

ВЛИЯНИЕ ПЕРЕДНЕГО УГЛА И СИЛ НА ВСПОМОГАТЕЛЬНУЮ РЕЖУЩУЮ КРОМКУ 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

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 τ (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 τ_{const} – величина τ на первом участке этой эпюры (МПа); F – касательная сила на передней поверхности режущего инструмента (Н) с учётом переднего угла γ (°); 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; γ – 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 γ (рис. 2) и толщины среза a (мм): $a = s \times \sin \varphi$, где s – подача (мм/об); φ – главный угол в плане.

Уравнение для графика зависимости длины контакта стружки с передней поверхностью СМП от переднего угла γ , 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 τ постоянна, т.е. $\tau = \text{const}$ (рис. 1 б); на второй части длины контакта стружки τ практически прямолинейно уменьшается до нуля в точке отрыва стружки от передней поверхности.

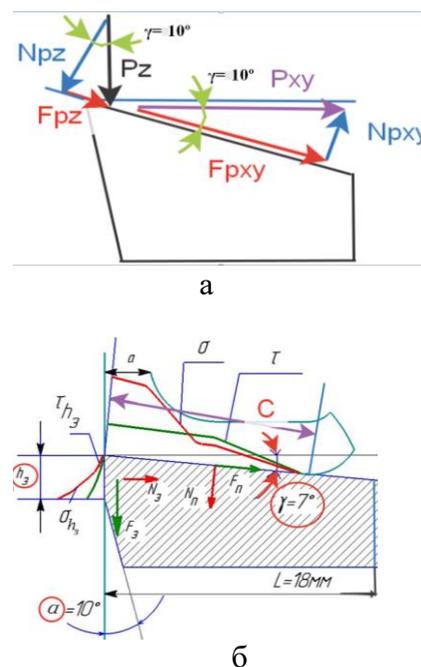


Рис. 1. Составляющие силы резания, действующие на передней поверхности при **положительном** переднем угле γ (а), и распределение контактных напряжений на

Построение эпюры нормальных контактных напряжений σ (МПа) выполняется относительно эпюры касательных контактных напряжений τ (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 σ , 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 γ . 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 σ_{\max} (рис. 1 б). В первом приближении $\sigma_{\max} \approx 2 \sigma_v$, где σ_v – это временное сопротивление разрыву (МПа). В дальнейшем величина σ_{\max} корректируется таким образом, чтобы нормальная сила $N_{\text{эп}}$ (Н), рассчитанная по объёму эпюры σ , 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 σ с графиком τ , 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 σ 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 σ : $S_\sigma = \sum S_i$ (МПа/мм) (рис. 2). Нормальная сила по эпюре σ $N_\sigma = S_\sigma \times b$ (Н) должна быть равна нормальной силе по экспериментальным данным $N_{\text{эксп}}$ (Н).

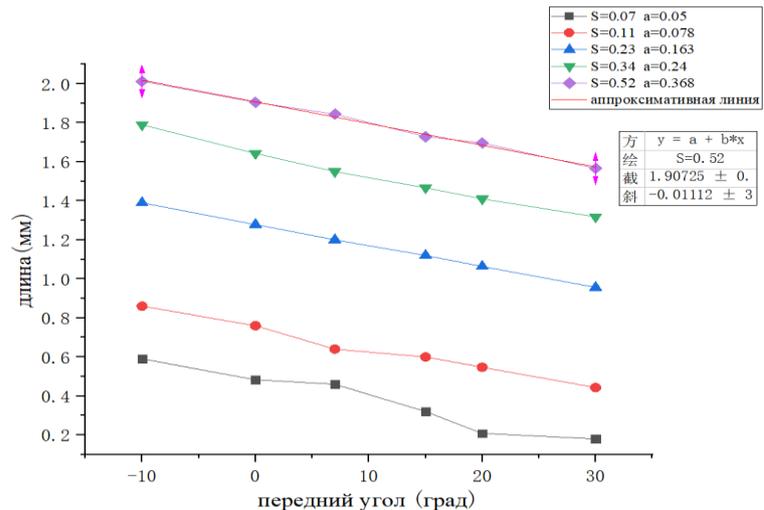


Рис. 2. Графики изменения длины контакта c (мм) от толщины среза a (мм) и переднего угла γ ($^\circ$) при $\phi = 45^\circ$

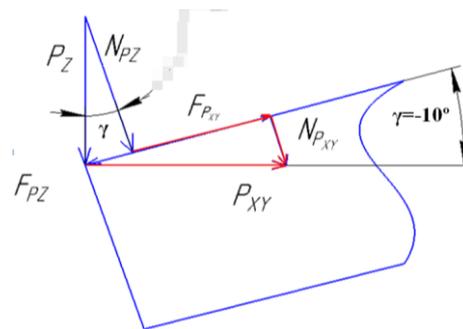


Рис. 2. Составляющие силы резания на передней поверхности в главной секущей плоскости при отрицательном переднем угле γ .

Приложение реального распределения контактных напряжений на переднюю поверхность моделей резца 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 кромке. 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 кромке.

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].

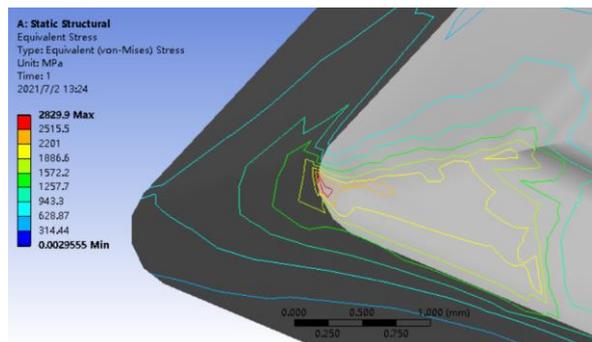


Рис. 3. Распределение эквивалентных напряжений $\sigma_{\text{ЭКВ}}$ в 3-гранной СМП при нагрузке по главной режущей кромке 90%, по вспомогательной режущей кромке 10%. Сталь 40X – Т15К6. $\gamma = -10^\circ$. $s=0,368$ мм/об, $c = 2,02$ мм, ширина среза $b = 2$ мм. $F=1196$ Н, $N=2020$ Н. $\sigma_{\text{ЭКВ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

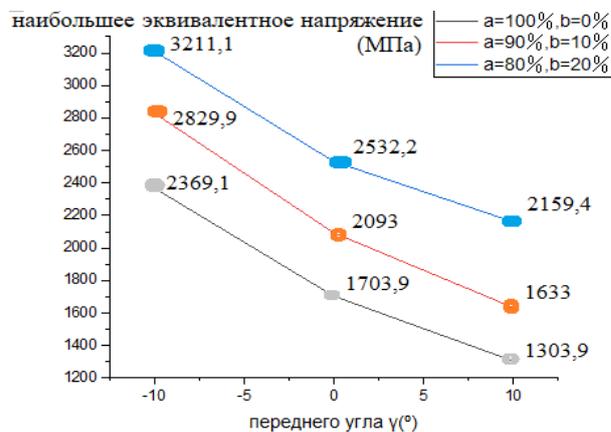


Рис. 4. Влияние доли нагрузки на главной (a) и вспомогательной (b) режущей кромки (%) и переднего угла γ (°) на величину наибольшего эквивалентного напряжения $\sigma_{\text{ЭКВ max}}$ (МПа) в 3-х гранных СМП