

Параметри на срязвания слой при струговане с кръгли режещи пластини

доц. д-р. М.К.Кършаков, РУ „Ангел Кънчев” Русе

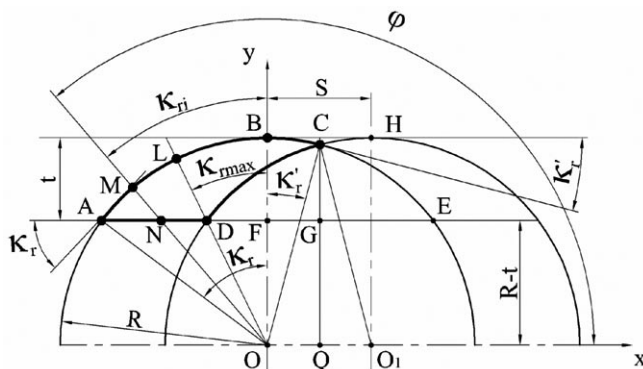
Анотация: Изведени са зависимости, които показват връзката между площта, физичните и технологичните размери на срязвания слой в зависимост от радиуса на пластините. Въведени са ограничителни условия, определящи вида на сечението на срязвания слой.

Ключови думи: срязван слой, размери на срязвания слой, установъчни ъгли, дълбочина на рязане, подаване.

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.

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 . Явленията, съпровождащи стружкоотделянето са в пряка зависимост както от стойностите на тези параметри, така и от формата на сечението на срязвания слой. На фиг. 1 тя е очертана от контура $ABCD$, при което режещият контур на пластината е разделен от условия върх 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 радиуса с център т. O и контура $ABCD$. Текущата ѝ големина $a_i = MN$ се изменя от 0 в точките A и C до a_{max} в т. D .

Текущите стойности на главния установъчен ъгъл κ_n и на спомагателния установъчен ъгъл κ'_n нарастват от нула, във върховата точка B , съответно до κ_r и κ'_r в точките A и C .

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 $\angle OCQ = \arcsin Q/O$. От построението се вижда, че $OQ = \frac{OO_1}{2} = \frac{S}{2}$, а $OC = R$.

При това се получава

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

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

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

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

където κ_r и κ_r^{\prime} са в радиани.

Тогава

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

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

Променливият 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

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

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

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

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

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:

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

За точно определяне на площта на срязвания слой, площта f_3 може да бъде получена 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

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

Зависимости (14) и (17) се заместят 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

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

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

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

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 в полярни координати на системата xOy . При това, правоъгълните координати са

$$x = r \cdot \cos \varphi \quad \text{и} \quad y = r \cdot \sin \varphi \quad (26)$$

където φ е ъгълът, заключен между положителното направление на полярната ос Ox и радиус-вектора r .

За определяне на r в участъка AD от посочения контур се използва уравнението на правата

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

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

$$r = \frac{R-t}{\sin \varphi} \quad (28)$$

Съгласно изложения подход

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

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

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

Ако ъгловият параметър φ се изрази чрез главния установъчен ъгъл

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

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

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

От фиг.1

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

За определяне на радиус-вектора r в участъка DC се използва уравнението на окръжността с център т. 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

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

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

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

И в този случай след заместване на ъгловия параметър φ във формула (3)7 се получава

за участъка LB от главния режещ ръб φ 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 $\varphi = 90 - \kappa_{ri}^{\circ}$, при което

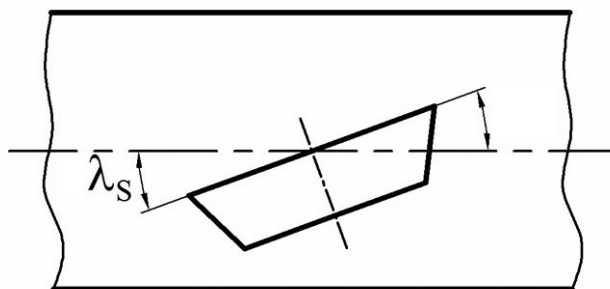
$$a_i = R - S \cdot \sin \kappa_r^{\circ} - \sqrt{R^2 - S^2 \cos^2 \kappa_r^{\circ}}, \quad (39)$$

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

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

$$b = \frac{b_0}{\cos \lambda_s}, \tag{41}$$

при което

$$a_{cp} = \frac{R \cdot \kappa_r' \cos \lambda_s - \frac{180S}{\pi R} (0,5 - t) \cos \lambda_s}{\kappa_r^\circ + \kappa_r'}. \tag{42}$$

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

право сечение, при което

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

обратно сечение, при което

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

равностранно сечение, при което

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

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

$$a > t, \quad b < S; \tag{46}$$

$$a < t, \quad b > S. \tag{47}$$

При обратно и при равностранно сечение

$$a > t \text{ и } b < S. \tag{48}$$

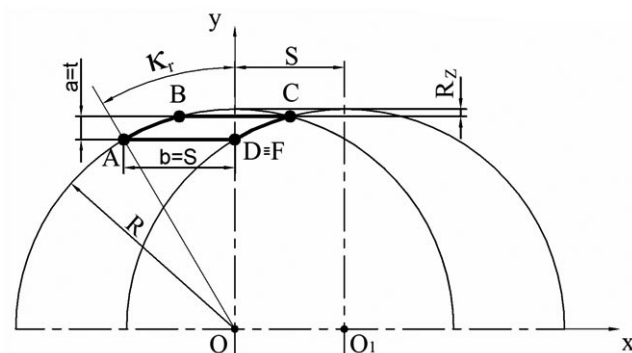
Необходимо е да се подчертае, че при обратно сечение неравенствата (49) са в сила само ако главният и спомагателният режещи ръбове запазват функциите си. Но при такова сечение функциите на режещите ръбове се разменят, при което

$$a = t \text{ и } b = S. \tag{49}$$

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),

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

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 $b > a$.

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.

Литература

1. Бобров В.Ф. Основы теории резания металлов. Москва, Машиностроение, 1975, 340 с.
2. Велчев С.Д. Рязане на металите. Русе, печ.база при РУ „А.Кънчев”, 1993, 317 с.
3. Исаев А.И. Процесс обработвания повърхностного слоя при обработка металлов резанием. М., Машгиз, 1950, 358с.
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 с.