

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

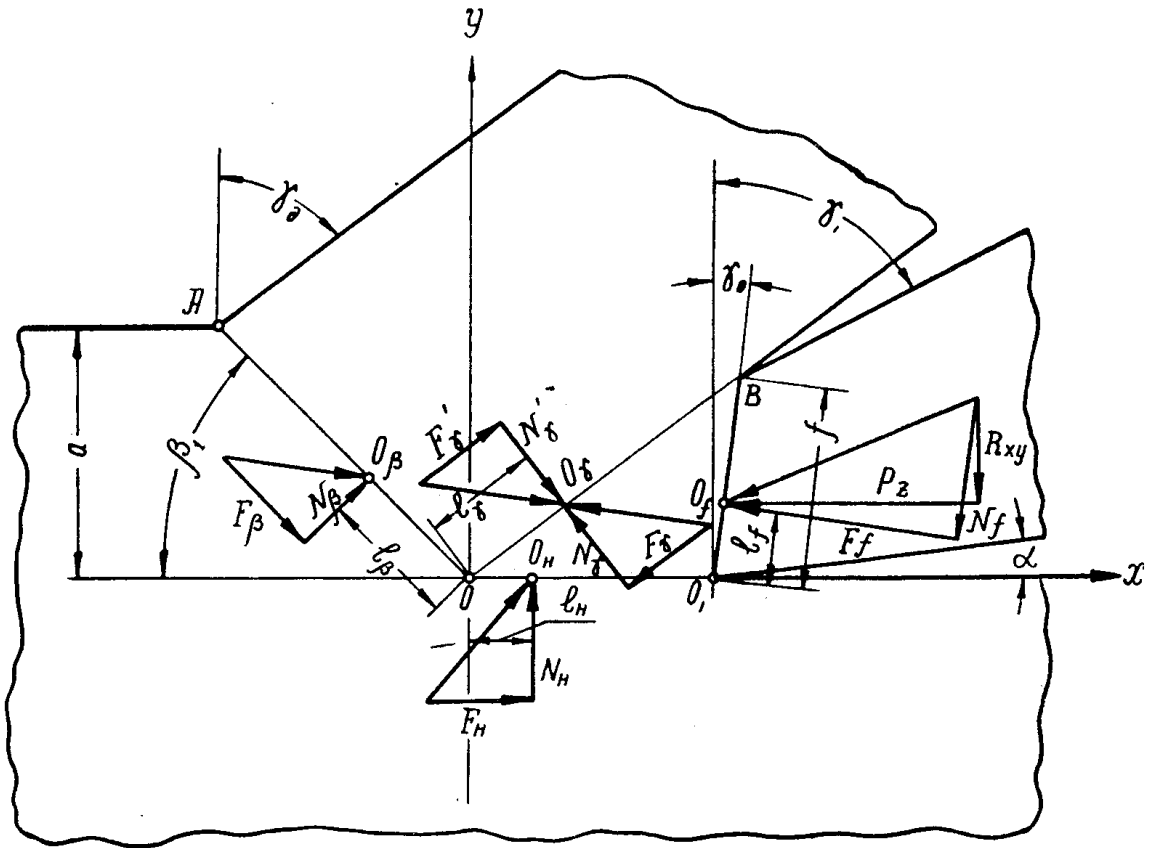


Рис. 1. Схема сил, действующих на резец, нарост и стружку

- N_β, F_β — 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_β, l_n, l_f — расстояния точек приложения действующих сил от вершины резца или нароста (координаты «центров давления»).

Если ввести обозначения:

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

в которых

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

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

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

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 (β_1 , γ_n) уравнений статического равновесия недостаточно. В частности, не могут быть найдены опытным путем и силы F_n , N_n , ответственные за формирование подрезцово́й поверхности.

Попытаемся оценить силы N_n и F_n на «задней» поверхности нароста косвенным путем. Для этого будем считать, что среднее касательное напряжение τ_{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 резцу (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 ψ_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 τ_{cp} принималось по данным опытов с обычным резцом (без фаски) по тому же обрабатываемому материалу, что вполне оправдано, так как τ_{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 (γ_d) очень велик.

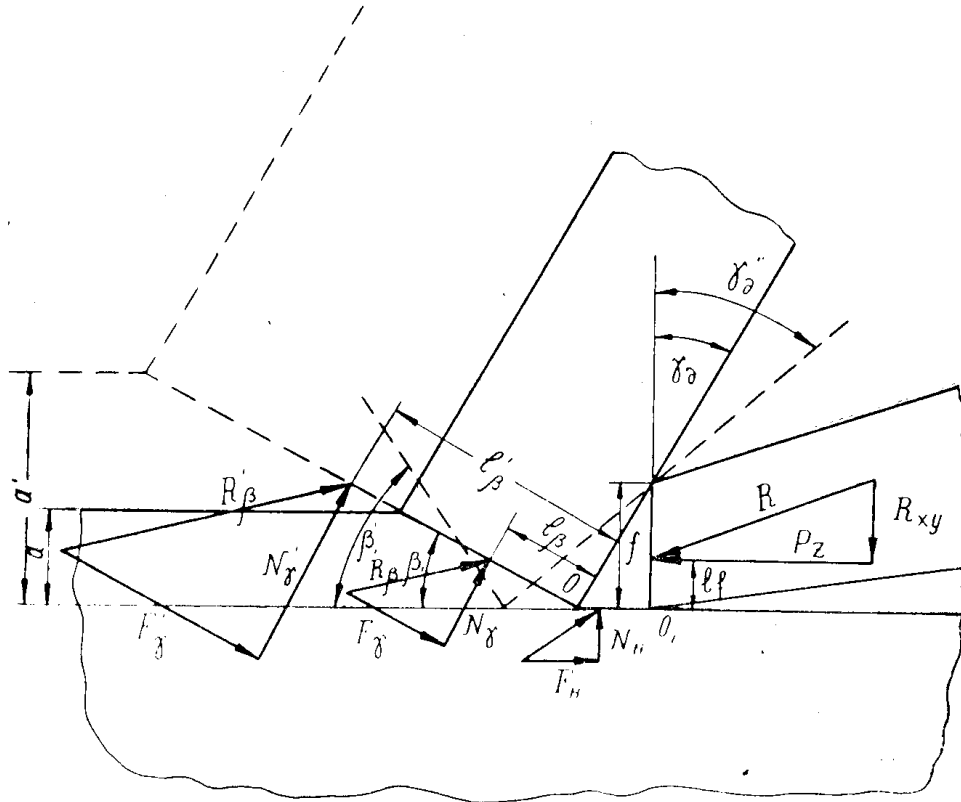


Рис. 2. Схема влияния толщины среза на угол схода стружки

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 γ_d и отношением a/f . Из экспериментальных исследований [1, 3] вытекает, что при всех обстоятельствах с ростом отношения a/f угол схода стружки γ_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 σ_n и τ_{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_β и координаты

Таблица 1

Обрабатываемый материал	Материал и геометрия резца	Скорость резания v м/мин	Сечение среза $s \times f$ мм ²	Угол схода стружки γ_0 град.	Усадка стружки s	Силы резания		Координата центра давления ψ_f	Среднее касательное напряжение сдвига $\tau_{ср}$ кг/мм ²	Нормальная сила на наросте F_N кг	Касательная сила на наросте F_T кг
						PZ кг	RXY кг				
Сталь мягкая, HB-114	P9 $\gamma_0=0^\circ$ $\gamma=60^\circ$	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, HB-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, HB-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_{β} , не изменяя направления R_{β} . Новые значения сил в плоскости сдвига обозначены на рис. 2 через F'_{γ} , N'_{γ} и R'_{β} .

Простое рассмотрение на рис. 2 приводит к выводу, что невозможно уравновесить новую силу R'_{β} 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_{β} создает значительный неуравновешенный момент.

На обычном резце подобная ситуация приводит к увеличению длины контакта стружки с резцом и соответствующему увеличению плеча L_{γ} , на котором действует сила R , в результате чего равновесие восстанавливается. В данном случае возрастая $l_{\gamma} = l_f$ препятствует ограниченному размеру 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