

Чжан Цинжун (Китай), Шэ Лу (Китай),
Козлов Виктор Николаевич (Россия)

Томский политехнический университет, г. Томск

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

ВЛИЯНИЕ ПЕРЕДНЕГО УГЛА НА СИЛЫ РЕЗАНИЯ ПРИ ОБРАБОТКЕ ТИТАНОВОГО СПЛАВА

При обработке титановых сплавов происходит интенсивный износ режущего инструмента по задней поверхности, что вызывает увеличение силы резания, а также ухудшение качества обработки.

При этом происходит появление фаски на передней поверхности с большим отрицательным передним углом $\gamma_f = -20 \dots -30^\circ$, а также округление режущей кромки до радиуса $\rho = 5 \dots 10$ мм [1-4].

Наши исследования, выполненные при точении периферии диска с радиальной подачей разрезного резца, т.е. при прямоугольном свободном резании, показали, что при заточке фаски длиной $f = 3$ мм на передней поверхности с большим отрицательным передним углом $\gamma_f = -20 \dots -30^\circ$ существенно увеличиваются силы на передней поверхности, но силы на искусственной фаске износа по задней поверхности с задним углом $\alpha_h = 0^\circ$ увеличиваются незначительно. Из-за малой длины контакта титановой стружки с передней поверхностью контакт стружки происходит только с поверхностью этой фаски, поэтому было принято, что передний угол γ равен γ_f .

Измерение составляющих P_z и P_y силы резания выполнялось при прямоугольном свободном точении периферии диска из титанового сплава ВТЗ-1 с радиальной подачей s_y (мм/об), поэтому сила P_x не проявлялась, а толщина среза $a = s_y$ (мм).

Силы на фаске передней поверхности, т.е. на передней поверхности с передним углом γ , выделялись из общих сил резания методом экстраполяции на нулевую искусственную фаску износа по задней поверхности. С уменьшением переднего угла силы существенно увеличиваются (рис. 1).

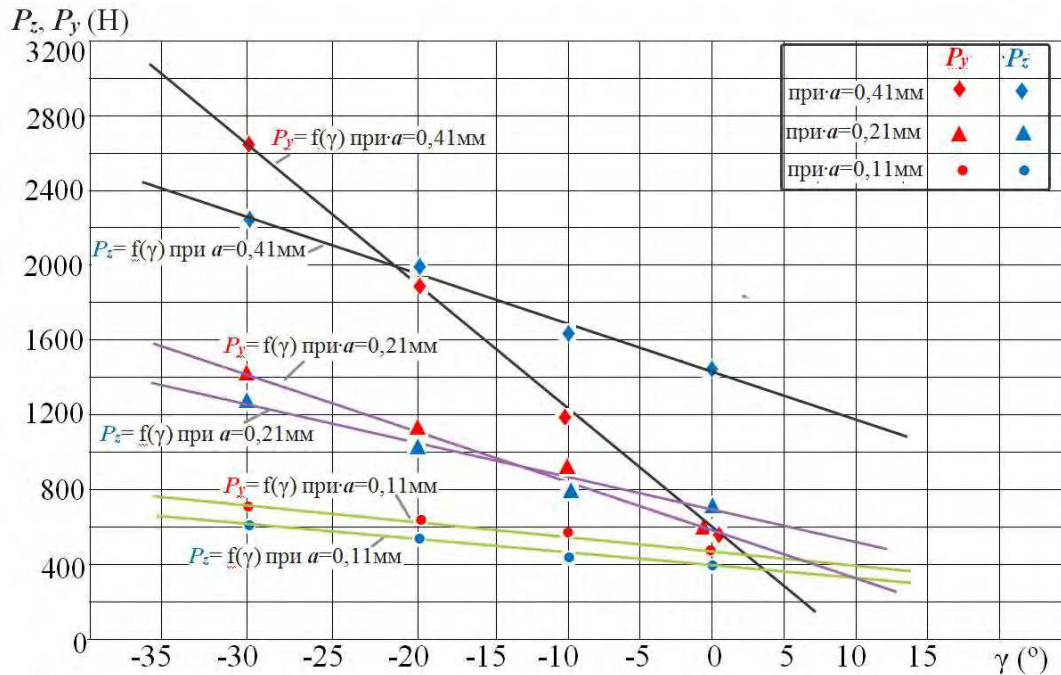


Рис. 1. Влияние величины переднего угла γ ($^\circ$) на составляющие P_y и P_z (Н) силы резания при обработке неизношенным резцом. ВТЗ-1-ВК8, $b = 2,3 \text{ мм}$, $\alpha = 10^\circ$

Величина контактных напряжений на фаске задней поверхности длиной h_3 (мм) определялась методом переменной фаски, т.е. удельные контактные нагрузки на фаске задней поверхности рассчитывались как отношение приращения силы к приращению площади контакта, вызванной приращением длины фаски h_3 [5].

Было исследовано также влияние **скорости резания v** на составляющие силы резания при точении периферии диска с радиальной подачей разрезного резца, т.е. при прямоугольном свободном резании (рис. 2). Наибольшая скорость резания применялась 60 м/мин, поэтому были выполнены измерения сил резания при меньшей скорости резания, т.к. при $v > 60$ м/мин происходит интенсивный износ и геометрия резца меняется, что не позволяет сравнивать результаты.

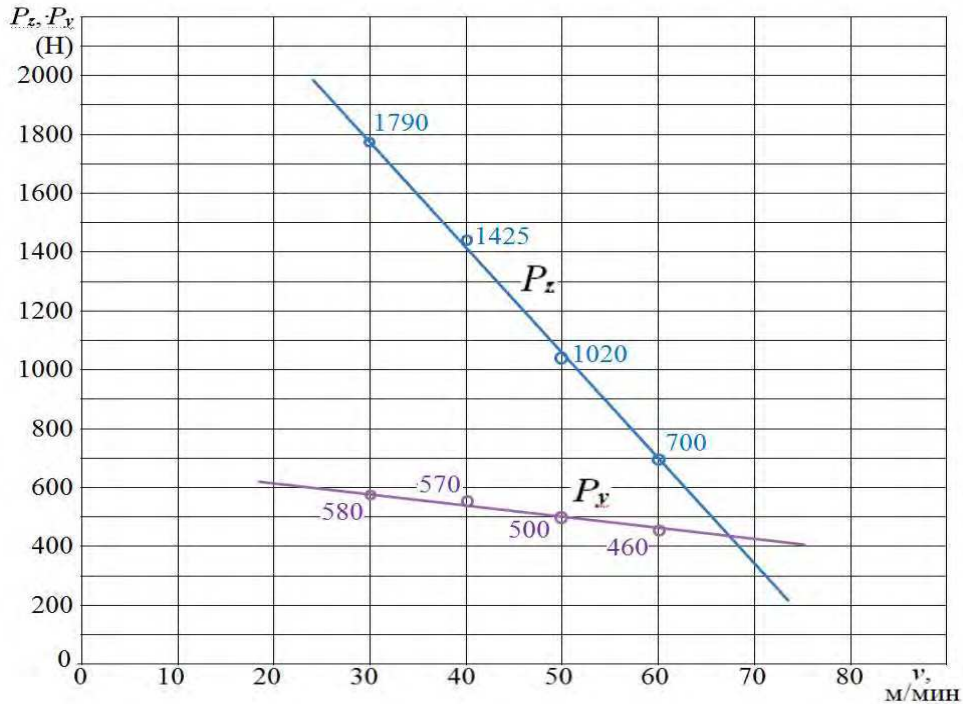


Рис. 2. Влияние скорости резания v (м/мин) на составляющие P_y и P_z (Н) силы резания при обработке неизношенным резцом. ВТЗ-1-ВК8, $\gamma = 0^\circ$, $b = 2,3$ мм, $\alpha = 10^\circ$, $s_y = 0,21$ мм/об

Из графиков на рис. 2 видно, что составляющие силы резания увеличиваются при уменьшении скорости резания, особенно сила P_z , что связано с уменьшением температуры в зоне стружкообразования и соответствующим увеличением прочности титанового сплава, что приводит к увеличению сопротивления к отделению элементов стружки.

Касательная сила $F = P_y$ при $\gamma = 0^\circ$ изменяется не столь существенно, что объясняется нами достижением предела прочности на сдвиг приконтактного слоя стружки, но и он немного уменьшается с уменьшением скорости резания, а значит и температуры. Приконтактный слой имеет температуру более высокую, чем остальной объём стружки, из-за нагрева со стороны резца, поэтому и не реагирует так интенсивно на уменьшение скорости резания.

Поскольку требуемая мощность станка зависит только от силы P_z , то выгоднее вести обработку с высокой скоростью резания. Однако интенсивность износа при этом резко увеличивается.

Было исследовано также влияние величины радиуса округления режущей кромки ρ на силы резания, которое показало более существенное увеличение составляющей P_y силы резания по сравнению с силой P_z даже при отсутствии фаски износа. В случае резания инстру-

ментом с округленной режущей кромкой следует разделять силы, действующие на радиусном участке передней поверхности, на радиусном участке задней поверхности и на плоском участке фаски задней поверхности.

Но, даже зная силы на радиусном участке как разницу сил, полученных методами экстраполяции на нулевую толщину среза и на нулевую фаску износа, трудно разделить её на составляющие, действующие на участках передней и задней поверхности. Достоверно неизвестно и расположение линии пересечения фактической поверхности среза с поверхностью радиусного участка.

В целом величина наибольших нормальных контактных нагрузок на искусственной фаске износа с задним углом на ней $\alpha_h = 0^\circ$ парадоксально уменьшается в 2 раза при появлении округления режущей кромки. Это объясняется нами появлением застойной зоны на радиусном участке передней поверхности и уменьшением контакта на плоском участке искусственной фаски износа задней поверхности.

О наличии застойной зоны свидетельствует сохранение на радиусном участке резца рисок, оставленных при заточке шлифовальным крутом. Увеличение составляющих силы резания на передней поверхности при округлении режущей кромки объясняется небольшими размерами застойной зоны, не позволяющими компенсировать рост сопротивления стружкообразованию со стороны передней поверхности. Для изменения же нормальных контактных нагрузок на фаске задней поверхности достаточно даже незначительных изменений застойной зоны в связи с жесткостью контакта по задней поверхности.

Величина наибольших контактных нагрузок $\sigma_{h \max}$, $\tau_{h \max}$ и длина горизонтального участка эпюры σ_h на плоском участке фаски задней поверхности прямо пропорциональны радиусу округления ρ , что объясняется увеличением объёма материала, вдавливаемого под режущую кромку. Происходит это за счёт увеличения упругой деформации материала заготовки в области стружкообразования, что косвенно подтверждается прямо пропорциональной зависимостью силы $P_{y \Pi}$ на передней поверхности инструмента от радиуса округления. При этом предполагается, что угол наклона условной плоскости сдвига изменяется незначительно, а значит и среднее напряжение, нормальное к поверхности резания в области стружкообразования, будет увеличиваться.

Сходные условия создаются, на наш взгляд, и при резании с большим отрицательным передним углом. Так, при резании ВТЗ-1 с передним углом $\gamma = -30^\circ$, радиальная составляющая силы резания на передней поверхности $P_{y \Pi} = 1400$ Н, что больше в 3 раза, чем при реза-

нии с передним углом $\gamma = 0^\circ$ ($P_{y_n} = 440$ Н). В то же время уровень нормальных контактных нагрузок вдвое меньше. Обращает на себя внимание примерное равенство нормальных контактных нагрузок на фаске при резании инструментом с большим отрицательным передним углом $\gamma = -30^\circ$ ($\sigma_h = 1300$ МПа) и с округленной режущей кромкой ($\rho = 0,07 \dots 0,35$ мм, $\sigma_h = 1370 \dots 1650$ МПа) при одинаковых режимах обработки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Полетика М.Ф. Контактные нагрузки на режущих поверхностях инструмента. – М.,: Машиностроение, 1969.- 150 с.
2. Полетика М.Ф., Афонасов А.И. Контактные условия на задней грани инструмента при элементном стружкообразовании. Сб. статей "Прогрессивные технологические процессы в машиностроении". -Томск, 1997, с. 14-17.
3. Che-Haron, C.H. Tool life and surface integrity in turning titanium alloy. *Journal of Materials Processing Technology*, 118 (1-3) (2001) 231-237.
4. Справочное руководство ISCAR. Обработка титана. Электронный ресурс: https://www.iscar.ru/Catalogs/publication-2019/machining_titanium_rus_metric.pdf.
5. 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.