

## ВЛИЯНИЕ ПЕРЕДНЕГО УГЛА И СИЛ НА ВСПОМОГАТЕЛЬНУЮ РЕЖУЩЕЙ КРОМКЕ СМП НА НАПРЯЖЁННОЕ СОСТОЯНИЕ ИНСТРУМЕНТА ПРИ ОБРАБОТКЕ СТАЛИ

В.Н. Козлов, к.т.н., доц.,  
Л. Хе, магистрант гр. 4АМ01,  
М. Ци, аспирант гр. А1-21,

Томский политехнический университет, 634050, г.Томск, пр.Ленина,30  
тел.(3822)-606-389

E-mail: [kozlov-viktor@bk.ru](mailto:kozlov-viktor@bk.ru)

В связи с большим влиянием распределения контактных напряжений на результаты расчёта напряжённо-деформированное состояние (НДС) режущего клина необходимо использовать эпюры с реальным распределением [1].

Экспериментальное изучение распределения контактных напряжений очень трудоёмко и требует специальных дорогостоящих приборов, поэтому была разработана методики их расчёта. За основу расчёта параметров эпюр взяты свойства эпюры касательного контактного напряжения  $\tau$  (МПа), которая имеет простой вид (рис. 1 б) и поэтому её параметры могут быть рассчитаны по уравнению

$$\tau_{\max} = \tau_{\text{const}} = F / (c \times 0,75 \times b_c),$$

где  $\tau_{\text{const}}$  – величина  $\tau$  на первом участке этой эпюры (МПа);  $F$  – касательная сила на передней поверхности режущего инструмента (Н) с учётом переднего угла  $\gamma$  (°);  $b_c$  – ширины контакта стружки с передней поверхностью резца, зависящая от глубины резания  $t$  ( $b_c \approx t / \sin \varphi$ ) (мм).

Касательная сила  $F$  рассчитывается исходя из технологических сил резания по формуле (см. рис. 1 а):

$$F = F_{P_{xy}} + F_{P_z} = P_{xy} \times \cos \gamma + P_z \times \sin \gamma, \quad (1)$$

где  $P_{xy}$  – результирующая радиальной  $P_x$  и осевой  $P_y$  сил, действующих в основной плоскости  $P_{xy} = (P_x^2 + P_y^2)^{0,5}$ ;  $P_z$  – тангенциальная составляющая силы резания;  $\gamma$  – главный передний угол.

Длина контакта  $c$  стружки может быть измерена экспериментально или определена по нашим графикам, которые показывают изменение  $c$  (мм) в зависимости от переднего угла  $\gamma$  (рис. 2) и толщины среза  $a$  (мм):  $a = s \times \sin \varphi$ , где  $s$  – подача (мм/об);  $\varphi$  – главный угол в плане.

Уравнение для графика зависимости длины контакта стружки с передней поверхностью СМП от переднего угла  $\gamma$ , т.е.  $c = f(\gamma)$ , при аппроксимации прямой линией для толщины среза  $a = 0,368$  мм:

$$c = 1,907 - 0,011 \cdot \gamma. \quad (2)$$

Тогда при  $\gamma = -10^\circ$   $c = 2,017$  мм, при  $\gamma = 0^\circ$   $c = 1,797$  мм, при  $\gamma = 10^\circ$   $c = 1,797$  мм.

На участке пластического контакта стружки с передней поверхностью длиной  $c_1 \approx 0,5 \cdot c$  (мм) величина  $\tau$  постоянна, т.е.  $\tau = \text{const}$  (рис. 1 б); на второй части длины контакта стружки  $\tau$  практически прямолинейно уменьшается до нуля в точке отрыва стружки от передней поверхности.

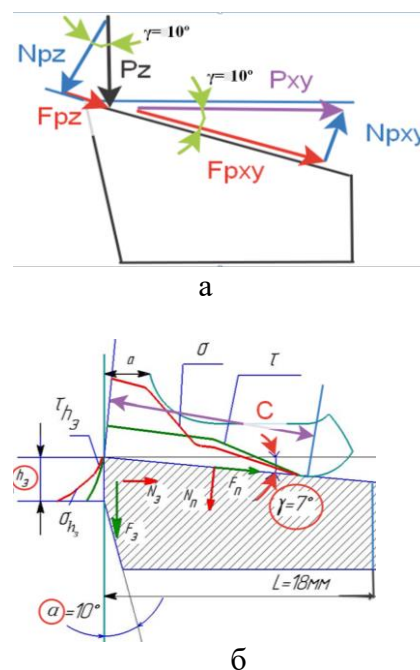


Рис. 1. Составляющие силы резания, действующие на передней поверхности при **положительном** переднем угле  $\gamma$  (а), и распределение контактных напряжений на

Построение эпюры нормальных контактных напряжений  $\sigma$  (МПа) выполняется относительно эпюры касательных контактных напряжений  $\tau$  (МПа). В основе лежит закономерность изменение условного коэффициента трения  $\mu = \tau/\sigma$  вдоль передней поверхности, которая мало зависит от режимов резания [2].

Особенности конфигурации нормальных контактных напряжений  $\sigma$ , определённых экспериментально [1], позволяют её построить после расчёта нормальной силы на передней поверхности инструмента  $N$  по уравнению:

$$N = N_{Pz} - N_{Pxy} = P_z \times \cos \gamma - P_{xy} \times \sin \gamma. \quad (3)$$

Вышеуказанные уравнения получены при положительном переднем угле  $\gamma$ . При его отрицательной величине используются немного другие уравнения, полученные из рис. 2:

$$N = N_{Pz} + N_{Pxy} = P_z \times \cos \gamma + P_{xy} \times \sin \gamma; \quad (4)$$

$$F = F_{Pxy} - F_{Pz} = P_{xy} \times \cos \gamma - P_z \times \sin \gamma. \quad (5)$$

Непосредственно у режущей кромки нормальные контактные напряжения имеют наибольшую величину  $\sigma_{\max}$  (рис. 1 б). В первом приближении  $\sigma_{\max} \approx 2 \sigma_v$ , где  $\sigma_v$  – это временное сопротивление разрыву (МПа). В дальнейшем величина  $\sigma_{\max}$  корректируется таким образом, чтобы нормальная сила  $N_{\text{эп}}$  (Н), рассчитанная по объёму эпюры  $\sigma$ , была равна нормальной силе, определённой по экспериментальным данным  $N_{\text{эксп}}$  (Н), т.е.

$$N_{\text{эп}} = b \times \int_0^c \sigma i \times dx \approx N_{\text{эксп}} \quad (6)$$

При относительной длине контакта стружки  $\psi = x_i/c \approx 0,4$ , т.е. при  $x = 0,4 \cdot c$  будет пересечение графика  $\sigma$  с графиком  $\tau$ , т.к. в этой точке условный коэффициент трения  $\mu = 1$ , то есть там  $\sigma = \tau$  (см. рис. 1 б). В конце контакта стружки с передней поверхностью инструмента при  $\psi \approx 0,8$  (т.е. при  $x \approx 0,8c$ ) должно быть  $\sigma_i \approx \tau_i/1,6$ . На расстоянии от режущей кромки  $l_1 \approx a$  (мм) величина  $\sigma_{l1} \approx 0,93 \cdot \sigma_{\max}$ .

По рассчитанным точкам строим эпюру  $\sigma$  и корректируем её, изменяя на участке от режущей кромки до  $x_i = 0,4 \cdot c$ , чтобы соблюдалось равенство (6).

Для этого рассчитываем площадь эпюры  $\sigma$ :  $S_\sigma = \sum S_i$  (МПа/мм) (рис. 2). Нормальная сила по эпюре  $\sigma$   $N_\sigma = S_\sigma \times b$  (Н) должна быть равна нормальной силе по экспериментальным данным  $N_{\text{эксп}}$  (Н).

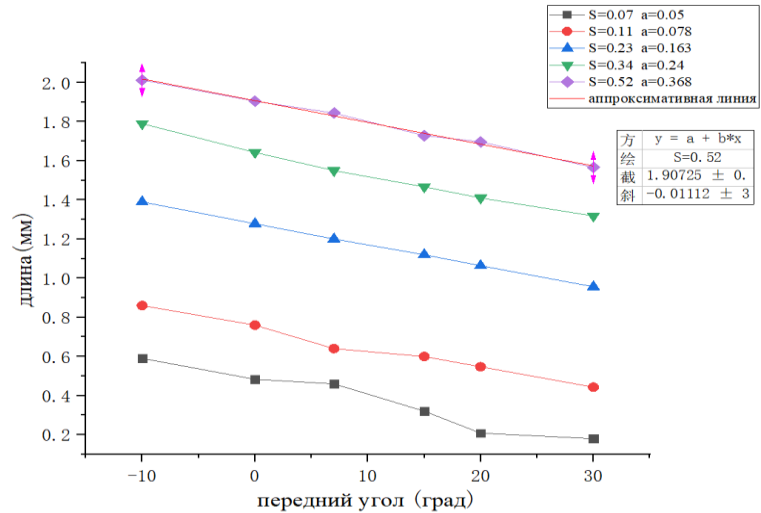


Рис. 2. Графики изменения длины контакта  $c$  (мм) от толщины среза  $a$  (мм) и переднего угла  $\gamma$  ( $^\circ$ ) при  $\phi = 45^\circ$

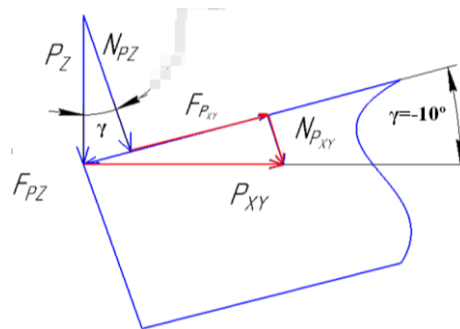


Рис. 2. Составляющие силы резания на передней поверхности в главной секущей плоскости при отрицательном переднем угле  $\gamma$ .

Приложение реального распределения контактных напряжений на переднюю поверхность моделей реза позволило рассчитать распределение напряжений в режущем клине СМП с использованием программы ANSYS (рис. 3).

При черновой токарной обработке основная нагрузка приходится на участок, расположенный у главной режущей кромки. Но силы на вспомогательной режущей кромке приводят к изменению напряжённого состояния, поэтому нами было исследована степень влияния этих сил на НДС СМП с  $\varphi = 90^\circ$  при нагрузке главной режущей кромки в 100, 90 и 80 % от общей силы резания. Считалось, что распределение контактных напряжений на передней поверхности у вспомогательной режущей кромке такое же, что и у главной режущей кромки.

По результатам расчётов были построены графики влияния переднего угла и доли силы резания на главной режущей кромке (рис. 4).

Исследования показали, что в 3-гранных СМП с увеличением доли нагрузки на **вспомогательной** режущей кромке величина наибольшего эквивалентного напряжения в 3-гранных СМП начинается **увеличиваться** по сравнению с вариантом, когда вся нагрузка приходится только на главную режущую кромку.

При **увеличении переднего угла** величина наибольшего эквивалентного напряжения в 3-гранных СМП **уменьшается** во всех случаях.

#### Список литературы:

1. Чжан Ц., Козлов В.Н. Влияние вида нагружения на расчёт внутренних напряжений в режущем клине // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. Вып. 8: в 2 ч. Ч. 2. Тула: Изд-во ТулГУ, 2017. С. 352-356.
2. Контактные нагрузки на режущих поверхностях инструмента/Полетика М.Ф. – Москва: Машиностроение, 1969. – 148 с.
3. Определение параметров эпюр контактных напряжений на передней поверхности режущего инструмента при обработке стали / Ц. Чжао, В. Н. Козлов, Ц. Ю, М. Ци // Современные проблемы машиностроения сборник трудов XIII Международной научно-технической конференции, г. Томск, 26-30 октября 2020 г.: / Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ) ; под ред. Е. Н. Пашкова. — Томск : Томский политехнический университет, 2020. — [С. 144-145].

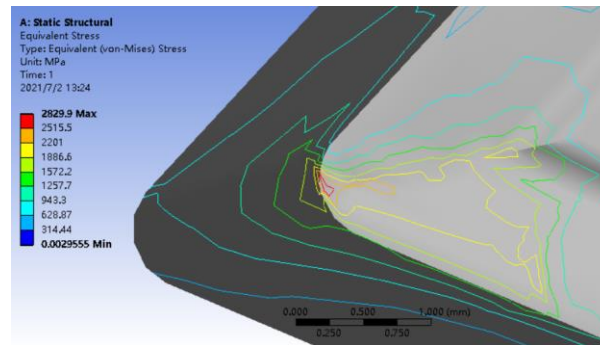


Рис. 3. Распределение эквивалентных напряжений  $\sigma_{\text{экв}}$  в 3-гранной СМП при нагрузке по главной режущей кромке 90%, по вспомогательной режущей кромке 10%. Сталь 40X – Т15К6.  $\gamma = -10^\circ$ .  $s = 0,368$  мм/об,  $c = 2,02$  мм, ширина среза  $b = 2$  мм.  $F = 1196$  Н,  $N = 2020$  Н.  $\sigma_{\text{экв max}} = 2830$  МПа

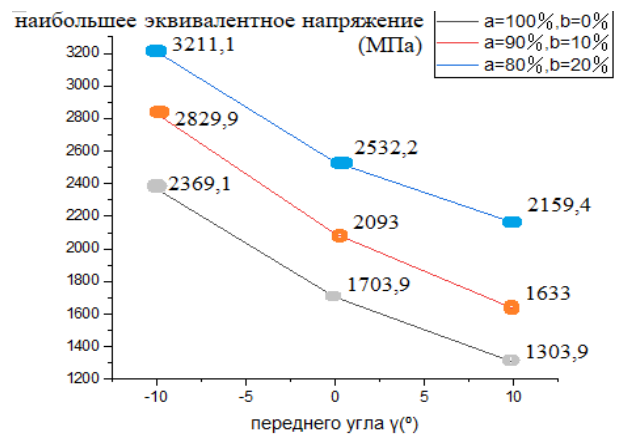


Рис. 4. Влияние доли нагрузки на главной ( $a$ ) и вспомогательной ( $b$ ) режущей кромки (%) и переднего угла  $\gamma$  (°) на величину наибольшего эквивалентного напряжения  $\sigma_{\text{экв max}}$  (МПа) в 3-х гранных СМП