

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВНЕШНЕЙ НАГРУЗКИ ДЛЯ РАСЧЁТА НА ПРОЧНОСТЬ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА.

В.Н. Козлов, к.т.н., доц.,  
Ц. Дин, магистрант гр. 4AM21,  
Х. Чжан, магистрант гр. 4AM21,  
Томский политехнический университет, 634050, г.Томск, пр.Ленина,30  
тел.(3822)-606-389  
E-mail: [kozlov-viktor@bk.ru](mailto:kozlov-viktor@bk.ru)

При обработке стали происходит износ режущих инструментов, что приводит к появлению округления режущей кромки радиусом  $\rho$ , лунки на передней поверхности шириной  $b_n$  и фаски на задней поверхности длиной  $h_3$  (рис. 1). Наиболее опасным является износ по задней поверхности, т.к. при этом существенно увеличиваются составляющие силы резания  $P_{yh}$ ,  $P_{xh}$  и  $P_{zh}$  на этой фаске, что приводит к выкрашиванию и даже сколу режущей пластины.

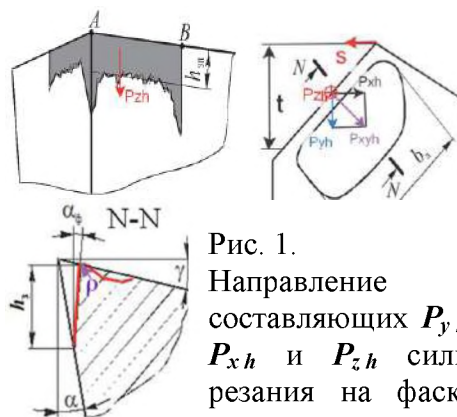


Рис. 1. Направление составляющих  $P_{yh}$ ,  $P_{xh}$  и  $P_{zh}$  силы резания на фаске износа по задней поверхности

При черновой обработке важно определить наибольшую допустимую длину фаски износа по задней поверхности  $h_{3н}$ , чтобы не допустить скола режущей пластины.

Исследование изменения общих технологических составляющих  $P_y$ ,  $P_x$  и  $P_z$  силы резания от величины подачи  $s$  и длины искусственной фаски износа  $h_3$  позволило выявить уменьшение удельных сил резания при увеличении подачи (рис. 2). Искусственная фаска затачивалась по задней поверхности с задним углом  $\alpha_\phi = \alpha_n = 0^\circ$  (рис. 1) для того, чтобы её угол соответствовал реальному износу, но был при этом постоянен.

Результирующая  $P_{xy}$  технологических составляющих сил  $P_y$ , и  $P_x$ , действующих в основной плоскости, рассчитывается по формуле  $P_{xy} = \sqrt{P_x^2 + P_y^2}$ .

Удельные силы резания рассчитываются как отношение силы  $P_z$  или  $P_{xy}$  к площади поперечного сечения срезаемого слоя:  $q_{Pz} = P_z / (s \cdot t)$  [МПа];  $q_{Pxy} = P_{xy} / (s \cdot t)$  [МПа]. Графики изменения удельных сил резания позволяют рассчитать технологические составляющие  $P_z = q_{Pz} \cdot s \cdot t$  [Н] и  $P_{xy} = q_{Pxy} \cdot s \cdot t$  [Н] для любой величины подачи при обработке стали 40Х, при обработке которой были получены экспериментальные данные при указанной величине длины искусственной фаски износа по задней поверхности  $h_3$ .

С увеличением длины фаски износа  $h_3$  по задней поверхности удельные силы резания существенно увеличиваются, при этом  $q_{Pxy}$  увеличивается интенсивнее, чем  $q_{Pz}$ . (см. рис. 2 б, в).

Графики на рис. 2 а, полученные при отсутствии износа по задней поверхности ( $h_3=0$  мм), позволяют рассчитать технологические составляющие силы резания на передней поверхности  $P_{zп}$  и  $P_{xyп}$ , по которым рассчитываются нормальная  $N$  и касательная  $F$  физические составляющие силы резания на **передней** поверхности с учётом величины переднего угла  $\gamma$ . При положительном переднем угле  $\gamma$ :

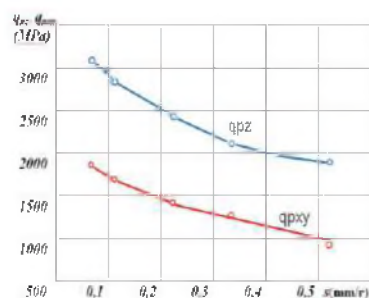
$$N = N_{P_{zп}} - N_{P_{xyп}} = P_{zп} \times \cos\gamma - P_{xyп} \times \sin\gamma; \quad (1)$$

$$F = F_{P_{xyп}} + F_{P_{zп}} = P_{xyп} \times \cos\gamma + P_{zп} \times \sin\gamma. \quad (2)$$

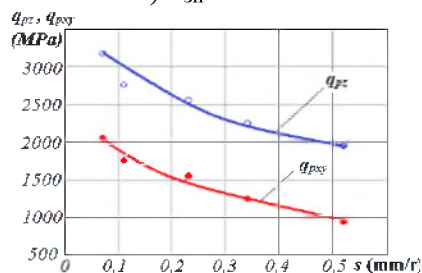
Отрицательный знак перед второй составляющей уравнения  $N$  связан с тем, что составляющая  $N_{P_{xyп}}$  направлена от передней поверхности инструмента вверх при положительном переднем угле  $\gamma$ .

Эти физические составляющие затем используются для построения эпюр нормальных  $\sigma$  и касательных  $\tau$  контактных напряжений (МПа) на передней поверхности с учётом закономерностей распределения контактных напряжений, полученных методом разрезного резца, и выявленных основных параметров эпюр [1]. Эти эпюры прикладываются как внешняя нагрузка на передней поверхности инструмента к 3D модели режущего инструмента для его расчёта на прочность методом конечных элементов [1].

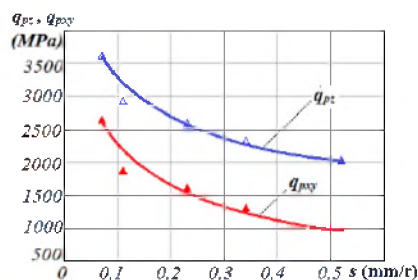
Разница между удельной силой резания при длине фаски  $h_3 > 0$  мм и при  $h_3 = 0$  мм есть удельная сила резания на фаске задней поверхности. При этом  $q_{P_z h} = q_{P_z h>0} - q_{P_z h=0}$  есть удельная сила трения на фаске  $q_{Fh}$  ( $q_{Fh} \equiv q_{P_z h}$ ), а  $q_{P_{xy} h}$  есть удельная нормальная сила (среднее давление) на фаске  $q_{Nh}$  ( $q_{Nh} \equiv q_{P_{xy} h}$ ). По этим



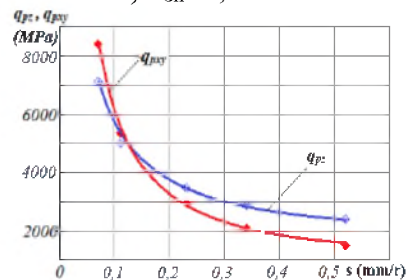
а)  $h_{3п}=0$  мм



б)  $h_{3п}=0,13$  мм



в)  $h_{3п}=0,29$  мм



г)  $h_{3п}=0,95$  мм

Рис. 2. Влияние подачи  $s$  (мм/об) на удельные силы резания  $q_{P_z}$  и  $q_{P_{xy}}$  (МПа) при обработке стали 40X с разной длиной искусственной фаски износа на задней поверхности  $h_{3п}$ . Сталь 40X - T15K6;  $t = 2$  мм;  $v = 120$  м/мин, округление режущей кромки  $\rho \approx 5$  мкм.

удельным силам можно определить нормальную  $N_h$  и касательную  $F_h$  силы на искусственной фаске износа по задней поверхности при соответствующей длине фаски  $h_3$ .

Однако для расчёта на прочность желательно знать не среднюю силу, а распределение нормального  $\sigma_h$  и касательного  $\tau_h$  контактных напряжений на фаске износа по задней поверхности.

Исследования распределения контактных напряжений на фаске износа по задней поверхности показали, что при обработке стали они увеличиваются при отдалении от режущей кромки, что объясняется упругим восстановлением поверхности резания (поверхности среза) и давлением на фаску [1, 2].

Для исследования распределения контактных напряжений на фаске задней поверхности использовался резец с режущей пластиной Т15К6 с главным углом в плане  $\varphi=45^\circ$ , вспомогательным углом в плане  $\varphi_1=45^\circ$ , радиусом при вершине  $r=0,1$  мм, главным передним углом  $\gamma=+7^\circ$ , главным задним углом  $\alpha=12^\circ$ , углом наклона главной режущей кромки  $\lambda=0^\circ$ . На задней поверхности затачивалась искусственная фаска с различной длиной  $h_3$  с постоянным задним углом  $\alpha_h=0^\circ$ , моделирующая износ по задней поверхности. Длина этой фаски при её первоначальной заточке составляла  $h_3 = 0,95$  мм. Переточка резца по задней поверхности позволяла уменьшать длину фаски задней поверхности  $h_3$  без изменения заднего угла на фаске  $\alpha_h=0^\circ$ .

Технологические тангенциальная  $P_z$ , радиальная  $P_y$  и осевая  $P_x$  составляющие силы резания измерялись с помощью токарного динамометра Kistler (Швеция).

При длине фаски  $h_3 > 0$  мм принималось, что приращение технологических составляющих силы резания связано только с изменением сил на искусственной фаске износа по задней поверхности. Отношения изменения технологических составляющих сил резания  $P_z$  [Н] и  $P_{xy} = (P_x^2 + P_y^2)^{1/2}$  [Н] к изменению площади фаски  $\Delta S = \Delta h_3 \cdot b$  [мм<sup>2</sup>] принималось соответственно как удельная касательная  $q_{Fh}$  и нормальная  $q_{Nh}$  контактные нагрузки на этом участке фаски длиной  $\Delta h_3$  [мм] и шириной  $b$  [мм]:

$$q_{Fh} = \Delta P_z / \Delta S = \Delta F_h / (\Delta h_3 \cdot b) \text{ [Н/мм}^2\text{]},$$

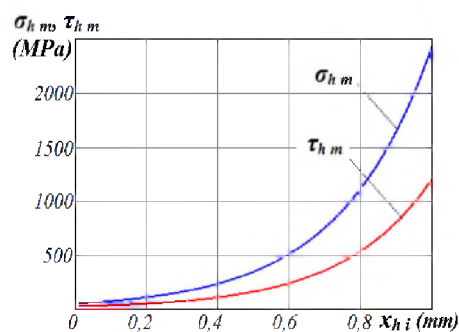
$$q_{Nh} = \Delta P_{xy} / \Delta S = \Delta N_h / (\Delta h_3 \cdot b) \text{ [Н/мм}^2\text{]}.$$


Рис. 3. Распределение средних контактных напряжений на фаске задней поверхности [МПа] при установившемся резании. Сталь 40Х-Т15К6,  $t = 2$  мм,  $v = 120$  м/мин. Ордината – средние нормальное  $\sigma_{hm}$  [МПа] и касательное  $\tau_{hm}$  [МПа] контактные напряжения на фаске задней поверхности; абсцисса – расстояние от режущей кромки вдоль длины фаски износа по задней поверхности перпендикулярно главной режущей кромки  $x_{hi}$  [мм]

Ширина контакта фаски задней поверхности с поверхностью резания  $b$  рассчитывалась по известной формуле  $b = t / \sin\varphi$  [мм], где  $t$  – глубина резания [мм].

После построения гистограмм удельных контактных нагрузок на фаске задней поверхности  $q_{Nhi} = f(x_{hzi})$  [МПа] строился график распределения нормального контактного напряжения  $\sigma_{hi}$  [МПа] на всей протяжённости этой фаски с учётом, что при  $\Delta h_3 \rightarrow 0$  [мм]  $\sigma_{hi} \approx q_{Nhi}$  [МПа]. При этом учитывалась размерность единиц измерения:  $1 \text{ [МПа]} = 1 \text{ [Н/мм}^2\text{]}$ . Аналогично рассчитывалось касательное контактное напряжение на каждом  $x_{hfi}$  участке фаски, т.е.  $\tau_{hi} \approx q_{Fhi}$  [МПа] при  $\Delta h_3 \rightarrow 0$  [мм].

Анализ эпюр контактных напряжений на фаске по задней поверхности показал, что они незначительно зависят от подачи, что позволяет использовать графики их усреднённых величин  $\sigma_{hm}$  и  $\tau_{hm}$  [МПа] (рис. 3).

### Список литературы:

1. Чэнь Юэчжоу. Расчёт эпюр контактных напряжений при обработке стали / Чэнь Юэчжоу, Чжан Цзяюй, В. Н. Козлов; науч. рук. В. Н. Козлов // Научная инициатива иностранных студентов и аспирантов российских вузов сборник докладов X Всероссийской научно-практической конференции, Томск, 22-24 апреля 2020 г.: / Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ) . — Томск : Изд-во ТПУ , 2020 . — С. 243-250.
2. Методика измерения контактных напряжений на поверхностях резца / В. Н. Козлов [и др.]; науч. рук. В. Н. Козлов // Молодежь и современные информационные технологии сборник трудов XIV Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, г. Томск, 7-11 ноября 2016 г.: в 2 т.: / Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ), Институт кибернетики (ИК); под ред. В. С. Аврамчук [и др.]. – Томск : Изд-во ТПУ, 2016. – Т. 2 . – С. 350-352.