

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).



Рис. 1. Торцовая насадная фреза с четырёхгранной сменной режущей пластиной

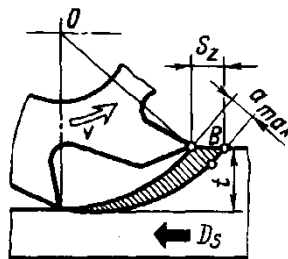


Рис. 2. Схема встречного фрезерования

В этом случае зуб фрезы начинает врезаться в боковую поверхность уступа с нулевой толщиной среза ($a_{i \text{ нач}} = 0 \text{ мм}$), что устраняет удар при контакте с заготовкой, но вызывает вдавливание обрабатываемого металла под режущую кромку зуба. Это вызывает кратковременное, но существенное увеличение составляющих силы резания, особенно её радиальной составляющей [1, 2]. При этом увеличивается интенсивность износа по задней поверхности с образованием фаски длиной h_z (мм), измеряемой на задней поверхности перпендикулярно главной режущей кромки (рис. 3) [3, 4, 5].



Рис. 3. Износ зуба фрезы по задней поверхности

Из-за поворота зуба фрезы относительно динамометра при фрезеровании измерить физические составляющих силы резания, действующие на зуб фрезы, затруднительно. Начальный момент врезания при торцовом фрезеровании с углом в плане $\varphi = 45^\circ$ моделировался продольным точением заготовки резцом, имеющим главный угол в плане $\varphi = 45^\circ$, с продольной подачей s [мм/об]. Врезание выполнялось в заготовку, имеющую коническую поверхность, оставшуюся после отключения подачи в предыдущем эксперименте с таким же углом в плане $\varphi = 45^\circ$, что обеспечивало контакт резца сразу по всей длине режущей кромки в начальный момент её касания заготовки, как и при встречном фрезеровании.

Тангенциальная P_z , радиальная P_y и осевая P_x составляющие силы резания измерялись с помощью токарного динамометра Kistler (Швеция). Результирующая P_{xy} составляющих сил резания P_y [Н] и P_x [Н] рассчитывалась по формуле $P_{xy} = (P_{2x}^2 + P_{2y}^2)^{1/2}$ [Н].

Экстраполяцией на нулевую фаску по задней поверхности ($h_z \rightarrow 0 \text{ мм}$) определялись составляющие силы резания, действующие на

радиусном участке режущего клина с радиусом округления ρ [мм] ($Pz \rho$, $Pu \rho$, $Px \rho$) в период врезания, т.е. пока не начала образовываться стружка. Для уменьшения влияния радиуса округления режущей кромки на контактные напряжения на фаске задней поверхности режущая пластина затачивалась «на остро», но $\rho \approx 0,003-0,005$ мм в связи с зернистостью твёрдого сплава.

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 $\lambda=0^\circ$. На задней поверхности затачивалась искусственная фаска с различной длиной h_z с постоянным задним углом $\alpha_h=0^\circ$, моделирующая износ по задней поверхности. Длина этой фаски при её первоначальной заточке составляла $h_z = 0,95$ мм. После проведения серии экспериментов с дискретно изменяемой подачей s [мм/об] и глубиной резания t [мм] резец перетачивался только по главной задней поверхности, что позволяло уменьшать длину фаски на задней поверхности без изменения её заднего угла $\alpha_h = 0^\circ$.

Нормальное σ_h [МПа] и касательное τ_h [МПа] контактные напряжения на фаске задней поверхности рассчитывалось методом переменной фаски [1, 2]. Пример распределения контактных напряжений на фаске задней поверхности приведён на рис. 4.

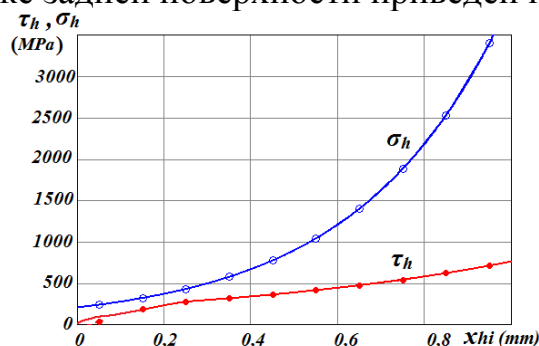


Рис. 4. Распределение контактных напряжений на фаске задней поверхности (МПа) при врезании. $t = 2$ мм, $v = 2$ м/с, $s = 0,07$ мм/об

У режущей кромки контактные напряжения малы, а при удалении от неё быстро увеличиваются. Это связано с влиянием прогиба поверхности резания [6].

Для расчёта напряжённо-деформированного состояния (НДС) режущего клина зуба фрезы была создана 3-D модель режущей пластины. К округлённому участку режущей кромки и фаске задней поверхности этой пластины прикладывались контактные напряжения, которые экспериментально были получены при врезании.

Расчёт напряжений в режущем клине резца методом конечных элементов с использованием программы ANSYS12 показал, что при малых подачах $s = 0,07$ мм/об и малой длине фаски износа на задней поверхности $hf = 0,13$ мм на округлённом участке режущей кромки возникают напряжения сравнительно небольшой величины σ_x наиб = 996 МПа. Учитывая, что в принятой расчётной модели ось OX направлена горизонтально от главной режущей кромки и перпендикулярно ей, то это напряжения сжатия. При этом наибольшие эквивалентные напряжения достаточно велики $\sigma_{\text{экв}}$ наиб = 1591 МПа, но они в 2,5 раза меньше предельно допустимых. При той же подаче, но увеличении длины фаски износа на задней поверхности $hf = 0,54$ мм в режущем клине напряжения уменьшаются до σ_x наиб = 77 МПа, что связано с увеличением объёма режущего клина в этой области, но небольшим увеличением контактных напряжений из-за прогиба поверхности резания (см. рис. 4). При этом наибольшие эквивалентные напряжения также уменьшаются (до $\sigma_{\text{экв}}$ наиб = 935 МПа).

При большой подаче и длине фаски износа на задней поверхности hf в режущем клине возникают уже напряжения растяжения сравнительно небольшой величины σ_x наиб = -520 МПа (рис. 5 а). В направлении оси OY, направленной вертикально вверх при расчёте МКЭ, действуют напряжения растяжения примерно такой же величины (σ_x наиб = -390 МПа). Касательные напряжения также невелики τ_{xy} наиб = -503 МПа. При этом наибольшие эквивалентные напряжения достаточно велики $\sigma_{\text{экв}}$ наиб = 3605 МПа (рис. 5 б) и приближаются к предельно допустимым, что приводит к увеличению вероятности выкрашивания режущей кромки.

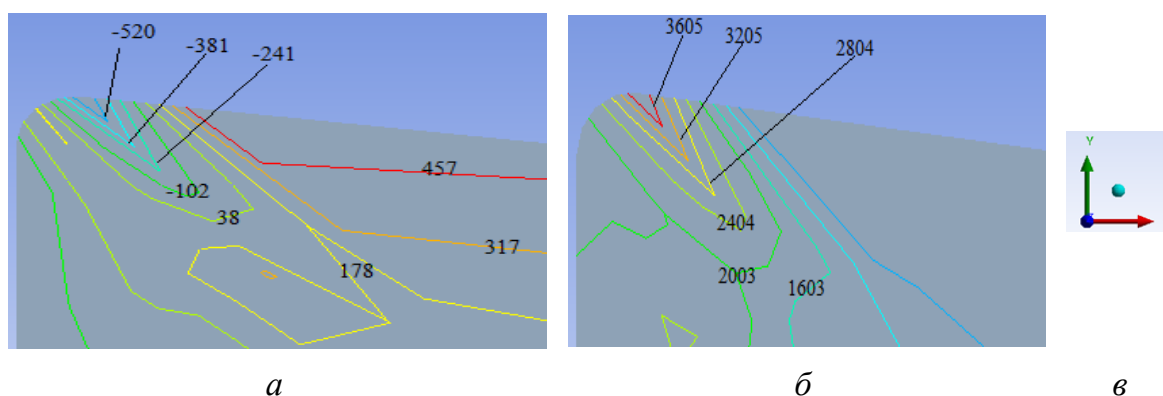


Рис. 5. Распределение нормального σ_x (а) и эквивалентного $\sigma_{\text{экв}}$ (б) напряжений [МПа] в режущем клине резца при врезании в стальную заготовку; направление осей при расчёте МКЭ (в). Сталь 40Х - Т15К6; $\gamma = 7^\circ$, $v = 2$ м/с; $s = 0,52$ мм/об; $t = 1,8$ мм; $\rho = 0,003$ мм; $hf = 0,54$ мм

Увеличение подачи при постоянной фаске на задней поверхности $h_z = 0,54$ мм приводит к увеличению всех видов внутренних напряжений, но подача более значительно влияет на эквивалентные внутренние напряжения (рис. 6).

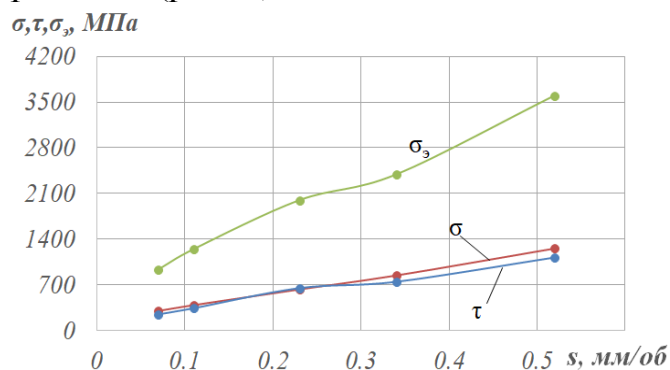


Рис. 6. Зависимость внутренних напряжений [МПа] от подачи s [мм/об] при постоянной длине фаски на задней поверхности $h_f = 0,54$ мм. Сталь 40Х - Т15К6; $t = 2$ мм; $v = 2$ м/с. σ - нормальное напряжение; τ - касательное напряжение; σ_3 - эквивалентное напряжение.

Увеличение длины фаски на задней поверхности до $h_z = 0,95$ мм при подаче $s = 0,52$ мм/об приводит к увеличению наибольших эквивалентных напряжений до 4053 МПа, что сопоставимо с напряжениями, появляющимися при обработке труднообрабатываемых материалов [4-6].

Заключение

1. При встречном фрезеровании в начальный момент врезания составляющие силы резания кратковременно увеличиваются почти в два раза по сравнению с установившемся резании.

2. При врезании на фаске задней поверхности контактные напряжения у режущей кромки малы, но затем существенно увеличиваются при отдалении от режущей кромки. Это связано с восстановлением прогиба поверхности резания.

3. Характер эпюр контактных напряжений на фаске задней поверхности при врезании и установившемся резании приблизительно одинаков, что говорит о влиянии прогиба поверхности резания.

4. При малых подачах и малой длине фаски износа на задней поверхности в режущем клине возникают напряжения сжатия сравнительно небольшой величины $\sigma_x = 996$ МПа. При этом наибольшие эквивалентные напряжения достаточно велики $\sigma_{эв} = 1591$ МПа, но в 2,5 раза меньше предельно допустимых.

5. При малой подаче $s = 0,07$ мм/об и средней длине фаски износа на задней поверхности $h_3 = 0,54$ мм в режущем клине нормальные напряжения уменьшаются до $\sigma_x = 77$ МПа, что связано с увеличением объема режущего клина в этой области, но небольшим увеличением контактных напряжений из-за прогиба поверхности резания.

6. Увеличение подачи при постоянной фаске на задней поверхности приводит к увеличению всех видов внутренних напряжений, но подача более значительно влияет на эквивалентные внутренние напряжения.

7. При увеличении подачи и длины фаски на задней поверхности наибольшие эквивалентные напряжения $\sigma_{\text{экв}} = 4053$ МПа приближаются к предельно допустимым, что приводит к увеличению вероятности выкрашивания режущей кромки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Козлов В. Н., Чжан Ц., Го И., Сабават С. К. Исследование контактных нагрузок при врезании [Электронный ресурс] / В. Н. Козлов [и др.]; науч. рук. В. Н. Козлов // Высокие технологии в современной науке и технике (ВТСНТ-2017) : сборник научных трудов VI Международной научно-технической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов, г. Томск, 27–29 ноября 2017 г. / Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ) ; под ред. А. Н. Яковлева. — Томск: Изд-во ТПУ, 2017. — [С. 315-316].
2. Kozlov V. N., Zhang J., Zhang J., Guo Y., Sabavath S. K. Research of Contact Stresses Distribution on Plunge-Cutting into a Steel Workpiece [Electronic resource] / V. N. Kozlov [et al.] // Key Engineering Materials : Scientific Journal. — 2018. — Vol. 769 : High Technology: Research and Applications (HTRA 2017). — [284-289].
3. Zhang J., Kozlov V. N., Guo Y., Sabavath S. K. 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].
4. Развитие науки о резании металлов /В.Ф. Бобров, Г.И. Грановский, Н.Н. Зорев и др. – Москва: Машиностроение, 1967. – 416 с.

5. J. Hu, Y. K. Chou, Characterizations of cutting tool flank wear-land contact, *Wear* (2007) 263, Iss 7-12 SPEC. ISSS 1454-1458.
6. V. N. Kozlov, Flank Contact Load Distribution at Cutting Tool Wear, *Proc. 7th Int. Forum on Strategic Technology* (2012) 2 147-151.

ВЛИЯНИЯ ИЗНОСОСТОЙКОГО ПОКРЫТИЯ НА РАБОТОСПОСОБНОСТЬ РЕЖУЩИХ ПЛАСТИН ПРИ ТОЧЕНИИ СТАЛИ

Лю Шэньян, Чжан Цзяюй, Козлов Виктор Николаевич

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

Для повышения производительности обработки и качества деталей сегодня практически всегда используются инструменты с износостойкими покрытиями [1, 2, 3]. Применение покрытия позволяет не только увеличить стойкость режущего инструмента, но и уменьшить коэффициент трения на рабочих поверхностях, что приводит к уменьшению шероховатости обработанной поверхности, степени наклёпа и остаточных напряжений в поверхностном слое.

Синтезирование покрытий на основе различных соединений тугоплавких металлов (нитриды, карбиды, бориды, оксиды и их смеси) и нанесение нескольких слоёв позволяет существенно увеличить долговечность такого композиционного покрытия. Толщина каждого слоя возможна всего нескольких тысячных долей микрометра, что позволяет уменьшить расход дефицитных и дорогих материалов, сократить время нанесения покрытия. Вопрос надёжности работы такого тонкого покрытия решается путём совершенствования технологии нанесения покрытия и уменьшения тем самым различных дефектов, достижения наибольшей прочности, вплоть до так называемой теоретической прочности.

При нанесении покрытия одной из главных задач является прочность его сцепления с основным режущим материалом. Для этого необходима близость и совместимость их кристаллохимических и физико-механических свойств и совместимы, предотвращение пограничных реакций. Особенно актуально эта задача встаёт при высокой температуре резания, что характерно при промышленных режимах резания для достижения наибольшей производительности.