

Г. С. МИНАСЯН, А. Г. САРКИСЯН, М. С. ТЕР-МАРКАРЯН

К ВОПРОСУ ПЕРЕМЕННОСТИ ТОЛЩИНЫ СРЕЗАЕМОГО СЛОЯ ПРИ ТОЧЕНИИ БЕЗВЕРШИННЫМ РЕЗЦОМ БРМ-1

Специфические особенности безвершинных (типа БРМ-1) однокромочных и обычных (при $\lambda \neq 0$) резцов хорошо освещены в работах [1, 2, 3], где, в частности, установлено, что в отличие от обычных резцов ($\lambda = 0$) толщина срезаемого слоя по длине режущей кромки переменна. Она уменьшается по мере удаления от обрабатываемой поверхности и на обработанной достигает своего минимального значения.

Как известно, под толщиной срезаемого слоя подразумевается расстояние, измеренное по нормали между последовательными положениями поверхности резания [3].

Так как толщина среза является одним из основных параметров процесса резания, то надо полагать, что ее изменение при обработке вышеуказанными инструментами должно привести к соответствующим изменениям выходных параметров поверхности резания. Поэтому аналитическое определение толщины среза в каждой точке вышеуказанной поверхности представляет определенный интерес.

На рис. 1 изображена поверхность резания в двух последовательных положениях, которая, как известно [1], в нормальном сечении представляет собой гиперболу.

Расстояние между точками кривых в горизонтальном направлении равно величине подачи, а углы φ и ψ соответствуют углам атаки и наклона режущей кромки резца БРМ-1.

Уравнение гиперболы для произвольной точки $M(x_0, y_0)$ будет

$$\frac{x_0^2}{a^2} - \frac{y_0^2}{b^2} = 1 \quad (1), \quad \text{где } a = r = R - t. \quad (2)$$

Для определения величины мнимой оси (b) исходим из следующего граничного условия: при $x = R$

$$y = AB_1 = O_1B_1 \cdot \operatorname{tg} \psi = OB \cos \varphi \operatorname{tg} \psi,$$

$$\text{где } OB = \sqrt{R^2 - r^2}.$$

Формулу (1) представим в следующем виде:

$$\frac{R^2}{r^2} - \frac{(R^2 - r^2) \cos^2 \varphi \cdot \operatorname{tg}^2 \psi}{b^2} = 1,$$

$$\text{откуда } b = r \cdot \cos \varphi \operatorname{tg} \psi = a \cos \varphi \operatorname{tg} \psi. \quad (3)$$

Чтобы определить расстояние между последовательными положениями поверхности резания по нормали (MN), необходимо из произвольной точки $M(x_0; y_0)$ провести нормаль, найти уравнение этой нормали и, решив его с уравнением гиперболы Γ_1 , определить координаты точки пересечения $N(x; y)$, что в конечном итоге позволит определить толщину срезаемого слоя в данной точке.

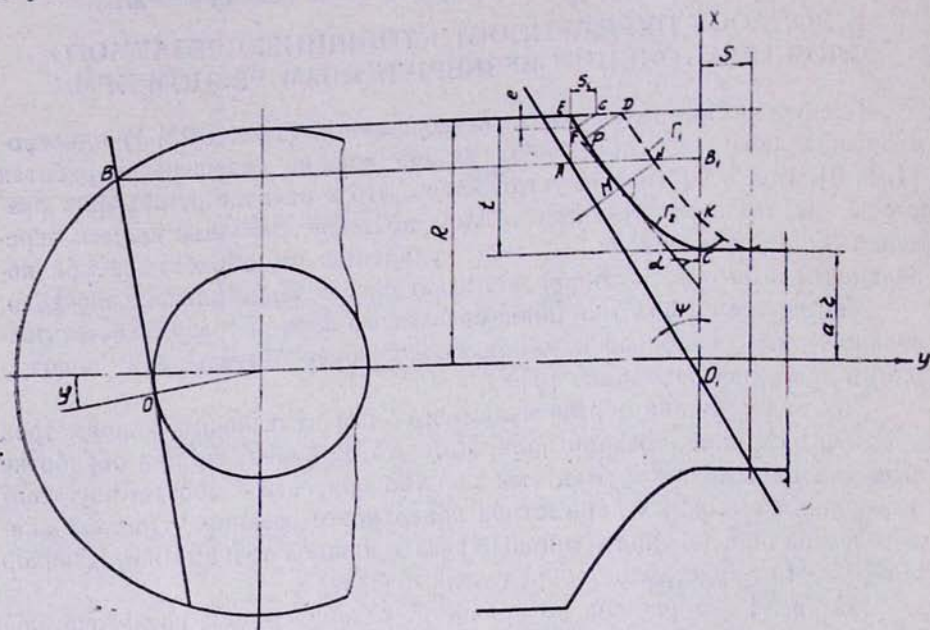


Рис. 1. Расчетная схема по определению толщины срезаемого слоя.

Дифференцируя (1), определим производное в точке $M(x_0; y_0)$

$$\frac{dy}{dx} = \frac{b^2}{a^2} \cdot \frac{x_0}{y_0} = \operatorname{tg} \alpha.$$

Уравнение нормали, проходящей через точку $M(x_0; y_0)$, будет

$$\frac{y - y_0}{x - x_0} = -\operatorname{ctg} \alpha = -\frac{y_0}{x_0} \cdot \frac{a^2}{b^2},$$

обозначая

$$\frac{y_0}{x_0} \cdot \frac{a^2}{b^2} = \tau,$$

получим

$$y = y_0 + (x_0 - x) \tau. \quad (4)$$

Так как гипербола Γ_1 смещена по отношению гиперболы Γ_2 на величину подачи (по оси y), то можно написать

$$\frac{x^2}{a^2} - \frac{(y + s)^2}{b^2} = 1. \quad (5)$$

Координаты точки пересечения нормали с гиперболой Γ_1 определяются совместным решением уравнений (4) и (5)

$$\frac{x^2}{a^2} - \frac{[(\tau x_0 + y_0) - \tau \cdot x + s]^2}{b^2} = 1, \quad (6)$$

Обозначая $\tau x_0 + y_0 + s = m$ и решая уравнение (6), получим

$$x = \frac{-m\tau - \sqrt{m^2\tau^2 + (b^2 + m^2)\left(\frac{b^2}{a^2} - \tau^2\right)}}{\frac{b^2}{a^2} - \tau^2}. \quad (7)$$

Ордината точки N определяется из уравнения (4).

Величина нормали MN будет

$$MN = \sqrt{(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2}. \quad (8)$$

Учитывая выражение (4), можно получить

$$MN = (x - x_0) \sqrt{1 + \tau^2}. \quad (9)$$

В частном случае в точке C(a, 0) (на обработанной поверхности) толщина срезаемого слоя равняется

$$CK = x - x_0 = x - a.$$

Для точки K из уравнения (5) находим

$$\frac{x^2}{a^2} - \frac{s^2}{b^2} = 1, \quad \text{так как } y_k = 0,$$

отсюда

$$x = a \sqrt{1 + \frac{s^2}{b^2}}.$$

Следовательно,

$$CK = a \sqrt{1 + \frac{s^2}{b^2}} - a \approx a \left(1 + \frac{s^2}{2b^2}\right) - a = \frac{as^2}{2b^2}.$$

так как $s \ll b$,

подставляя значения осей (a, b) из выражения (2) и (3), получим

$$CK = \frac{s^2}{(D - 2t) \cos^2 \varphi \operatorname{tg}^2 \psi} = \frac{s^2}{d \cos^2 \varphi \operatorname{tg}^2 \psi}. \quad (10)$$

Анализ полученных выражений (7) и (10) непосредственно показывает, что толщина срезаемого слоя при обработке безвершинными резцами зависит от подачи, глубины резания, исходного диаметра заготовки, от геометрических параметров резца (φ , ψ) и в значительной степени от местонахождения выбранной точки M(x_0 ; y_0) на поверхности резания.

Выведенные зависимости для определения толщины срезаемого слоя справедливы лишь на длине СР, где проведенная нормаль в любой точке этого отрезка пересекается с гиперболой Γ_1 . А на отрезке РЕ, где любая нормаль пересекает прямую ЕД, толщина срезаемого слоя определяется следующим образом. Выбираем произвольную точку F на этом отрезке, удаленном от обрабатываемой поверхности на расстояние e , и проводим нормаль.

Координаты точки F будут

$$x_F = R - e, \quad \text{следовательно,}$$

$$y_F = \frac{b}{a} \sqrt{(R - e)^2 - a^2} = \cos \varphi \operatorname{tg} \psi \sqrt{(R - e)^2 - r^2}.$$

Координаты точки пересечения G будут

$$x_G = R$$

$$y_G = AB_1 - s_1 = \sqrt{R^2 - r^2} \cos \varphi \operatorname{tg} \psi - s_1,$$

где s_1 — величина переменная и может изменяться в пределах от нуля до величины подачи.

Уравнение нормали к гиперболе Γ_2 в точке F будет

$$\frac{y - y_F}{x - x_F} = - \frac{y_F}{x_F} \cdot \frac{a^2}{b^2}.$$

Так как точка G принадлежит этой прямой, то, подставляя координаты этой точки в уравнение нормали, устанавливаем связь между неизвестными величинами e и s_1 .

После небольших упрощений получаем

$$\cos \varphi \operatorname{tg} \psi (\sqrt{(R - e)^2 - r^2} - \sqrt{R^2 - r^2}) = \frac{e \sqrt{(R - e)^2 - r^2}}{(R - e) \cos \varphi \operatorname{tg} \psi} - s_1. \quad (11)$$

Задаваясь величиной e , можно определить соответствующее значение s_1 , следовательно, и ординату точки пересечения нормали с прямой ЕД. Имея координаты точек F и G, можно вычислять расстояние между ними по (8), т. е. толщину среза на отрезке РЕ.

Как видно из рис. 1, максимальная толщина срезаемого слоя соответствует точке Р, где проведенная нормаль пересекает гиперболу Γ_1 на обрабатываемой поверхности (в точке D).

Из рис. 1 следует, что для точки D $s_1 = s$, подставляя значение s_1 в уравнение (11), определяем расстояние точки Р от обрабатываемой поверхности (e), с помощью которой определяются координаты данной точки, затем и величина максимальной толщины среза.

Для экспериментальной проверки выведенных зависимостей (7, 9, 11) нами были получены поверхности резания на опытных образцах, обработанные безвершинным резцом на устройстве для получения корня стружки (а. с. 419324). Далее, образцы разрезались в радиальном

направлении для приготовления микрошлифов поверхности резания в нормальном сечении. Контуры этих поверхностей были очерчены на миллиметровой бумаге с использованием прибора ПМТ-3 в масштабе 100:1.

Смещением контура поверхности резания на величину и по направлению подачи появляется возможность непосредственного измерения толщины среза в любой точке.

В табл. 1 приведены расчетные и экспериментальные значения толщины срезаемого слоя на разных уровнях поверхности резания при условии $s = 0,195$ мм/об; $t = 1,0$ мм, $R = 18,0$ мм, $\psi = 25^\circ$, $\varphi = 8^\circ$

Таблица 1

x_0 мм	17,0	17,1	17,2	17,3	17,4	17,5	17,6	17,7	17,8	17,9
$\rho_{\text{расч.}}$ мм	0,015	0,053	0,069	0,072	0,089	0,092	0,103	0,106	0,107	0,110
$\rho_{\text{экс.}}$ мм	—	0,050	0,065	0,075	0,090	0,095	0,100	0,105	0,115	0,115

Вычисление произведено на десяти разных уровнях поверхности резания с шагом 0,1 мм.

Данные таблицы показывают, что толщина среза, как и полагалось, величина переменная и по мере удаления от обрабатываемой поверхности наблюдается значительное ее уменьшение, в то время как интенсивность ее изменения резко возрастает. Как было указано, максимальная толщина среза соответствует точке Р и определяется уравнением (11) при условии $s_1 = s = 0,195$ мм. Соответствующие вычисления были проведены на ЭВМ «Наири-2».

При данных параметрах резания было получено

$$e = 0,09207 \text{ мм}, x_F = 17,90793 \text{ мм}, \rho_{\text{расч.}} = 0,1114 \text{ мм}, \rho_{\text{экс.}} = 0,115 \text{ мм}.$$

Дальнейшее уменьшение величины e (увеличение абсциссы выбранной точки) приводит к тому, что толщина среза опять начинает уменьшаться и при $e=0$ (точка Е) становится равным нулю.

В частности, при условии $s_1 = \frac{s}{2} = 0,0975$ мм; $e = 0,04625$ мм, а толщина среза $\rho_{\text{расч.}} = 0,05616$ мм. Следовательно, при отходе от обрабатываемой поверхности толщина среза сначала увеличивается и, достигая своего максимального значения, начинает падать.

Как видно из таблицы, расчетные и экспериментальные данные совпадают, что подтверждает правильность выведенных зависимостей. Некоторые отклонения (не более $\pm 3,5\%$) объясняются точностью измерения $\rho_{\text{экс}}$ между точками.

Для более полного изучения данного вопроса нами были проведены исследования по распределению микротвердости на поверхности резания (рис. 2).

Эксперименты проводились при указанных условиях резания ($V = 30$ м/мин) на сталях 20Х, 40Х и на железе Армко.

В отличие от работы обычным резцом, когда распределение микротвердости на поверхности резания равномерное [4], при работе безвершинным резцом упомянутая закономерность нарушается.

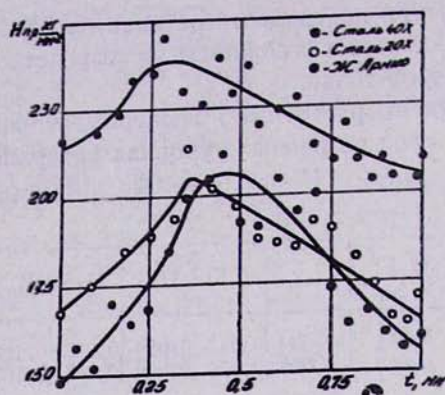


Рис. 2. Характер распределения микротвердости на поверхности резания.

Как видно из рис. 2, зависимость $H_{\text{пр}} = f(t)$ имеет горбообразный характер: максимальное значение кривой смещено в сторону обрабатываемой поверхности по отношению к середине контакта, причем чем прочнее материал заготовки, тем больше это расстояние.

С увеличением прочностных характеристик обрабатываемых металлов контакт задней поверхности резца уменьшается и тем самым фактическая схема (кинематика) резания приближается к расчетной.

Исходя из этого и на основе полученных данных можно утверждать, что с уменьшением контакта задней поверхности резца влияние толщины среза на упрочнение поверхности резания становится более решающим.

ЛИТЕРАТУРА

1. М. В. Касьян, Г. С. Минасян. Особенности резания титановых сплавов безвершинными резцами. Ереван, 1975.
2. В. В. Подгорков и др. Исследование условий рационального применения однокромочных резцов для чистового точения. «Вопросы техники и технологии». Вып. 5, т. 122, Иваново, 1973.
3. В. Ф. Бобров. Влияние угла наклона главной режущей кромки инструмента на процесс резания металлов. Машгиз, 1962.
4. М. В. Касьян, Г. А. Арутюнян. К вопросу об упрочнении поверхностного слоя в функции от параметров среза. Физика резания металлов. Вып. I, Ереван, 1971.