подаването  $S$  над стойността по форм.52 формата му продължава да е обратна.

Нарастването на  $S$  се ограничава от условието за постигане на желана височина на грапавините [3], при което ограничителното условие има вида

$$R \sin \kappa_r^\circ \leq S \leq 2Rz \sqrt{\frac{2R}{Rz} - 1} . \quad (53)$$

И за двете възможни сечения винаги е в сила условието  $b > a$ .

При право сечение съществува теоретичната възможност  $b=S$  при условие, че  $t=R_z$ , което не намира практическо приложение.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Стругването с кръгли режещи пластини се характеризира със сложна форма на сечението на срязвания слой и познаването на физичните му размери и особено

на неговата дебелина е важна предпоставка за правилен избор на режимни условия и радиус на пластините.

Изведени са зависимости, които позволяват прецизно определяне параметрите на срязвания слой и в частност дебелината му за всяка точка от режещия ръб. Това позволява да се анализират възможностите за стружкоотделяне по цялата му активна част.

Анализирани са условията за възникване на права и обратна форма на сечението на срязвания слой и са определени границите за съществуването им в зависимост от подаването като фактор, от който зависи производителността на обработването.

Въз основа на получените зависимости е необходимо да се извършат експериментални изследвания, които да доведат до практически приложими резултати, позволяващи прогнозиране на технико-икономическите параметри при струговане с кръгли пластини.

### ЛИТЕРАТУРА

[1] Бобров В.Ф. Основы теории резания металлов. Москва, Машиностроение, 1975, 340.

[2] Велчев С.Д. Рязане на металите. Русе, печ.база при РУ „А.Кънчев”, 1993, 317.

[3] Исаев А.И. Процес обработвания повърхностного слоя при обработка металлов резанием. М., Машгиз, 1950, 358.

[4] Кисьов И.Д. Наръчник на инженера. София, Техника, 1970.

[5] Костадинов В.С., С.В.Костадинов. Относно размерообразуването при комбинирано обработване с плаващ режещ блок. Сп. "Механика на машините", бр.48, Варна, 2003.

[6] Костадинов В.С., С.В.Костадинов, Г.Х.Димитрова. Комбиниран инструмент за ППД. Сп. "Механика на машините", бр.48, Варна, 2003.

[7] Филоненко С.Н. Резание металлов. Киев, Техника, 1975, 227.

### За контакти:

Доц. д-р Михаил Кършаков, Катедра "Технология на машиностроенето и металоорежещи машини", Русенски университет "Ангел Кънчев", тел.: 082-888 309, e-mail: [mkarshakov@ru.acad.bg](mailto:mkarshakov@ru.acad.bg)

**Докладът е рецензиран.**