

Хэ Лин (Китай), Ян Анькан (Китай),
Козлов Виктор Николаевич (Россия)

Томский политехнический университет, г. Томск

Научный руководитель: Козлов Виктор Николаевич,
канд. техн. наук, доцент

ВЛИЯНИЕ ПЕРЕДНЕГО УГЛА И ТОЛЩИНЫ СРЕЗА НА РАСПРЕДЕЛЕНИЕ КОНТАКТНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ ПРИ ОБРАБОТКЕ СТАЛИ

Для оценки прочности режущего инструмента необходимо рассчитать его напряжённо-деформированное состояние (НДС), основными параметрами которого являются распределение **эквивалентных** напряжений $\sigma_{\text{экв}}$ (МПа) и **нормальных** напряжений по осям OZ (σ_z), OY (σ_y) и OX (σ_x), а также распределение **общих деформаций** $\epsilon_{\text{общ}}$. Принято принимать направление этих осей такое же, что и направление осей технологических составляющих P_z , P_y и P_x силы резания (рис. 1).

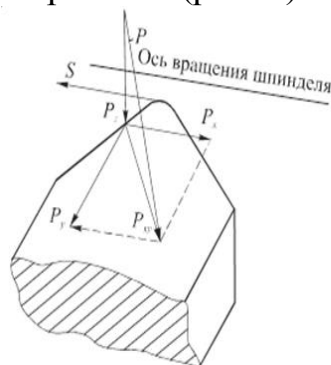


Рис. 1. Направление технологических составляющих P_z , P_y и P_x силы резания

При анализе НДС режущей части режущего инструмента в (режущего клина) рассчитываются также **касательные** напряжения, действующие в соответствующих плоскостях: τ_{xy} – действуют в плоскости XOY; τ_{zy} – действуют в плоскости ZOY; τ_{zx} – действуют в плоскости ZOX.

Прочность режущей части инструмента более важна при черновой обработке, когда глубина резания более 3 мм, а подача более 0,3 мм/об.

При существенной глубине резания t (более 2 мм) это влияние становится незначительным, однако даже небольшие нагрузки со стороны вспомогательной режущей кромки приводят ко всестороннему сжатию и в первичной зоне пластических деформаций (что уменьшает общие силы резания), и в режущей части, что позволяет выдерживать бóльшие нагрузки даже хрупкому твёрдосплавному материалу инструмента [1, 2].

Поэтому можно воспользоваться изучением изменения составляющих силы резания и распределения контактных напряжений при разных режимах резания и величины переднего угла γ при прямоугольном свободном точении диска с радиальной подачей (рис. 2).

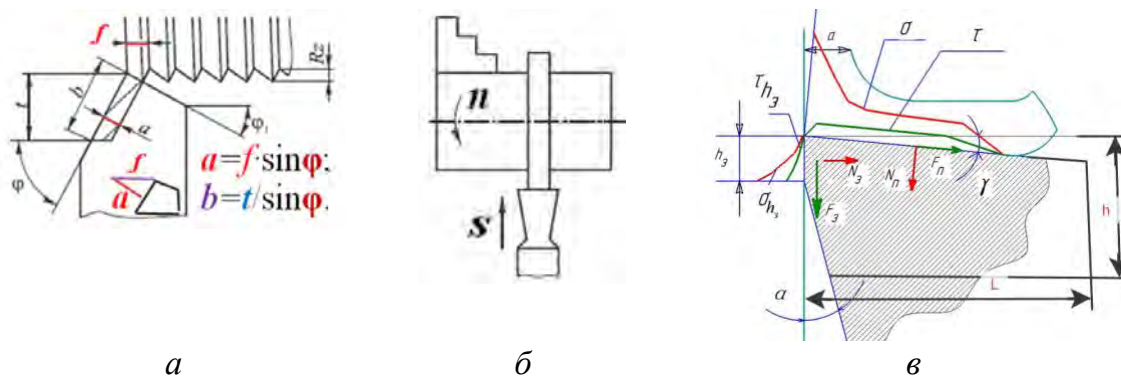


Рис. 2. Приведение косоугольного несвободного резания (а) к прямоугольному свободному резанию, реализуемому при точении диска с радиальной подачей s (б); и распределение нормальных σ и касательных τ контактных напряжений на передней поверхности резца и нормальных σ_h и касательных τ_h контактных напряжений на искусственной фаске износа по задней поверхности при обработке стали (в)

Для реализации прямоугольного свободного резания (рис. 2, б) необходимо большое количество заготовок-дисков, что приводит к увеличению стоимости подготовки к экспериментам. К тому же при точении диска уменьшается его диаметр d (мм) и, соответственно, скорость резания v : $v = \pi \cdot d \cdot n / 1000$ (м/мин), где n – частота вращения шпинделя (об/мин):

По измеренным во время эксперимента технологическим составляющим P_z , P_y и P_x силы резания рассчитывались её физические, при положительном переднем угле γ схема действия технологических составляющих представлена на рис. 3.

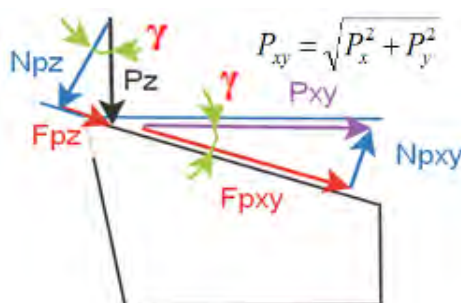


Рис. 3. Схема действия технологических (P_z и P_{xy}) и физических (N и F) составляющих силы резания при положительном переднем угле γ

Учитывая направление векторов составляющих силы резания выводится формула расчёта физических составляющих:

$$N = N_{Pz} - N_{P_{xy}} = P_z \times \cos \gamma - P_{xy} \times \sin \gamma;$$

$$F = F_{P_{xy}} + F_{Pz} = P_{xy} \times \cos \gamma + P_z \times \sin \gamma.$$

После проведения эксперимента измерялась длина контакта стружки с передней поверхностью c (мм), которая необходима для расчёта касательного контактного напряжения на передней поверхности τ на первом участке, где оно неизменно (рис. 2, в). Учитывая, что при обработке стали длина этого участка пластического контакта стружки c_1 равна половине длине контакта стружки c , т.е. $c_1 = 0,5 \cdot c$, и простой характер эпюры касательных контактных напряжений τ , можно использовать формулу:

$$\tau_{\max} = \tau_{\text{const}} = F / (c \times 0,75 \times b) \text{ (Н/мм}^2\text{) или (МПа)}.$$

Эпюра нормальных контактных напряжений σ строится относительно эпюры касательных контактных напряжений τ с учётом изменения условного коэффициента трения стружки с передней поверхностью $\mu_i = \tau_i / \sigma_i = f(\psi_i)$, где ψ – относительная длина контакта, $\psi_i = x_i / c$ [3, 4].

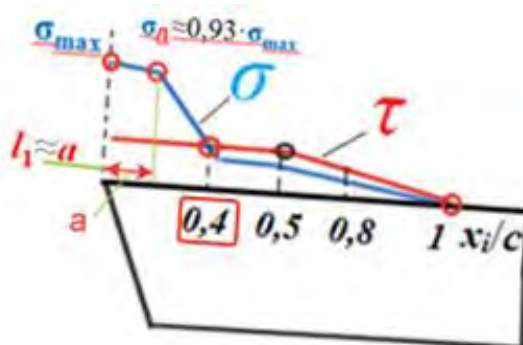


Рис. 4. Положение опорных точек при построении эпюры нормальных контактных напряжений σ относительно эпюры касательных контактных напряжений τ

Построение эпюр контактных напряжений очень трудоёмкий процесс, который сводится к определению величины наибольшего контактного напряжения σ_{\max} непосредственно у режущей кромки путём сравнения нормальной силы N_{σ} , полученной по эпюре σ , с величиной нормальной силы $N_{\text{эксп}}$, полученной экспериментально, т.е. чтобы $N_{\sigma} \approx N_{\text{эксп}}$ [4].

Определение σ_{\max} представляет особый интерес, т.к. определить экспериментально этот параметр невозможно ни одним способом: метод разрезного резца [1-6] не позволяет это сделать из-за выкрашивания или даже поломки режущих пластин при попытках приблизиться ближе

0,2 мм к режущей кромке, а методы лазерной интерферометрии [6] и поляризационно-оптический [1, 2, 5] не позволяют получить чёткую картину разделения полос у режущей кромки.

Остальные основные параметры эпюры σ определяются однозначно через условный коэффициент трения стружки с передней поверхностью μ ; относительно эпюры касательных контактных напряжений τ [4].

Анализ эпюр контактных напряжений для разных толщин среза a от 0,05 до 0,368 мм при разных передних углах γ от -10° до $+35^\circ$ позволил выявить закономерности изменения основных параметров эпюр (σ_{\max} , σ_{const} , L_2 , $\tau_{\max} = \tau_{\text{const}}$), по которым можно быстро и легко построить эпюры контактных напряжений при обработке стали 40X.

Наибольший интерес представляют графики влияния толщины среза a и переднего угла γ на **наибольшее нормальное** контактное напряжение σ_{\max} на передней поверхности (рис. 5), поскольку эта величина определяет нагрузку на передней поверхности неизношенного режущего инструмента.

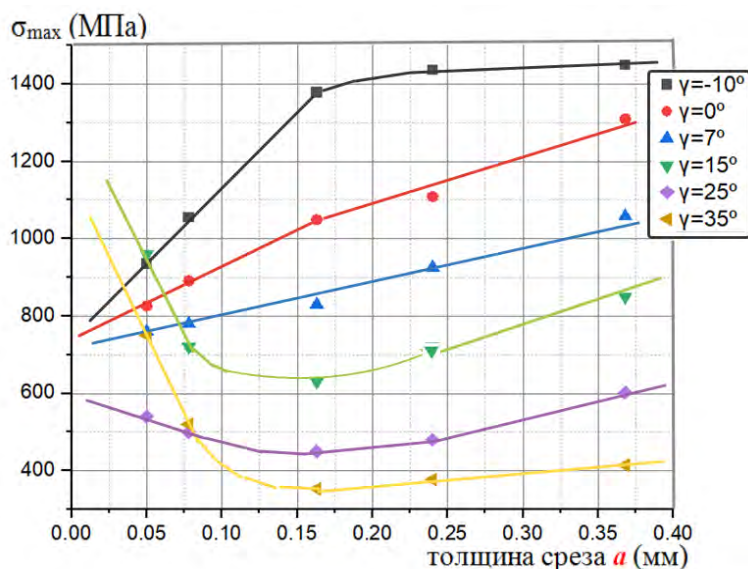


Рис. 5. Влияние толщины среза a и переднего угла γ на **наибольшее нормальное** контактное напряжение σ_{\max} на передней поверхности при обработке стали 40X.

Из графиков рис. 5 видно, что уменьшение переднего угла от $+35^\circ$ до -10° приводит существенному увеличению σ_{\max} от 400 до 1400 Н в диапазоне толщины среза от 0,368 до 0,17 мм, что не вызывает противоречий с имеющимися представлениями о контактных процессах.

При толщине среза менее 0,17 мм σ_{\max} начинает интенсивно уменьшаться при $\gamma = -10^\circ$, но наоборот увеличиваться при $\gamma = +35^\circ$ и $+15^\circ$.

Уменьшение σ_{\max} при $\gamma = -10^\circ$ и малой величине толщины среза ($a < 0,15$ мм) связано, на наш взгляд, с появлением небольшого нароста и увеличением действительного переднего угла. При большой толщине среза это влияние не столь существенное.

Второй фактор, способствующий уменьшению σ_{\max} при $\gamma = -10^\circ$ и $a < 0,15$ мм связан с увеличением прогиба поверхности резания [7] что, таким образом, приводит к уменьшению давления на переднюю поверхность вблизи режущей кромки за счёт **перераспределения** нормальной нагрузки на остальную часть контакта стружки с передней поверхностью.

Поэтому парадоксальное большое увеличение σ_{\max} при $\gamma = +35^\circ$ и малой величине толщины среза ($a < 0,1$ мм) связано, на наш взгляд, также с ухудшением условий для образования малого нароста: при $\gamma > +25^\circ$ вероятность появления нароста резко уменьшается, что приводит к увеличению σ_{\max} . Также действует второй фактор: увеличение γ приводит к уменьшению радиальной составляющей силы на передней поверхности, что уменьшает прогиб поверхности резания [7] и приводит к увеличению давления на переднюю поверхность вблизи режущей кромки.

Увеличение σ_{\max} при $\gamma = +15^\circ$ и малой величине толщины среза ($a < 0,1$ мм) непонятно и нами объяснено не может, т.к. условия образования нароста при достаточно большом переднем угле при малой толщине стружки не благоприятны, а прогиб поверхности резания не может существенно отличаться от условий при $\gamma = +7^\circ$, где нет увеличения σ_{\max} при $a < 0,15$ мм.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Развитие науки о резании металлов /В.Ф. Бобров, Г.И. Грановский, Н.Н. Зорев и др. – Москва: Машиностроение, 1967. – 416 с.
2. Контактные нагрузки на режущих поверхностях инструмента/Полетика М.Ф. – Москва: Машиностроение, 1969. – 148 с.
3. Методика измерения контактных напряжений на поверхностях резца [Электронный ресурс] / 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]. –Заглавие с титульного экрана. –Свободный доступ из сети Интернет.

4. 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] .
5. Полетика М.Ф., Утешев М.Х. Исследование процесса резания поларизационно-оптическим методом. – Известия Томского политехнического института. 1964. т. 114. С. 21-32.
6. Филиппов А.В., Проскоков А.В. Исследование процесса стружкообразования при резании металлов методом цифровой корреляционной спекл-интерферометрии. Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Машиностроение, 2014, № 2, с. 100–113.
7. 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]. –Заглавие с экрана. –Свободный доступ из сети Интернет. Режим доступа: <http://earchive.tpu.ru/handle/11683/51571>

Ци Мэнсюй (Китай),
Мартюшев Никита Владимирович (Россия),
Козлов Виктор Николаевич (Россия)

Томский политехнический университет, г. Томск
Научный руководитель: Мартюшев Никита Владимирович,
канд. техн. наук, доцент

ПРИМЕНЕНИЕ ФРЕЗЕРОВАНИЯ В АДДИТИВНО-УБТРАКТИВНОЙ ТЕХНОЛОГИИ

Для получения высокой точности и низкой шероховатости, повышения качества поверхности, предлагается применять субтрактивную обработку. Аддитивные технологии всегда сопровождаются быстрым нагревом и последующим охлаждением. В результате на поверхности изделия