

## О РАВНОВЕСИИ СИЛ НА РЕЗЦЕ С УМЕНЬШЕННОЙ ПЕРЕДНЕЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ

М. Ф. ПОЛЕТИКА

Общим недостатком режимов интенсивного наростообразования является плохое качество обработанной поверхности. В условиях устойчивого нароста шероховатость этой поверхности связана, в первую очередь, с трением и глубокими пластическими деформациями, которые вызывает «задняя» поверхность нароста, скользя по поверхности резания.

Все это весьма сложные процессы, анализ которых требует предварительного обстоятельного изучения общих закономерностей наростообразования на резцах с укороченной передней поверхностью, в частности, силовых взаимодействий. Многие результаты этого изучения излагались в работах автора [1, 2, 3]. В настоящей статье мы рассмотрим вопрос о статическом равновесии сил в системе резец — нарост — стружка — деталь.

Реальная картина действующих сил и моментов на резце с уменьшенной передней поверхностью весьма сложна из-за криволинейных очертаний нароста, а также из-за известной неопределенности положения поверхности сдвига вблизи вершины нароста. Упрощая эту картину теми же приемами, как мы это делаем при анализе общего случая стружкообразования, приходим к эквивалентной схеме, изображенной на рис. 1.

На этой схеме показаны силы взаимодействия между четырьмя соприкасающимися телами: резцом, наростом, стружкой и изделием. В отличие от обычной схемы с единственной плоскостью сдвига здесь между резцом и изделием располагается, помимо стружки, еще одно промежуточное тело — нарост. Силы  $N_\gamma = N'_\gamma$  и  $F_\gamma = F'_\gamma$ , действующие на передней «границе» ОВ нароста, играют по отношению к системе резец — деталь роль «внутренних» сил.

Для сил, «внешних» по отношению к указанной системе, могут быть написаны следующие уравнения статического равновесия:

$$\left. \begin{aligned} \sum X &= N_\beta \sin \beta_1 + F_\beta \cos \beta_1 + F_n - P_z = 0 \\ \sum Y &= N_\beta \cos \beta_1 - F_\beta \sin \beta_1 + N_n - R_{xy} = 0 \end{aligned} \right\} \dots \quad (1)$$

$$\sum M_0 = l_\beta N_\beta - l_n N_n - l_f N_f \cos \gamma + (OO_1 + l_f \sin \gamma) R_{xy} = 0. \quad (2)$$

В соответствии с рис. 1 здесь

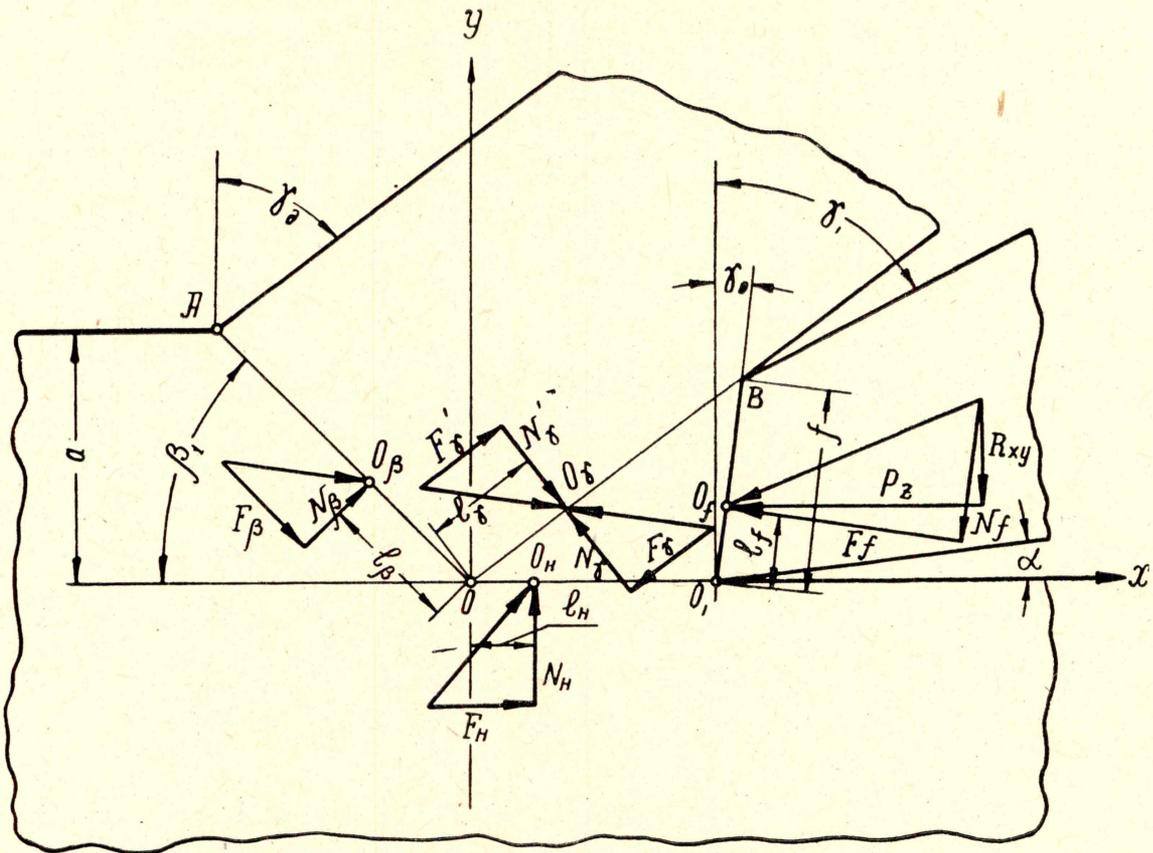


Рис. 1. Схема сил, действующих на резец, нарост и стружку

- $N_\beta, F_\beta$  — силы, действующие на плоскости сдвига;  
 $N_f, F_f$  — силы, приложенные к передней грани (фаске) резца;  
 $N_n, F_n$  — силы, действующие на «заднюю» грань нароста;  
 $P_z, R_{xy}$  — суммарные силы (обычные технологические составляющие силы резания);  
 $l_\beta, l_n, l_f$  — расстояния точек приложения действующих сил от вершины резца или нароста (координаты «центров давления»).

Если ввести обозначения:

$$\begin{aligned}
 l_\beta &= \psi_\beta \cdot AO = \frac{a\psi_\beta}{\sin \beta_1}; \\
 L_f &= \psi_f \cdot f; \\
 l_n &= \psi_n \cdot OO_1 = \frac{\psi_n f \sin(\gamma_d - \gamma)}{\cos \gamma_d},
 \end{aligned}$$

в которых

$\psi_\beta, \psi_f, \psi_n$  — относительные координаты «центров давления»,  
 $f$  — длина передней грани (фаски) резца,  
 $a$  — толщина среза,

$\beta_1, \gamma_d, \gamma$  — углы, показанные на рис. 1,  
 то уравнение (2) примет следующий вид:

$$\begin{aligned}
 \sum M_0 &= \frac{a\psi_\beta}{\sin \beta_1} N_\beta - \frac{f\psi_n \sin(\gamma_d - \gamma)}{\cos \gamma_d} N_n - f\psi_f \cos \gamma_0 P_z + \\
 &+ f[\operatorname{tg} \gamma_d \cos \gamma - (1 - \psi_f) \sin \gamma] R_{xy} = 0.
 \end{aligned} \tag{3}$$

Только две силы  $P_Z$  и  $R_{XY}$  из входящих в уравнения (1) и (3) могут быть определены экспериментально с помощью динамометра. Для вычисления остальных сил при известных геометрических параметрах стружкообразования ( $\beta_1$ ,  $\gamma_n$ ) уравнений статического равновесия недостаточно. В частности, не могут быть найдены опытным путем и силы  $F_n$ ,  $N_n$ , ответственные за формирование подрезцово́й поверхности.

Попробуем оценить силы  $N_n$  и  $F_n$  на «задней» поверхности нароста косвенным путем. Для этого будем считать, что среднее касательное напряжение  $\tau_{cp}$  в зоне сдвига заранее известно и, следовательно, тангенциальная сила, действующая в плоскости сдвига, может быть вычислена по формуле

$$F_\beta = \frac{ab\tau_{cp}}{\sin\beta_1}, \quad (4)$$

где  $b$  — ширина среза.

Решая уравнения (1) и (3) совместно и с учетом выражения (4), легко выводим

$$N_n = \frac{a^2\psi_\beta b\tau_{cp} - f\psi_f \sin\beta_1 \cos\beta_1 P_Z + AR_{XY}}{B}, \quad (5)$$

$$F_n = P_Z - ab\tau_{cp} \operatorname{tg}\beta_1 - R_{XY} \operatorname{tg}\beta_1 + \frac{\operatorname{tg}\beta_1}{B} (a^2\psi_\beta b\tau_{cp} - f\psi_f \sin\beta_1 \cos\beta_1 \cdot P_Z + AR_{XY}) \dots, \quad (6)$$

где

$$A = a\psi_\beta + f \sin\beta_1 \cos\beta_1 \operatorname{tg}\gamma_n \cos\gamma_n - (1 - \psi_f) f \sin\beta_1 \cos\beta_1 \sin\gamma_0;$$

$$B = a\psi_\beta + f\psi_n \frac{\sin(\gamma_n - \gamma_0) \sin\beta_1 \cos\beta_1}{\cos\gamma_n} \}. \quad (7)$$

Далее. Так как оценку интересующих нас сил с точностью  $\pm 20\%$  можно считать совершенно достаточной, то примем

$$\begin{aligned} \psi_\beta &= 0,5; \\ \psi_n &= 0,25; \\ \psi_f &= 0,2 \div 0,5. \end{aligned} \quad (8)$$

Первое из этих допущений применительно к обычному резу (без нароста) уже использовалось ранее [4, 5]. Второе основано на изучении характера сопряжения контура нароста с подрезцово́й поверхностью по микрофотографиям зоны резания. Это допущение весьма приближенно. Третье допущение основано на анализе эпюр контактных напряжений.

Значение  $\psi_f$ , принимаемое в третьем из допущений (8), приблизительно соответствует всему возможному диапазону изменения этой величины для различных случаев стружкообразования на резце с уменьшенной передней поверхностью. При этом нижний предел ( $\psi_f = 0,2$ ) относится к моменту перехода от ограниченного контакта к обычному резанию (малое отношение  $a/f$ ), а верхний предел ( $\psi_f = 0,5$ ) соответствует максимальным значениям фактора  $a/f$ .

Значение  $\tau_{cp}$  принималось по данным опытов с обычным резцом (без фаски) по тому же обрабатываемому материалу, что вполне оправдано, так как  $\tau_{cp}$  в зависимости от условий резания изменяется слабо.

Результаты расчетов по формулам (5) и (6) собраны в табл. 1. Их анализ позволяет сделать ряд интересных выводов.

Силы  $N_n$  и  $F_n$ , действующие на нарост со стороны поверхности резания, весьма велики, причем нормальная сила  $N_n$  по своей величине чаще всего превосходит горизонтальную составляющую  $R_{xy}$ . Это означает, что второй компонент, входящий в силу  $R_{xy}$  и равный интегральной сумме напряжений на «передней» поверхности нароста, либо мал, либо направлен в сторону, противоположную  $R_{xy}$ . Именно этого и следовало ожидать, ибо передний угол на наросте ( $\gamma_d$ ) очень велик.

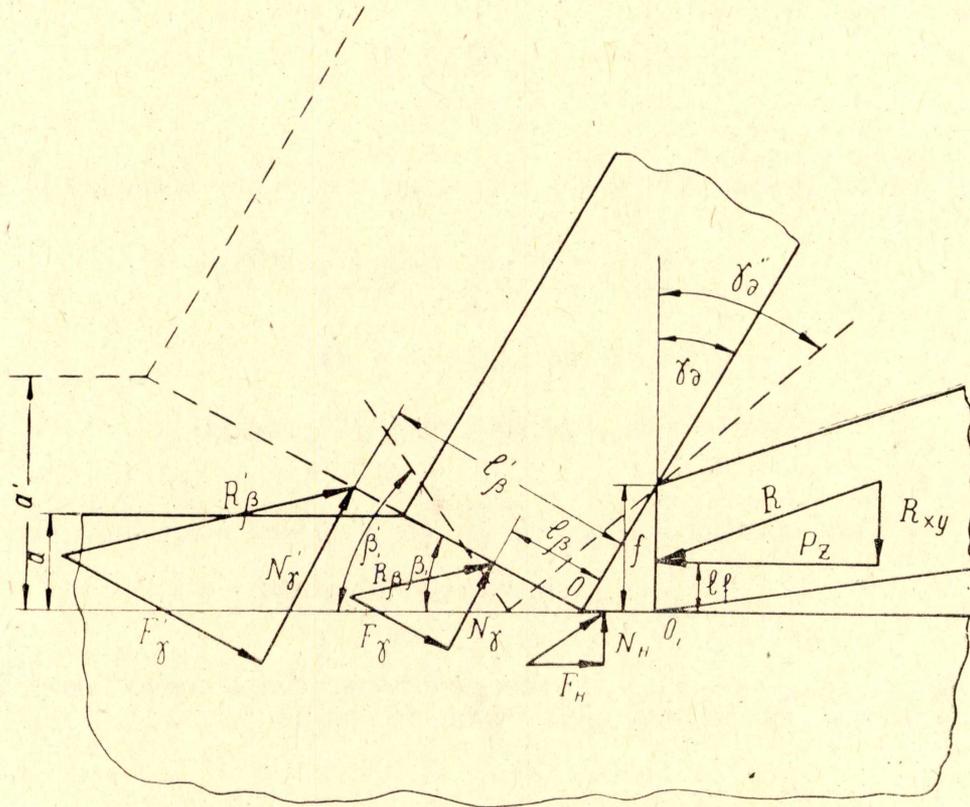


Рис. 2. Схема влияния толщины среза на угол схода стружки

С ростом отношения  $a/f$  силы  $F_n$  и  $N_n$  возрастают. Изучение микрофотографий зоны резания показывает, что это является следствием изменения очертания нароста. Последний начинает более интенсивно взаимодействовать с поверхностью резания, происходит стабилизация нароста.

В заключение рассмотрим вопрос о связи между углом схода стружки  $\gamma_d$  и отношением  $a/f$ . Из экспериментальных исследований [1, 3] вытекает, что при всех обстоятельствах с ростом отношения  $a/f$  угол схода стружки  $\gamma_d$  увеличивается. Покажем, что это необходимое следствие условий статического равновесия.

Обратимся к рис. 2, повторяющему схему на рис. 1 для случая  $\gamma_0 = 0^\circ$ , и предположим, что толщина среза вдруг значительно увеличилась, став равной  $a' > a$  (соответствующие контуры зоны резания показаны пунктиром). Так как напряжения  $\sigma_n$  и  $\tau_{cp}$  в зоне сдвига и относительная координата точки приложения равнодействующей в плоскости сдвига слабо зависят от толщины среза, то увеличение толщины среза вызовет примерно пропорциональный рост силы  $R_\beta$  и координаты

Таблица 1

Обрабатываемый материал	Материал и геометрия реза	Скорость резания $v$	Сечение среза $s \times t$	Угол схода стружки $\gamma_0$	Усадка стружки $s$	Силы резания		Координата центра давления $\psi_f$	Среднее касательное напряжение сдвига $\tau_{ср.}$	Нормальная сила на наросте $N_H$	Касательная сила на наросте $F_H$
						$P_Z$	$R_{XY}$				
						м/мин	мм <sup>2</sup>				
Сталь мягкая, НВ-114	P9	12	0,2×0,3	30°	2,3	145	75	0,25	50	72,5	66,8
		„	0,5×3	41,5°	1,6	235	80	0,35	„	93,4	91,7
		„	0,8×3	51°	1,35	295	73	0,4	„	118	102,8
		„	1,1×3	60°	1,25	355	65	0,45	„	140	117
Сталь 50, НВ-170	$f=0,6$ мм $\varphi=90^\circ$	10	0,2×3	24°	2,3	185	93	0,25	60	77,5	85,1
		„	0,5×3	36°	1,6	297	98	0,35	„	104	116,7
		„	0,8×3	43°	1,35	400	95	0,4	„	138	137,5
		„	1,1×3	50°	1,25	500	80	0,45	„	160	193,5
Сталь ШХ15, НВ-240		9,4	0,2×3	23°	2,3	245	100	0,25	80	70	107,5
		„	0,5×3	36°	1,6	345	113	0,35	„	132	113,2
		„	0,8×3	43°	1,35	440	97	0,4	„	167	131,5
		„	1,1×3	50°	1,25	525	75	0,45	„	199	151,5

$l_\beta$ , не изменяя направления  $R_\beta$ . Новые значения сил в плоскости сдвига обозначены на рис. 2 через  $F'_\gamma$ ,  $N'_\gamma$  и  $R'_\beta$ .

Простое рассмотрение на рис. 2 приводит к выводу, что невозможно уравновесить новую силу  $R'_\beta$  только за счет соответствующего увеличения суммарной равнодействующей на фаске. Не восстановит равновесия и увеличение сил  $F_n$  и  $N_n$  на наросте в пределах, определяемых данными табл. 1. Сила  $R'_\beta$  создает значительный неуравновешенный момент.

На обычном резце подобная ситуация приводит к увеличению длины контакта стружки с резцом и соответствующему увеличению плеча  $L_\gamma$ , на котором действует сила  $R$ , в результате чего равновесие восстанавливается. В данном случае возрастанию  $l_\gamma = l_f$  препятствует ограниченный размер передней грани. Поэтому единственным «естественным» путем восстановления равновесия будет поворот плоскости сдвига ( $\beta'_1 > \beta_1$ ) и неизбежно связанное с ним увеличение угла схода стружки.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. А. М. Розенберг, М. Ф. Полетика. Особенности процесса резания инструментом с фаской при скоростной токарной обработке. «Изв. ТПИ», т. 75, 1954.
  2. М. Ф. Полетика. Микроструктура и микротвердость в зоне резания при работе резца с фаской. «Изв. ТПИ», т. 85, 1957.
  3. М. Ф. Полетика. О наростообразовании на резце с укороченной передней гранью. «Изв. ТПИ», с. 107, 1963.
  4. Н. Н. Зорев. Вопросы механики процесса резания металлов. Машгиз, 1956
-