

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ИНЖЕНЕРНЫХ НАУК

ПРОЧНОСТЬ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА ПРИ ОБРАБОТКЕ СТАЛИ

Чжан Цзяюй, Ли Ян, Козлов Виктор Николаевич

Научный руководитель: Козлов Виктор Николаевич, к.т.н, доцент ТПУ
Томский политехнический университет

При обработке незакалённой стали силы резания, как правило, не очень большие. Однако при черновой обработке допускается большой износ для уменьшения потери времени на замену режущей пластины и последующей настройки на диаметральный размер. Увеличение допустимого износа вызывает увеличение силы резания, что часто приводит к выкрашиванию режущей кромки и даже поломке инструмента. При расчёте на прочность необходимо знать распределение контактных напряжений на передней поверхности и фаске износа задней поверхности режущей пластины, поскольку износ протекает с неизбежным образованием этой фаски (рис. 1). Именно увеличение составляющих сил на фаске износа вызывает разрушение режущего клина [1-7].



Рис. 1. Износ резца по задней поверхности

Попытки использовать приложение сосредоточенной силы или равномерно распределённых нагрузок приводят к существенной погрешности расчёта напряжённо-деформированного состояния (НДС) режущего клина [4]. Поэтому при приложении контактных напряжений на передней и фаске задней поверхности были использованы результаты исследований в этой области [1, 5-8].

При проведении исследований использовался резец с режущей пластиной Т15К6 имел главный угол в плане $\phi=45^\circ$, вспомогательный угол в плане $\phi_1=45^\circ$, радиус при вершине $r=0,1$ мм, главный передний

угол $\gamma=+7^\circ$, главный задний угол $\alpha=12^\circ$, угол наклона главной режущей кромки $\lambda=0^\circ$, округление режущей кромки было минимально возможным для зернистости карбидных зёрен твёрдого сплава Т15К6 при заточке «на остро», т.е. около $\rho = 3-5$ мкм.

При резании стали 40Х составляющие силы резания измерялись с помощью токарного динамометра Kistler (Швеция), после чего выделялись силы, действующие на передней и фаске задней поверхности методом экстраполяции на нулевую искусственную фаску задней поверхности, моделирующую износ [1]. Длина этой фаски при её первоначальной заточке составляла $h_z = 0,95$ мм. Переточка резца по задней поверхности позволяла уменьшать длину фаски задней поверхности без изменения заднего угла на фаске $\alpha_f=0^\circ$ (рис. 1). В расчёт принимались величины составляющих сил резания после начала установившегося резания, т.е. спустя 6-10 секунд после начала образования стружки.

Пересчёт с технологических на физические нормальную N [Н] и касательную F [Н] составляющие силы резания выполнялся с учётом главного переднего угла γ [°] по известным формулам [4]. При построении эпюр контактных напряжений соблюдалось условие:

$$N = \int_0^c \sigma_{xi} \cdot dx, \quad F = \int_0^c \tau_{xi} \cdot dx,$$

где x_i – расстояние от режущей кромки вдоль передней поверхности перпендикулярно главной режущей кромки [мм]; c – длина контакта стружки с передней поверхностью режущего инструмента [мм].

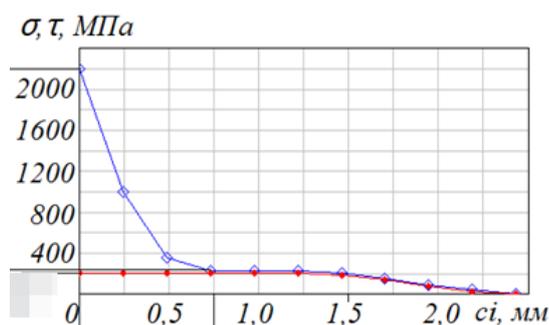


Рис. 2. Распределение контактных напряжений на передней поверхности резца при установившемся резании. $t = 2$ [мм], $v = 2$ [м/с], $s = 0,34$ [мм/об]. Ордината – нормальное σ [МПа] и касательное τ [МПа] контактные напряжения на передней поверхности; абсцисса – расстояние от режущей кромки вдоль передней поверхности перпендикулярно главной режущей кромки x_i [мм]

Пример распределения контактных напряжений на передней поверхности резца при установившемся резании представлен на рис. 2.

Пример распределения средних нормальных $\sigma_{h m}$ и касательных $\tau_{h m}$ контактных напряжений на фаске задней поверхности приведён на рис. 3 без конкретизации величины подачи.

У режущей кромки контактные напряжения малы, а при удалении от неё быстро увеличиваются из-за влияния прогиба поверхности резания. В результате действия радиальной составляющей силы резания на передней поверхности происходит очень незначительное опускание поверхности резания в зоне стружкообразования. Поверхность резания не может восстановиться сразу же после прохождения режущей кромки, поэтому появляется её прогиб [1].

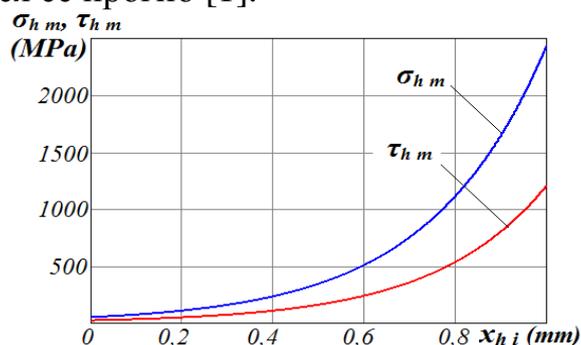


Рис. 3. Распределение средних контактных напряжений на фаске задней поверхности [МПа] при установившемся резании. $t = 2$ мм, $v = 2$ м/с.

Ордината – нормальное $\sigma_{h m}$ [МПа] и касательное $\tau_{h m}$ [МПа] контактные напряжения на фаске задней поверхности; абсцисса – расстояние от режущей кромки вдоль длины фаски износа задней поверхности перпендикулярно главной режущей кромки $x_{h i}$ [мм]

Несмотря на малую величину этого опускания и прогиба, из-за жёсткости контакта поверхности фаски с поверхностью резания между ними происходит существенное силовое взаимодействие. Из-за наличия прогиба поверхности резания у режущей кромки силовое воздействие на режущий инструмент со стороны поверхности резания небольшое, поэтому контактные напряжения малы. При отдалении от режущей кромки происходит упругое восстановление прогиба поверхности резания, силовое воздействие увеличивается, поэтому контактные напряжения возрастают.

Расчёт напряжений в режущем клине резца методом конечных элементов с использованием программы ANSYS12 показал, что при малых подачах ($s \leq 0,23$ мм/об) и малой длине фаски износа на задней поверхности ($h_3 \leq 0,3$ мм) наибольшие напряжения в режущем клине располагаются на передней поверхности на удалении от режущей кромки около 2-3 длин контакта стружки с передней

поверхностью (рис. 4 а, б). Учитывая, что в принятой расчётной модели ось ОХ направлена горизонтально от главной режущей кромки вправо перпендикулярно ей, то это напряжения растяжения. Эти напряжения сравнительно небольшой величины – σ_x наиб = -299 МПа (рис. 4 а), наибольшие эквивалентные напряжения также не велики – $\sigma_{\text{экв}}$ наиб = 319 МПа (рис. 4 б). На фаске задней поверхности напряжения сжатия и они существенно меньше: σ_x наиб = 16 МПа (рис. 4 а), $\sigma_{\text{экв}}$ наиб = 35 МПа (рис. 4 б).

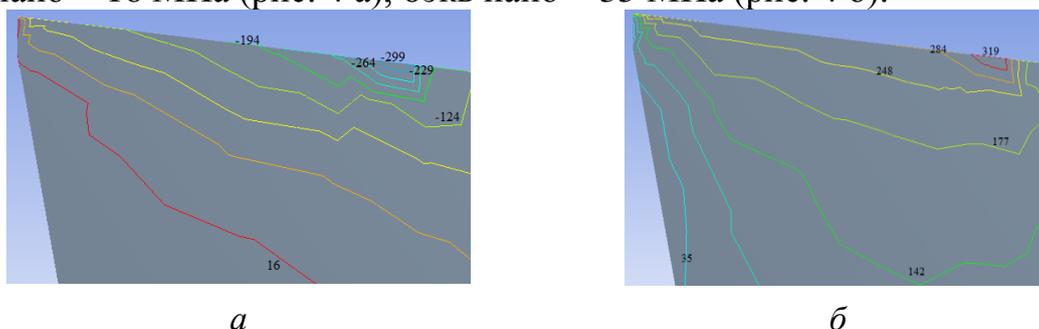


Рис. 4. Распределение нормального σ_x [МПа] (а) и эквивалентного $\sigma_{\text{экв}}$ [МПа] (б) напряжений в режущем клине в главной секущей плоскости при установившемся резании. Сталь 40Х - Т15К6; $t = 2$ мм; $v = 2$ м/с, $h_z = 0,29$ мм; $s = 0,23$ мм/об

При увеличении подачи s до 0,52 мм/об даже при небольшой длине фаски на задней поверхности $h_z = 0,13$ мм наибольшие напряжения в режущем клине располагаются уже у задней поверхности (рис. 5 а). Это напряжения растяжения небольшой величины $\sigma_x = -241$ МПа (рис. 5 а), но наибольшие эквивалентные напряжения в этой области существенно увеличиваются до $\sigma_{\text{экв}}$ наиб = 825 МПа (рис. 5 в). При оценке коэффициента запаса прочности обычно оперируют эквивалентными напряжениями.

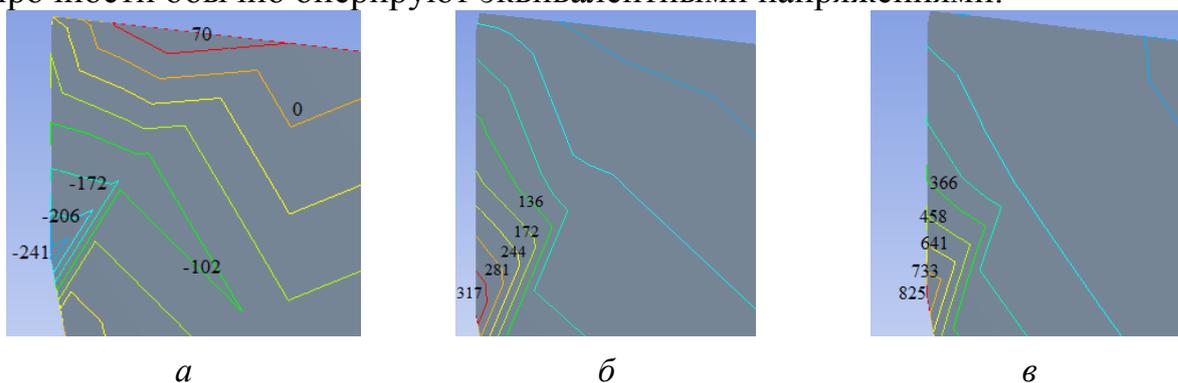


Рис. 5. Распределение нормального σ_x (а), касательного τ_{xy} (б) и эквивалентного $\sigma_{\text{экв}}$ (в) напряжений в режущем клине резца при установившемся резании. Сталь 40Х - Т15К6; $v = 2$ м/с; $s = 0,52$ мм/об; $t = 1,8$ мм; $\rho = 3$ мкм; $h_z = 0,13$ мм

На передней поверхности напряжения незначительны, поэтому на рис. 5 они не показаны. Это изменение происходит, по нашему мнению, из-за большого давления со стороны фаски задней поверхности.

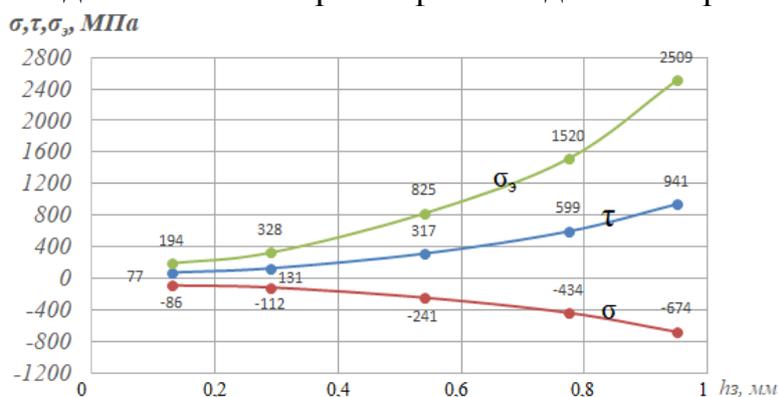


Рис. 6. Зависимость внутренних напряжений от длины фаски на задней поверхности h_z [мм]. Сталь 40X - T15K6; $v = 2$ м/с; $s = 0,11$ мм/об; $t = 1,8$ мм; $\rho = 3$ мкм; σ - наибольшее нормальное напряжение σ_x [МПа]; τ - наибольшее касательное напряжение τ_{xy} [МПа]; $\sigma_{\text{э}}$ - наибольшее эквивалентное напряжение [МПа]

Влияние длины фаски задней поверхности на величины наибольших напряжений представлено на рис. 6. При увеличении длины фаски задней поверхности наиболее интенсивно увеличиваются эквивалентные напряжения $\sigma_{\text{э}}$ (рис. 6). Касательные напряжения τ_{xy} [МПа] увеличиваются не так значительно по сравнению с остальными напряжениями.

При длине фаски на задней поверхности более 0,9 мм даже при небольшой подаче $s = 0,11$ мм/об наибольшие эквивалентные напряжения приближаются к пределу прочности твёрдого сплава на сжатие, что увеличивает вероятность разрушения режущего инструмента.

Заключение

1. При установившемся резании стали контактные напряжения на фаске задней поверхности у режущей кромки малы, но затем существенно увеличиваются при отдалении от режущей кромки. Это связано с восстановлением прогиба поверхности резания и приводит к существенному увеличению радиальной составляющей силы резания при увеличении длины фаски износа по задней поверхности более 0,8 мм.

2. При малых подачах и малой длине фаски износа на передней поверхности в режущем клине возникают напряжения растяжения

сравнительно небольшой величины $\sigma_{x \text{ наиб}} = -299$ МПа, наибольшие эквивалентные напряжения также не велики $\sigma_{\text{экв наиб}} = 319$ МПа.

3. При увеличении подачи даже при небольшой длине фаски на задней поверхности наибольшие напряжения в режущем клине располагаются у задней поверхности. Они небольшой величины $\sigma_x = -241$ МПа, но наибольшие эквивалентные напряжения в этой области существенно увеличиваются: $\sigma_{\text{экв наиб}} = 825$ МПа.

4. При длине фаски на задней поверхности более 0,9 мм даже при небольшой подаче $s = 0,11$ мм/об наибольшие эквивалентные напряжения приближаются к пределу прочности твёрдого сплава на сжатие, что увеличивает вероятность разрушения режущего инструмента.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Kozlov Victor Nicolaevich, Zhang Jiayu, Guo Yingbin, Sabavath Sai Kiran. Contact loads on surfaces of worn out cutter in steel machining [Electronic resource] / Zhang Jiayu [et al.]; sci. adv. V. N. Kozlov // Научная инициатива иностранных студентов и аспирантов российских вузов : сборник докладов VIII Всероссийской научно-практической конференции, Томск, 16-18 мая 2018 г. / Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ). — Томск: Изд-во ТПУ, 2018. — [С. 39-45].
2. Козлов В.Н., Цуй Ц., Чжан Ц., Хуан Ч. Методика измерения контактных напряжений на поверхностях режущего инструмента / В.Н. Козлов, Ц. Цуй, Ц. Чжан, Ч. Хуан // Наука и образование: материалы VI Всероссийского фестиваля науки. XX Международная конференция студентов, аспирантов и молодых учёных – Томск: Изд-во Том. гос. пед. ун-та, 2016, с. 97-105.
3. V. Kozlov, J.Y. Zhang, J. Cui, M. Bogolyubova. Split Cutter Method for Contact Stresses Research over Flank Surface of a Cutter [Electronic resource] / V. N. Kozlov [et al.] // Key Engineering Materials : Scientific Journal. — 2017. — Vol. 743 : High Technology: Research and Applications (HTRA 2016). — [P. 258-263].
4. Козлов В.Н., Чжан Ц. Влияние вида нагружения на расчёт внутренних напряжений в режущем клине [Электронный ресурс] = Influence of loading kind on internal stresses calculation in cutting wedge / В. Н. Козлов, Чжан Цзяюй // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. — 2017. — № 8, ч. 2. — [С. 88-94].

5. Полетика М.Ф. Контактные нагрузки на режущих поверхностях инструмента. – Москва.: Машиностроение, 1969. – 148 с.
6. Полетика М.Ф., Бутенко В.А., Козлов В.Н. Механика контактного взаимодействия инструмента со стружкой и заготовкой в связи с его прочностью/исследование процесса резания и режущих инструментов. Межвузовский научно-технический сборник. – Томск, изд. ТПИ, с. 3-31.
7. Утешев М.Х., Сеньюков В.А. Некоторые результаты исследования напряжённо-деформированного состояния режущей части инструмента при помощи лазера. – В кн.: Прочность режущего инструмента, Москва, 1969, С. 38-50.
8. Красильников В.А. Исследование контактных напряжений на передней поверхности резца при высоких скоростях резания.: Автореферат дис. канд. техн. наук. – Киев, 1974. – 26 с.
9. Hu, J., Chou, Y.K. Characterizations of cutting tool flank wear-land contact/ Wear, V. 263, Iss. 7-12, SPEC. ISSS., 10 September 2007, P. 1454-1458.

ПРОЧНОСТЬ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА ПРИ ВРЕЗАНИИ

Чжан Цзяюй, Ли Ян, Козлов Виктор Николаевич

Научный руководитель: Козлов Виктор Николаевич, к.т.н, доцент ТПУ
Томский политехнический университет

Торцовые фрезы является широко используемым в машиностроении металлорежущим инструментом, предназначенным для обработки плоскостей на вертикально-фрезерных станках. Сборные торцовые фрезы с механическим креплением многогранной сменной неперетачиваемой режущей пластиной удобны для крепления пластин из твёрдого сплава для увеличения допустимой скорости резания, а значит и производительности (рис. 1).

Для черновой обработки уступов и пазов, при удалении больших объёмов материала, чаще всего используется схема встречного фрезерования (рис. 2).