

Чжан Цзяюй, Чэнь Юэчжоу, Козлов Виктор Николаевич
Томский политехнический университет, г. Томск
Научный руководитель: Козлов Виктор Николаевич, к.т.н., доцент

ВЛИЯНИЕ ВИДА НАГРУЖЕНИЯ НА НАПРЯЖЁННО- ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА

При обработке материалов лезвийными инструментами большое значение имеет их прочность, особенно при черновой обработке, обработке труднообрабатываемых материалов, в том числе и титановых сплавов. Наиболее интенсивный износ режущего инструмента происходит по задней поверхности с появлением фаски длиной h_z (мм) с задним углом α_h (°).

Появление фаски износа существенно увеличивают силу резания, что приводит не только к выкрашиванию режущей кромки, но и поломке режущей пластины.

При черновой обработке стали увеличение фаски более 1,3 мм приводит к существенному увеличению радиальной R_y и осевой R_x составляющих силы резания и, как следствие этого, к разрушению режущей пластины. При обработке труднообрабатываемых и титановых сплавов происходит очень интенсивный износ по задней поверхности, при черновой обработке длина фаски износа по задней поверхности может достигать 5 мм [1, 2].

Для оценки прочности режущего клина необходимо знать распределение контактных напряжений поверхностях инструмента.

Некоторые исследователи считают, что для расчёта внутренних напряжений в режущем клине не обязательно знать истинное распределение контактных напряжений, достаточно лишь знать технологические составляющие силы резания, которые можно приложить к поверхности инструмента в точке центра сил.

Многие исследователи ограничиваются приложением равномерно распределённых удельных контактных нагрузок на передней поверхности и фаске задней поверхности в связи со сложностью определения распределения контактных напряжений. Но такой подход может привести к существенной погрешности расчёта напряженно-деформированного состояния (НДС) режущего инструмента. Поэтому целью данной работы является оценка степени погрешности расчёта НДС при таких подходах по сравнению с реальным распределением контактных напряжений.

Распределение нормальных σ и касательных τ контактных напряжений на передней поверхности резца исследовалось нами при прямоугольном свободном резании диска из титанового сплава ВТ3-1 с радиальной подачей s (мм/об) с помощью метода разрезного резца на специальном четырёхкомпонентном динамометре для разрезного резца [3], а распределение нормальных σ_h и касательных τ_h контактных напряжений на задней поверхности дополнительно с использованием метода переменной фаски на задней поверхности [3]. Износ моделировался заточкой фаски на задней поверхности длиной h_3 (мм) и задним углом $\alpha_h = 0^\circ$, который характерен для h_3 менее 1,9 мм.

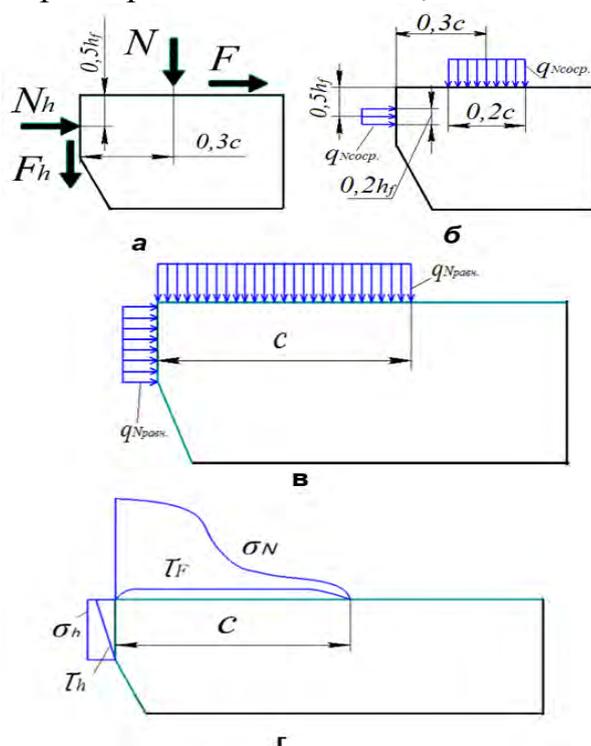


Рис. 1. Три вида нагружения режущего клина: а – приложение сосредоточенных сил в точке центра сил; б – замена сосредоточенных сил на равномерно распределённые удельные контактные нагрузки на небольшом участке; в – приложение равномерно распределённых удельных контактных нагрузок; г – приложение контактных напряжений, имеющих реальное распределение

Для контроля неизменности процесса резания при резании на разных участках режущей кромки разрезного резца, что необходимо делать при использовании этого метода, в каждой серии экспериментов измерялись технологические составляющие силы резания P_z и P_y (Н) и длина контакта стружки на передней поверхности резца c (мм). Физические составляющие силы резания на передней поверхности рассчитывались с учётом переднего угла γ .

Было исследовано влияние на НДС резца трёх видов нагружения: действие сосредоточенных составляющих силы резания (рис. 1 а), равномерного распределения удельных контактных нагрузок (рис. 1 в), реального распределения контактных напряжений (рис. 1г).

Расчёт внутренних напряжений выполнялся с использованием программного обеспечения ANSYS 14. При нагружении сосредоточенными силами возникают нереально огромные внутренние напряжения в точке приложения сил из-за концентрации напряжений, поэтому было решено заменить на равномерно распределённые, но на небольшом участке длиной 0,2 длин контакта стружки с (мм) с центром, расположенным на расстоянии 0,3с (мм) от режущей кромки (рис. 1 б).

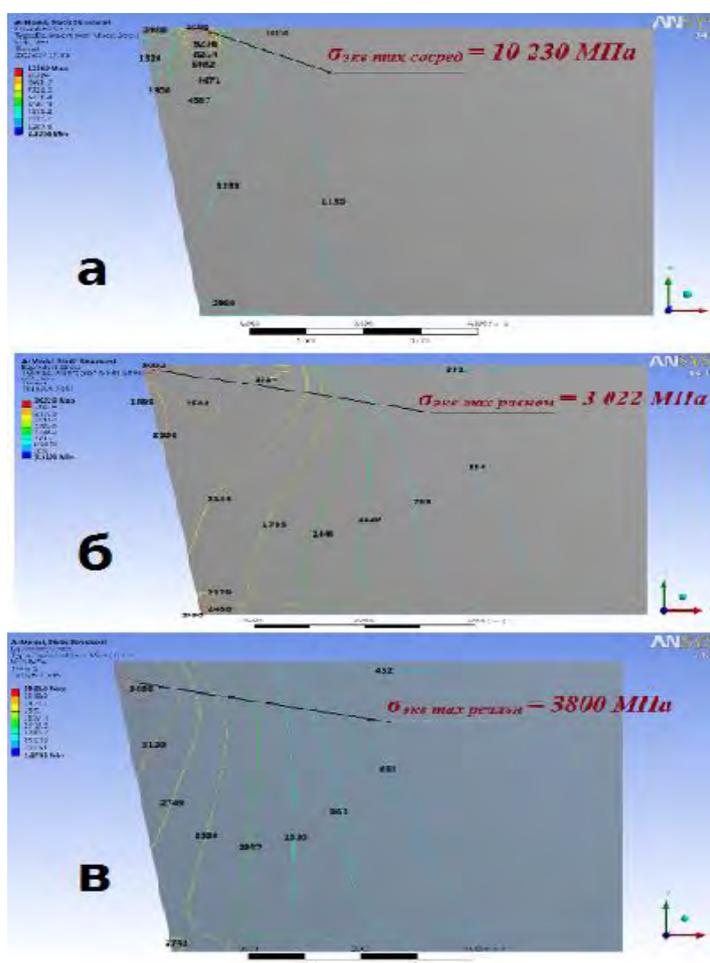


Рис. 2. Влияние 3 вида нагрузки на внутренние эквивалентные напряжения в режущем клине, МПа. (ВТ 3-1 - ВК8, $\gamma=0^\circ$, $\alpha_h = 0^\circ$, $v=1 \text{ м/с}$, $s=0,21 \text{ мм/об}$).
 а – при действии сосредоточенных сил; б – при действии равномерно распределённых удельных нагрузок; в – при действии контактных напряжений, имеющих реальное распределение.

При приложении сосредоточенных сил в виде равномерно распределённых удельных контактных нагрузок на небольшом участке, характер распределения внутренних напряжений (рис. 2 а) существенно отличается от остальных видов нагружения. При действии сосредоточенных сил даже не в точке, а на ограниченном участке длиной $0,2c$, наибольшие эквивалентные напряжения $\sigma_{\text{экв max соср}} = 10\ 230$ МПа, что превышает предельно допустимые в несколько раз и не соответствует действительности. Даже на расстоянии от режущей кромки более пяти длин контакта стружки с с передней поверхностью НДС сильно отличается от нагружения реальным распределением контактных напряжений.

Поэтому нагружение сосредоточенными силами абсолютно неприменимо, даже со ссылкой на принцип Сен-Венана, по которому на расстоянии более пяти длин контакта стружки с передней поверхностью нет особой разницы НДС режущего инструмента. Тем более, что нас интересует и область инструмента вблизи режущей кромки, где особенно большая нагрузка.

При приложении нагрузки в виде равномерно распределённых удельных контактных нагрузок на участке контакта стружки с передней поверхностью с, характер распределения внутренних эквивалентных напряжений (рис. 2 б) существенно отличается от предыдущего. Для этого вида нагружения характерным является расположение линий равных эквивалентных напряжений приблизительно перпендикулярно передней поверхности резца. Изменяется и положение наибольшей величины внутренних напряжений – она также находится на передней поверхности, но около режущей кромки, её величина составляет $3\ 022$ МПа.

В случае приложения реального распределения контактных напряжений наибольшая величина внутренних напряжений располагается уже на задней поверхности рядом с режущей кромкой, и её величина равна $3\ 800$ МПа, что на 25 % больше, чем при равномерном распределении. При этом видно, что расположение линий равных эквивалентных напряжений остаётся приблизительно таким же, что и при равномерном распределении. В рассматриваемой области действуют сжимающие напряжения, что благоприятно сказывается на прочности режущего инструмента, но наибольшая величина внутренних напряжений приближается к пределу прочности твёрдого сплава ВК8 на сжатие при размере зёрен карбида вольфрама от 2 до 5 мкм ($4\ 200$ МПа). Такая большая величина внутренних напряжений объясняет выкрашивание режущей кромки.

Разница в картинах напряжённого состояния доказывает необходимость исследования распределения контактных напряжений на поверхностях инструмента.

Поскольку разрушение режущего инструмента в большинстве случаев происходит из-за появления фаски на задней поверхности, то в наших исследованиях контактные процессы на фаске износа были предметом повышенного внимания.

Исследование распределения контактных напряжений показало, что при обработке титанового сплава ВТЗ-1 наибольшая величина нормального контактного напряжения на фаске задней поверхности σ_h тах располагается у режущей кромкой (рис. 3), но при удалении от неё величина нормального контактного напряжения быстро уменьшается до 1100...500 МПа. По нашему мнению такое быстрое уменьшение происходит из-за высокой температуры контакта и разупрочнения контактного слоя [4, 5]. Такой характер распределения σ_h объясняет работоспособность инструмента при обработке титанового сплава даже при очень большом износе. Малая величина касательных напряжений ($\tau_h = 800...700$ МПа) и их быстрое уменьшение при отдалении от режущей кромки также связана с высокой температурой контакта.

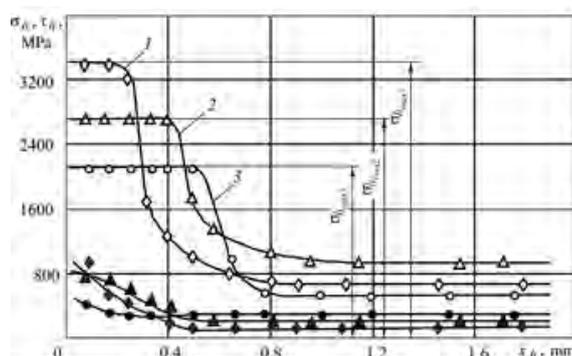


Рис. 3. Распределение нормальных (\diamond , Δ , \circ) σ_h и касательных (\blacklozenge , \blacktriangle , \bullet) τ_h контактных напряжений (МПа) на искусственной фаске износа по задней поверхности при обработке титанового сплава резцом без округления режущей кромки. (Абсцисса – расстояние от режущей кромки на фаске задней поверхности x_h , мм). ВТЗ-1 - ВК8, $\gamma=0^\circ$, $\alpha_h=0^\circ$, $\alpha=10^\circ$, $v=1$ м/с: 1 (\diamond , \blacklozenge) - $s=0,41$ мм/об; 2 (Δ , \blacktriangle) - $s=0,21$ мм/об; 3 (\circ , \bullet) - $s=0,11$ мм/об.)

При обработке титанового сплава острым резцом с передним углом $\gamma = 0^\circ$ у главной режущей кромки возникают большие сжимающие напряжения (до -3 300 МПа), приближающиеся к пределу прочности твёрдого сплава на сжатие (4 200 МПа), что приводит к выкрашиванию главной режущей кромки.

При появлении фаски на задней поверхности внутренние напряжения уменьшаются до 2 794 МПа, что приводит к увеличению надёжно-

сти работы инструмента, несмотря на то, что нормальные контактные напряжения у режущей кромки очень большие. Дальнейшее увеличение длины фаски износа приводит к увеличению внутренних напряжений сжатия (до $-2\ 906$ МПа), что ведёт к увеличению вероятности выкрашивания режущей кромки [4, 5, 6, 7].

Заключение

- При расчёте НДС режущего инструмента приложение сосредоточенной нагрузки приводит к недопустимо большим погрешностям.
- Приложение равномерно распределённой контактной нагрузки приводит к уменьшению на 25 % наибольших эквивалентных напряжений по сравнению с приложением реального распределения внешних контактных напряжений.
- Погрешности, допущенные при исследовании распределения контактных напряжений на рабочих поверхностях инструмента методом разрезного резца, несущественно влияют на распределение внутренних напряжений в режущем клине.
- Появление небольшого износа по задней поверхности благоприятно сказывается на прочности режущего клина при обработке титанового сплава.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Афонасов А. И. Обрабатываемость заготовок из титанового сплава BT22, прошедших горячую обработку с защитными покрытиями / А. И. Афонасов // Справочник. Инженерный журнал. – 2014. – № 8. – С. 18-21.
2. Верещака А. С., Анিকেев А. И., Дачева А. В. Повышение эффективности резания труднообрабатываемых материалов / А. С. Верещака, А. И. Анিকেев, А. В. Дачева // Технология машиностроения. – 2010. – № 3. – С.17-22.
3. 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/ отв. ред. А. Ш. Бодрова, Е. В. Колесникова. –Томск: Изд-во Том. гос. пед. ун-та, 2016, с. 97-105.
4. Аршинов С. В., Горелов В. А., Кушнер В. С., Бургонова О. Ю. Сопротивление титановых сплавов резанию / С. В. Аршинов, В. А. Горелов, В. С. Кушнер, О. Ю. Бургонова // Вестник машиностроения. – 2015. – № 10. – С. 75-80.