

Г. С. МИНАСЯН

ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ И УГЛЫ БЕЗВЕРШИННОГО РЕЗЦА БРМ-1 В ПРОЦЕССЕ РЕЗАНИЯ

Резкое увеличение масштабов производства, обеспечение непрерывно возрастающих требований к точности и качеству обработанной поверхности требуют радикальных средств, дальнейшего существенного изменения и создания принципиально новых режущих инструментов, способных в какой-то мере восполнить существующий пробел.

Важным условием получения качественно обработанных поверхностей является исключение из конструкции резца его «слабого места» — вершины. Находясь в условиях высокого теплового и динамического напряжения при резании, вершина резца фактически лимитирует производительность, а качество поверхности обеспечивается лишь в узкой зоне режимного поля. Поэтому создание безвершинного резца в какой-то мере восполняет существующий пробел и представляет несомненный теоретический и практический интерес.

В отличие от обычных резцов безвершинные резцы работают всегда в условиях свободного резания. Для определения статических геометрических параметров используются две плоскости: основная и секущая, отсутствует плоскость резания, использование которой вносит неясность, так как она не может проходить через главную режущую кромку, как это предусмотрено определением, ни при касании с конволютной винтовой поверхностью резания, образующейся при работе резцом с углом наклона режущей кромки, не равным нулю, ни при касании с архимедовой винтовой поверхностью, образующейся при работе резцом с углом наклона режущей кромки, равным нулю, в особенности, если рассматривать безвершинный резец в процессе резания. В каждой точке режущей кромки в зависимости от вида и параметров винтовой поверхности плоскость резания имеет свое направление [1].

Как и обычные резцы, безвершинный резец состоит из двух основных частей: головки — рабочей части и тела (рис. 1).

Пересечение передней и задней поверхностей образует режущую кромку, выполняющую основную работу резания. В отличие от обычных резцов отсутствует вершина, а следовательно, вспомогательная задняя грань и вспомогательная режущая кромка.

Для определения углов резца как геометрического тела воспользуемся рис. 2, где представлен правый безвершинный резец. Угол ата-

ки φ — угол между фронтальной плоскостью проекций и проекцией режущей кромки на профильную плоскость проекции. Угол наклона передней поверхности ψ есть угол между проекцией режущей кромки на фронтальную плоскость проекций и следом профильной плоскости проекций. Задний угол в плане α_n — угол между следом задней грани на горизонтальную плоскость проекций (опорная плоскость) и следом фронтальной плоскости проекций.

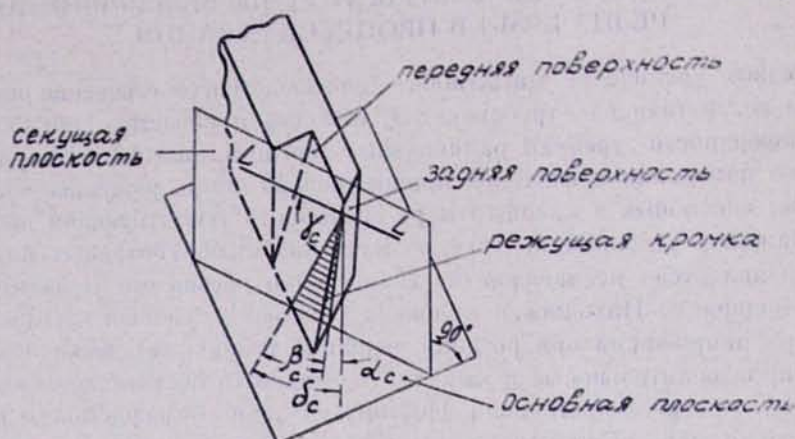


Рис. 1. Элементы реза.

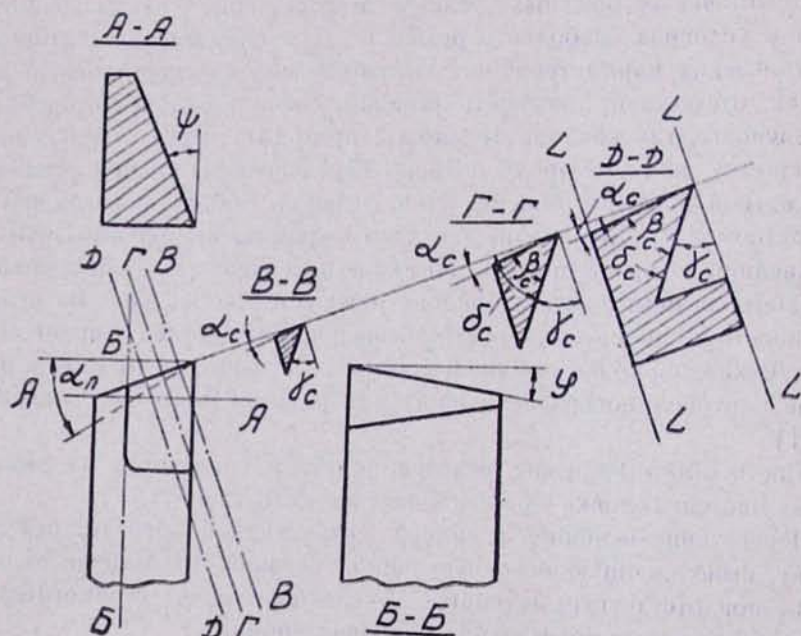


Рис. 2. Схема углов реза в секущей плоскости и в плане.

Как и в обычных резцах, основные статические углы α_c , β_c , γ_c и δ_c резца измерены в секущей плоскости, перпендикулярной основной плоскости и проекции режущей кромки на основную плоскость (разрез по В—В, Г—Г, Д—Д, рис. 1 и 2).

Задний угол α_c —это угол между следом задней грани на секущую плоскость и следом плоскости, проходящей через режущую кромку, перпендикулярно основной и секущей плоскостям.

Угол заострения β_c —это угол между передней и задней гранями резца.

Передний угол γ_c —это угол между передней гранью резца и следом плоскости, проведенной через режущую кромку, перпендикулярно секущей плоскости. След основной плоскости в секущей плоскости Д—Д обозначен через $L-L$.

Угол резания δ_c есть угол между передней гранью резца и плоскостью, проходящей через режущую кромку, перпендикулярно секущей и основной плоскостям. В отличие от обычных резцов передний угол безвершинного резца всегда положительный.

Очевидно, что

$$\delta_c = \alpha + \beta,$$

$$\alpha + \beta + \gamma = 90^\circ.$$

Для определения ширины среза $b=CB'$ (рис. 3), являющейся рабочей длиной режущей кромки, достаточно определить длину режущей кромки между крайними точками соприкосновения ее с поверхностью резания. Проекцию ширины среза на профильную плоскость проекций нетрудно определить из рис. 4:

$$b_1 = CB = \sqrt{R^2 - r^2}.$$

Из прямоугольного треугольника $CB B'$ определим (рис. 3)

$$b = \frac{b_1}{\cos \phi_1}.$$

Нетрудно выразить $\cos \phi_1$ через известные углы ϕ и φ из прямоугольных треугольников $CB B'$, $C_1 B B'$ и $CC_1 B$.

$$\operatorname{tg} \phi_1 = \operatorname{tg} \phi \cdot \cos \varphi,$$

$$\cos \phi_1 = \frac{1}{\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \phi \cdot \cos^2 \varphi}}.$$

Рабочая длина режущей кромки равна

$$b = b_1 \sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \phi \cdot \cos^2 \varphi}$$

На величину рабочей длины режущей кромки большое влияние оказывают диаметры обрабатываемой и обработанной поверхности, глубина резания, а также величина угла наклона передней поверхности ϕ . С увеличением угла наклона передней поверхности ϕ рабочая длина режущей кромки несколько увеличивается (табл. 1), а с увеличением

глубины резания (табл. 3) и радиуса обработанной поверхности — резко увеличивается. Однако отношение рабочей длины режущей кромки к глубине резания $\frac{b}{t} = \sqrt{\frac{R+r}{R-r}}$ с увеличением радиуса обработанной поверхности растет, а с увеличением глубины резания уменьшается. Так, например, для рассмотренного случая при увеличении угла ψ от 0 до 30° отношение $\frac{b}{t}$ увеличивается в 1,15 раза, в то время как при

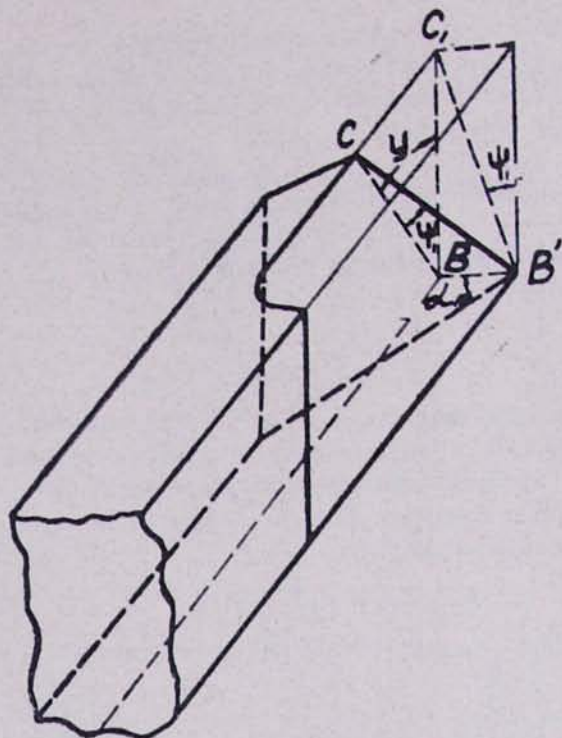


Рис. 3. Расчетная схема для определения рабочей длины режущей кромки.

увеличении глубины резания t от 1 до 20 мм при радиусах обработанных поверхностей от 10 до 100 мм отношение $\frac{b}{t}$ уменьшается от 3,25 до 4,3 раза, а при увеличении радиуса обработанной поверхности от 10 до 100 мм при глубине резания от 1 до 20 мм отношение $\frac{b}{t}$ увеличивается от 3,1 до 2,35 раза.

В отличие от безвершинных резцов у обычных резцов отношение $\frac{b}{t} = \frac{1}{\sin \varphi}$ всегда остается постоянным при однозначном главном угле в плане φ .

Величина рабочей длины режущей кромки меньше своей проекции

$$\frac{CE}{OE} = \operatorname{tg} \Theta,$$

$$CE = CD - ED,$$

$$CD = b_1 \cdot \cos \varphi,$$

$$ED = BF = r \cdot \sin \varphi.$$

Подставив значения CD и ED , получим

$$CE = b_1 \cdot \cos \varphi - r \cdot \sin \varphi,$$

$$OE = EF + FO = b_1 \cdot \sin \varphi + r \cdot \cos \varphi.$$

Разделив первое на второе, получим

$$\operatorname{tg} \Theta = \frac{b_1 \cdot \cos \varphi - r \cdot \sin \varphi}{b_1 \cdot \sin \varphi + r \cdot \cos \varphi},$$

$$AB = b_1 \left(\sin \varphi + \cos \varphi \frac{b_1 \cdot \cos \varphi - r \cdot \sin \varphi}{b_1 \cdot \sin \varphi + r \cdot \cos \varphi} \right).$$

Проекцию рабочей длины режущей кромки $B'B''$ на горизонтальную плоскость проекций определим из прямоугольного треугольника CBB' (рис. 3), где $B'B''$ на рис. 4 равно BB' на рис. 3

$$B'B'' = CB \cdot \operatorname{tg} \psi_1.$$

Подставив значения CB и $\operatorname{tg} \psi_1$, получим

$$B'B'' = b_1 \cdot \cos \varphi \cdot \operatorname{tg} \psi_1.$$

Величину заднего угла в плане α_n определим из прямоугольного треугольника $A'B''B'_1$

$$\frac{A'B''}{B'B''} = \operatorname{tg} \alpha_n,$$

где $A'B'' = AB$.

Подставив значения AB , $B'B''$ и произведя ряд преобразований, получим величину заднего угла в плане

$$\operatorname{tg} \alpha_n = \frac{b_1}{\cos^2 \varphi \cdot \operatorname{tg} \psi_1 (r + b_1 \cdot \operatorname{tg} \varphi)},$$

где

$$b_1 = \sqrt{R^2 - r^2}.$$

В табл. 1 и 2 приведены величины заднего угла в плане.

На основании данных таблиц можно сделать следующие выводы.

1. Величина заднего угла в плане практически не зависит от угла атаки, а в зависимости от угла наклона режущей грани изменяется в весьма значительных пределах. При $\psi = 0$ имеет максимальное значение; по мере увеличения уменьшается.

2. С увеличением глубины резания величина заднего угла в плане увеличивается, а с увеличением радиуса обработанной поверхности уменьшается.

3. В отличие от обычных резцов, где задний угол аналитически не рассчитывается, а выбирается в зависимости от условий работы, у

Таблица 1

Влияние угла наклона передней поверхности ψ и угла атаки φ на задний угол в плане при глубине резания $t=2$ мм и радиуса обработанной поверхности $r=30$ мм

φ	ψ						
	0	8	16	18	20	25	30
0	90°	69°16'	52°20'	48°49'	45°34'	38°32'	32°45'
4	90	68 53	51 45	48 13	44 59	37 57	32 12
8	90	68 41	51 29	47 57	44 42	37 41	31 57
12	90	68 40	51 27	47 55	44 40	37 39	31 55
16	90	68 51	51 43	48 11	44 51	37 55	32 10
18	90	69 1	51 57	48 26	45 11	38 9	32 24
20	90	69 14	52 15	48 45	45 30	38 28	32 38
25	90	69 58	53 21	49 51	46 38	39 34	33 43
Рабочая длина режу- щей кромки в мм b_1	11,14	11,15	11,6	11,7	11,85	12,25	12,8
Отношение b_1/t	5,57	5,575	5,8	5,85	5,925	6,125	6,4

Таблица 2

Влияние глубины резания и радиуса обработанной поверхности на задний угол в плане α_n при угле наклона передней поверхности $\psi=25^\circ$ и угле атаки $\varphi=8^\circ$

$t, \text{мм}$	$r, \text{мм}$							
	10	20	30	40	50	60	80	100
1	43°18'	33°48'	28°46'	25°30'	23°9'	21°21'	18°45'	16°56'
2	52 59	43 15	37 40	33 49	31 1	28 45	25 30	23 8
3	58 27	49	43 22	39 18	36 15	33 48	30 11	27 33
4	62 2	53 6	47 20	43 18	40 9	37 41	33 48	30 58
5	64 40	56 3	50 26	46 24	43 15	40 43	36 47	33 49
6	66 44	58 24	53	48 58	45 50	43 17	39 16	36 13
8	69 44	62 2	56 53	53	49 54	47 20	43 18	40 9
10	71 49	64 43	59 48	56 1	53 1	50 30	46 24	43 14
15	75 13	69 4	64 39	61 14	58 24	56 1	52 7	49
20	77 47	71 49	67 51	64 41	62 2	59 47	56 1	53 1

безвершинных резцов заранее можно планировать и получить ее величину расчетным путем.

Углы резца в процессе резания

Через различные точки O_2 , O_3 , O_4 и C режущей кромки, лежащие на поверхности резания, проведем нормальные секущие плоскости, параллельные образующей обработанной поверхности (рис. 4 и 5). Найдем кривые линии, получаемые при пересечении поверхности резания с нормальными секущими плоскостями на профильной плоскости проек-

Влияние радиуса обработанной поверхности r и глубины резания t на величину рабочей длины режущей кромки при угле наклона передней поверхности $\phi=25^\circ$, угле атаки $\varphi=8^\circ$ и заднем угле в плане $\alpha_n=62^\circ$

$t, \text{мм}$		Радиус обработанной поверхности $r, \text{мм}$							
		10	20	30	40	50	60	80	100
1	b_1	5,04	7,05	8,63	9,9	11	12,1	14,0	15,6
	$\frac{b_1}{t}$	5,04	7,05	8,63	9,9	11	12,1	14,0	15,6
2	b_1	7,3	10,1	12,25	14,1	15,7	17,2	19,8	22,1
	$\frac{b_1}{t}$	3,65	5,05	6,125	7,05	7,85	8,6	9,9	11,05
3	b_1	9,2	12,5	15,1	17,4	19,3	21,1	24,4	27,1
	$\frac{b_1}{t}$	3,06	4,16	5,03	5,8	6,4	7,03	8,13	9,03
4	b_1	10,7	14,6	17,6	20,1	22,4	24,5	28,2	31,4
	$\frac{b_1}{t}$	2,67	3,65	4,4	5,02	5,6	6,1	7,05	7,8
5	b_1	12,3	16,5	19,8	22,7	25,2	27,5	31,6	35,2
	$\frac{b_1}{t}$	2,46	3,3	3,96	4,54	5,04	5,5	6,32	7,04
6	b_1	13,7	18,3	21,9	25,0	27,7	30,2	34,7	38,6
	$\frac{b_1}{t}$	2,28	3,05	3,65	4,16	4,6	5,03	5,8	6,43
8	b_1	16,5	21,5	25,7	29,2	32,3	35,2	40,3	44,9
	$\frac{b_1}{t}$	2,06	2,7	3,2	3,65	4,04	4,4	5,04	5,6
10	b_1	19	24,6	29,1	33	36,5	39,6	45,3	50,4
	$\frac{b_1}{t}$	1,9	2,45	2,9	3,3	3,65	3,96	4,53	5,04
15	b_1	25,3	31,6	36,9	41,5	45,7	49,5	56,4	62,5
	$\frac{b_1}{t}$	1,68	2,1	2,46	2,76	3,04	3,3	3,76	4,16
20	b_1	31,1	38,1	44	49,2	53,9	58,3	66	73
	$\frac{b_1}{t}$	1,55	1,9	2,2	2,46	2,69	2,91	3,3	3,65

ций. Так как фронтальная проекция получается уже при задании фронтальной проекции нормальных секущих плоскостей $CC'; O_4O_4', O_3O_3'$ и O_2O_2' , то по ним найдем точки пересечения со следом задней грани на горизонтальную плоскость проекций $C'; O_4'; O_3'$ и O_2' ; таким же образом найдем проекции секущих плоскостей на профильную плоскость проекций. Полученные сечения на профильной плоскости проекций—они заштрихованы—не что иное, как углы заострения β в рассматриваемых точках, лежащих на режущей кромке.

После этого находим их истинную величину, для чего строим их проекцию на дополнительную плоскость, параллельную следам нормальных секущих плоскостей на фронтальной плоскости проекций. След задней грани и след передней грани резца в данном случае являются O_4M_4 и O_4H_4 , а угол между ними есть угол заострения в процессе резания β_p .

Угол, заключенный между следом задней грани на нормальную секущую плоскость и касательной в нормальной секущей плоскости, проведенный к окружности в точке касания режущей кромки с поверхностью резания, полученной при пересечении поверхности резания с

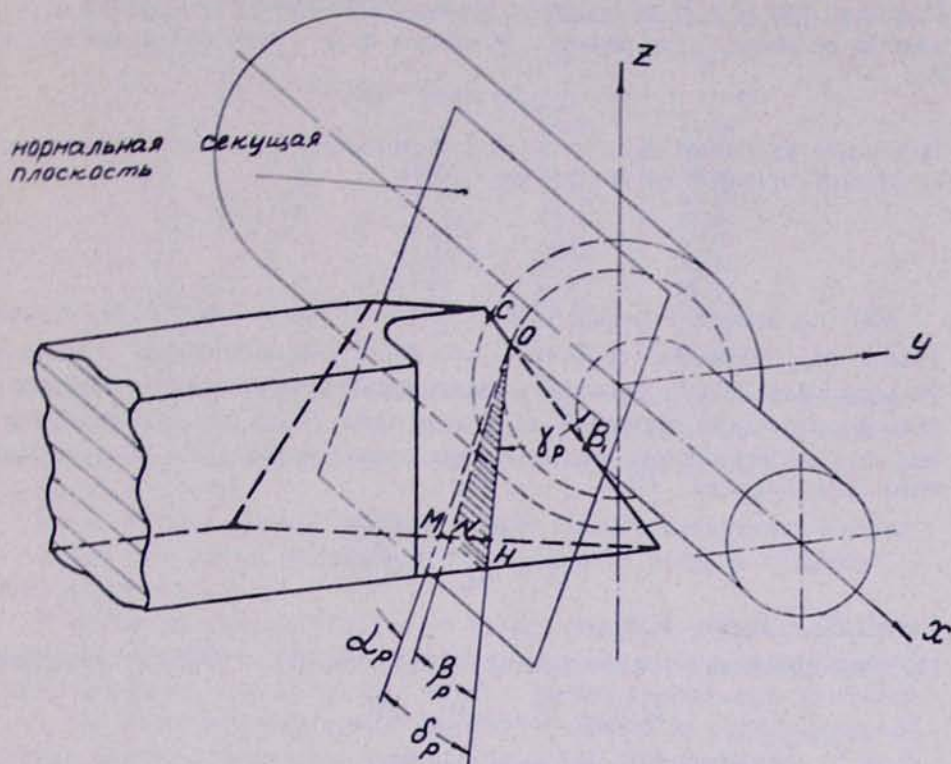


Рис. 5. Схема для определения углов реза в процессе резания.

нормальной секущей плоскостью, есть задний угол z_p в процессе резания.

Из прямоугольного треугольника O_4NH_4 определим величину угла резания δ_p .

$$\frac{NH_4}{NO_4} = \operatorname{tg} \delta_p.$$

Из прямоугольных треугольников M_4O_4O и $O_4^*N''H_4^*$ определим NH_4 и NO_4

$$NO_4 = M_4O_4 = R_4 \cdot \operatorname{tg} \theta_4,$$

$$NH_4 = N''H_4^* = O_4^*N'' \cdot \operatorname{tg} \psi.$$

Из прямоугольного треугольника O_4E_4O определим

$$O_4E_4 = O_4^*N'' = R_4 \cdot \sin \theta_4,$$

$$NH_4 = R_4 \cdot \sin \theta_4 \cdot \operatorname{tg} \psi.$$

Угол резания δ_p равен

$$\operatorname{tg} \phi_p = \cos \Theta_4 \cdot \operatorname{tg} \phi_r,$$

где

$$\cos(\Theta_4 + \varphi) = \frac{r}{R_4}.$$

Индексы при R и Θ показывают, в какой точке режущей кромки определяем величину угла резания. В общем виде уравнение будет иметь вид

$$\operatorname{tg} \phi_{pi} = \cos \Theta_i \cdot \operatorname{tg} \phi_r.$$

Истинную величину заднего угла α_p в процессе резания определим из прямоугольного треугольника O_4NM_4'

$$\operatorname{tg} \alpha_p = \frac{NM_4'}{NO_4}.$$

NM_4' по величине равно $N''M_4' = N''H_4' - M_4'H_4'$, а $NO_4 = M_4'O_4$. Через точку M_4 проведем секущую плоскость, параллельную горизонтальной плоскости проекций (заштрихованная часть). На горизонтальной плоскости проекций получаем след GL от пересечения нормальной секущей плоскости с основной плоскостью. Из прямоугольного треугольника GLB_1'

$$\operatorname{tg} \alpha_n = \frac{LB_1'}{GL} = \frac{M_4B_2'}{M_4'H_4'}.$$

где $M_4B_2' = M_4E_4 + E_4B_2'$.

Из прямоугольных треугольников $N_4E_4O_4$, O_4E_4O и $O_4E_4B_2'$ определим

$$M_4E_4 = R_4 \cdot \sin \Theta_4 \cdot \operatorname{tg} \Theta_4,$$

$$E_4B_2' = R_4 \cdot \sin \Theta_4 \cdot \operatorname{tg} \varphi,$$

$$M_4B_2' = LB_1' = R_4 \cdot \sin \Theta_4 (\operatorname{tg} \Theta_4 + \operatorname{tg} \varphi),$$

$$GL = M_4'H_4' = \frac{R_4 \cdot \sin \Theta_4}{\operatorname{tg} \alpha_n} (\operatorname{tg} \Theta_4 + \operatorname{tg} \varphi).$$

Определим из прямоугольного треугольника $O_4N''H_4'$ значение

$$N''H_4' = R_4 \cdot \sin \Theta_4 \cdot \operatorname{tg} \phi_r,$$

подставив значения $M_4'H_4'$ и $N''H_4'$, получим

$$NM_4' = N''M_4' = R_4 \cdot \sin \Theta_4 \cdot \operatorname{tg} \phi_r - \frac{R_4 \cdot \sin \Theta_4}{\operatorname{tg} \alpha_n} (\operatorname{tg} \Theta_4 + \operatorname{tg} \varphi).$$

Соответственно из прямоугольного треугольника M_4O_4O определим

$$NO_4 = M_4O_4 = R_4 \cdot \operatorname{tg} \Theta_4.$$

Величина заднего угла в процессе резания равна

$$\operatorname{tg} \alpha_{pi} = \cos \Theta_i \cdot \operatorname{tg} \phi_r - \frac{\cos \Theta_i}{\operatorname{tg} \alpha_n} (\operatorname{tg} \Theta_i + \operatorname{tg} \varphi).$$

Во всех случаях имеем

$$\begin{aligned}\delta_p &= \alpha_p + \beta_p, \\ \delta_p + \gamma_p &= 90^\circ.\end{aligned}$$

Таблица 4

Изменение величин углов резца в различных точках режущей кромки в процессе резания

$R_1, \text{мм}$	α_p	β_p	δ_p	γ_p
70	0	20°30	20°30	69°30
68	1°10	19 50	21	69
66	2 30	19	21 30	68 30
64	3 40	18 10	21 50	68 10
62	5 20	17	22 20	67 40
60	7 10	15 40	22 50	67 10
58	9	14 20	23 20	66 40
56	12 20	11 30	23 50	66 10
54	14	10 20	24 20	65 40
52	17 27	7 20	24 47	65 13
50	24 47	0	24 47	65 13

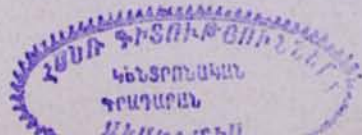
В табл. 4 приведены величины углов резца в различных точках режущей кромки R_1 в процессе резания при продольном точении изделия $D=140$ мм с глубиной резания 20 мм и статическими углами резца $\phi=25^\circ$, $\varphi=8^\circ$ и $\alpha_n=62^\circ$.

На основании данных таблицы можно сделать следующие выводы.

1. По всей длине режущей кромки все углы резца в процессе резания изменяются.
2. Величина заднего угла α_p в точке режущей кромки, лежащей на обрабатываемой поверхности, равна нулю, а угол заострения β_p и угол резания δ_p равны между собой и имеют наибольшую величину.
3. По мере перехода точки режущей кромки от обрабатываемой к обработанной поверхности задний угол α_p увеличивается от нуля до своего максимального значения, тогда как угол резания δ_p увеличивается незначительно, и в точке режущей кромки, лежащей на обработанной поверхности, становится равными $\delta_p=\alpha_p$, угол заострения β_p уменьшается, а передний угол γ_p , уменьшаясь незначительно, всегда остается намного большим, чем у обычных резцов.

В заключение необходимо отметить, что образование обработанной поверхности происходит при угле заострения β_p , равном нулю, заднем угле $\alpha_p=\delta_p=25^\circ$ и переднем угле, равном 65° . При одновременном увеличении переднего и заднего углов обтекание деформируемым металлом режущего инструмента улучшается, что, в свою очередь, влияет на снижение микротвердости и глубины деформированного слоя обработанной поверхности.

На основании проведенных сравнительных исследований можно считать установленным следующее. При прочих равных условиях глубина распространения наклепа в поверхностном слое при обработке обычными резцами в два-три раза, а микротвердость обработанной поверхности в два раза больше, чем при обработке безвершинными резцами.



ЛИТЕРАТУРА

1. Грановский Г. И., Бобров В. Ф. Кинематика и колебания при резании металла. Развитие науки о резании металлов. «Машиностроение», 1967.
2. Минасян Г. С. Безвершинный резец БРМ-1. «Машиностроитель», № 6, 1966.
3. Минасян Г. С. О некоторых преимуществах безвершинного резца БРМ-1. Изв. Академии наук Армянской ССР, XIX, № 3, 1966, серия технических наук.
4. Минасян Г. С. Определение углов установки при заточке безвершинного резца БРМ-1. «Машиностроитель», № 11, 1967.