

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА РЕЗАНИЯ ПРИ СТРОГАНИИ

Дин Ц.¹, Чжан Х.², Козлов В.Н.³

¹НИ ТПУ, ИШНПТ, зр. 4АМ21,

Е-mail: czezhu1@tpu.ru;

²НИ ТПУ, ИШНПТ, зр. 4АМ21,

Е-mail: 1764602262@qq.com;

³НИ ТПУ, ИШНПТ, доцент ОМШ,

Е-mail: kozlov-viktor@bk.ru

При несвободном резании большая часть силы резания приходится на главную режущую кромку, особенно при глубине резания t более 1 мм (рис. 1). Напряженно-деформированное состояние (НДС) режущего клина в главной секущей плоскости, проходящей на расстоянии более трёх радиусов в вершине r , предполагается плоским и должно быть таким же, как и при прямоугольном свободном резании [1–4] (рис. 2).

Для изучения процесса резания и измерения составляющих силы резания часто используется строгание полосы из обрабатываемого материала, закреплённой в тисках, которые устанавливаются на динамометре. Он, в свою очередь, устанавливается на столе вертикально-фрезерного станка. Скорость резания v обеспечивается за счёт продольной подачи стола $s_{\text{мин}}$ (мм/мин). При такой схеме обработки резец неподвижен, поэтому удобно наблюдать за процессами со стороны его боковой поверхности. Для записи процесса образования стружки используется видео камера.

Недостатком этого способа является небольшая скорость резания, поскольку даже при наибольшей продольной подаче стола $s_{\text{мин}} = 1250$ мм/мин скорость резания составляет $v = s_{\text{мин}} / 60 = 20,8$ м/мин, поэтому результаты экспериментов можно использовать только для инструментов, изготовленных из быстрорежущей стали.

При точении незакаленной конструкционной стали твердосплавными инструментами, применяемыми в производстве, скорость резания составляют от 120 м/мин при черновой обработке до 450 м/мин при получистовой обработке.

В нашем исследовании мы использовали программное обеспечение Compass для моделирования режущего клина резца и заготовки, после чего их импортировали в программное обеспечение Workbench ANSYS для моделирования процесса строгания. Этот метод позволяет исследовать процесс резания без использования динамометра и устанавливать высокую скорость резания. Подобное моделирование выполнялось и другими исследователями [5–7], но с другими материалами заготовки.

В нашем случае мы установили размер виртуальной заготовки $200 \times 100 \times 20$ мм, а передний угол токарного инструмента $\gamma = 40^\circ$ (рис. 3). Для обеспечения скорости резания $v = 120$ м/мин необходимо настроить инструмент на движение в направлении оси OX со скоростью 3 м/с. Так как при моделировании нет необходимости оставлять инструмент неподвижным, то использовалось перемещение резца, а не заготовки (рис. 4).

Было наложено фиксированное ограничение снизу на смещение в направлениях осей OX, OY и OZ четырех поверхностей, за исключением поверхности разреза, на небольшую часть заготовки снизу.

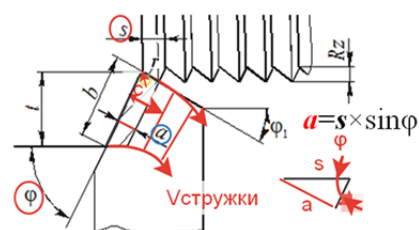


Рис. 1. Основные параметры геометрии токарного резца и режима резания на виде сверху при несвободном косоугольном резании

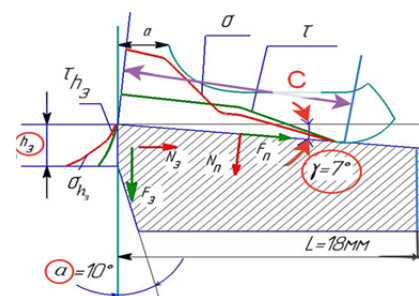


Рис. 2. Распределение контактных напряжений на поверхностях резца в главной секущей плоскости

Поскольку программа ANSYS не может моделировать износ по задней поверхности режущего инструмента, будем считать, что резец не изнашивается при строгании этой заготовки длиной 200 мм, что вполне допустимо. В последующих экспериментах мы добавим на 3-D моделях искусственную фаску износа по задней поверхности разной длины h_3 (мм), а также сравнительные эксперименты при скорости резания v от 180 м/мин до 220 м/мин.

Время анализа кинетического ортогонального резания составляет 0,05 с. Его результаты показывают, что при установившемся резании наибольшая величина эквивалентного напряжения находится на прирезцовой поверхности стружки и составляет $3,08 \times 10^9$ Па (3080 МПа), а минимальное значение 1028 МПа на второй части контакта с передней поверхностью резца (см. рис. 4).

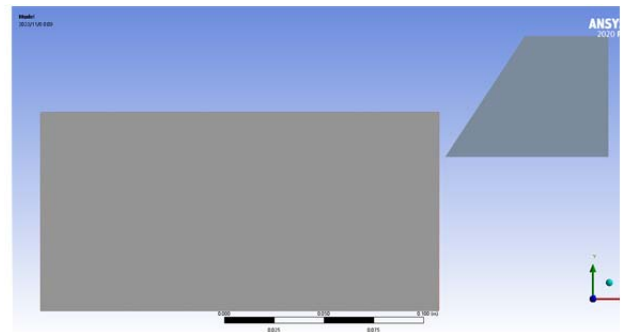


Рис. 3. Положение резца перед врезанием в заготовку при моделировании строгания пластины. Сталь 40X – T15K6, $\gamma = 40^\circ$

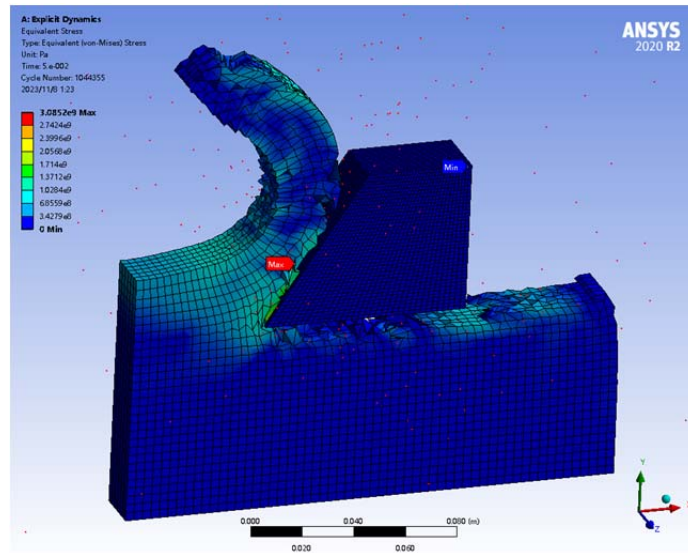


Рис. 4. Распределение эквивалентных напряжений σ_e (МПа) в зоне резания и в стружке при моделировании процесса строгания пластины. Сталь 40X – T15K6, передний угол $\gamma = 40^\circ$, скорость резания $v = 120$ м/мин, глубина резания $t = 25$ мм, ширина пластины $b = 20$ мм

На рис. 5, б видно, что через 0,02 с после начала строгания (после врезания резца в заготовку) уже начинает формироваться стружка, которая отделяется от заготовки и перемещается по передней поверхности резца.

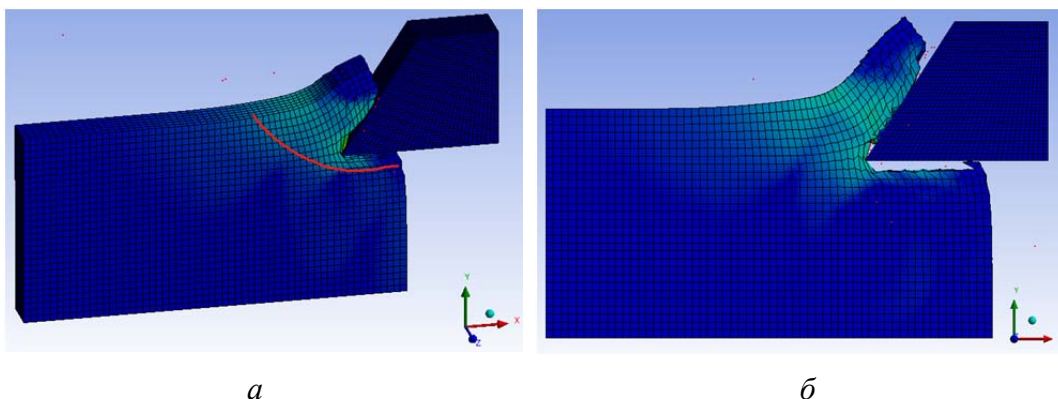


Рис. 5. Картина распределения эквивалентных напряжений σ_e (МПа) в заготовке: а – через 0,01 секунды после врезания; б – через 0,02 с после врезания

Анализируя взаимосвязь между эквивалентным напряжением σ_e (МПа) и эквивалентной относительной деформацией ε (мм/мм) по времени τ (с), мы видим, что график изменения наибольшего эквивалентного напряжения $\sigma_{e \text{ наиб}}$ быстро увеличивается до 2500 МПа в течение 0,01 секунды после того, как резец касается заготовки (рис. 6, а). В этот момент в заготовке в зоне условной плоскости сдвига образуется разделительная линия в форме дуги (см. рис. 5, а). В основном она стабильна в течение периода от 0,01 до 0,02 секунды.

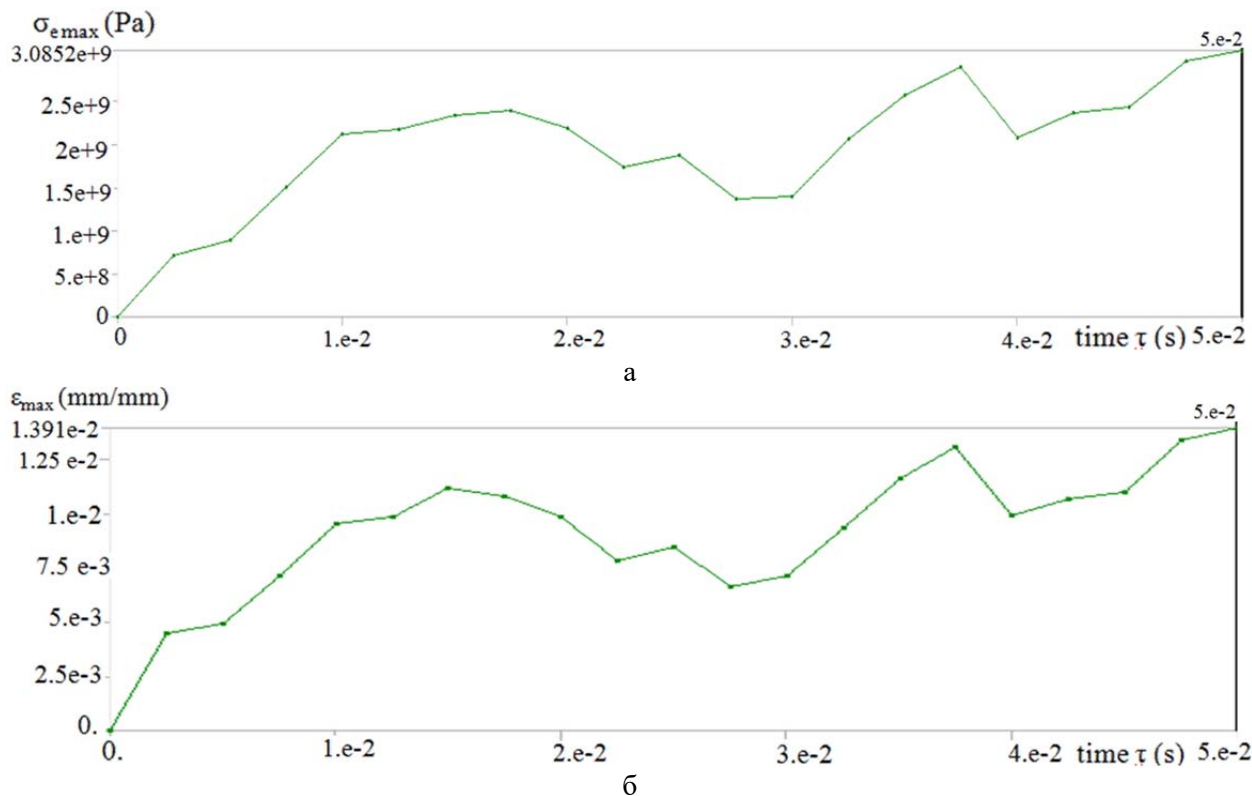


Рис. 6. График изменений величины наибольшего эквивалентного напряжения σ_{max} (Па) (а) и величины наибольшей эквивалентной относительной деформации ε (мм/мм) в области стружкообразования от начала врезания по времени τ (с)

Затем сформированная стружка движется по передней поверхности. На прирезцовой части стружки при моделировании процесса резания образуются угловатые конечные элементы (см. рис. 4 и 7), которые соприкасаются с передней поверхностью, а затем отделяются от неё в конце длины контакта стружки с передней поверхностью.

Анализ изменения величины наибольшего эквивалентного напряжения остановился на $\tau = 0,05$ с, а резец остановился, немного не доходя до края заготовки, т. е. как бы была зафиксирована картина распределения эквивалентных напряжений и эквивалентных относительных деформаций. График изменения наибольшего эквивалентного напряжения $\sigma_{e \text{ max}}$ во времени визуальнo (рис. 6, а) показывает изменение напряжения в стружке.

В области условной плоскости сдвига, отделяющей стружку от заготовки [1, 2], программа ANSYS показывает равномерное распределение эквивалентных напряжений σ_e величиной около 1028 МПа. В заготовке перед областью стружкообразования и ниже плоскости резания (линии среза) $\sigma_e \approx 343$ МПа.

График изменения величины наибольшей эквивалентной относительной деформации ε_{max} (мм/мм) от времени резания τ (мм) (рис. 6, б) аналогичен графику изменения наибольшего эквивалентного напряжения (рис. 6, а). Наибольшая величина $\varepsilon_{\text{наиб}} = 0,0139$ наблюдается перед завершением резания.

Самая большая разница между картиной распределения эквивалентной относительной деформации и картиной распределения эквивалентного напряжения заключается в

том, что эквивалентная деформация все еще отображается на поверхности 3D модели заготовки в виде небольшого зеленого квадрата (рис. 7).

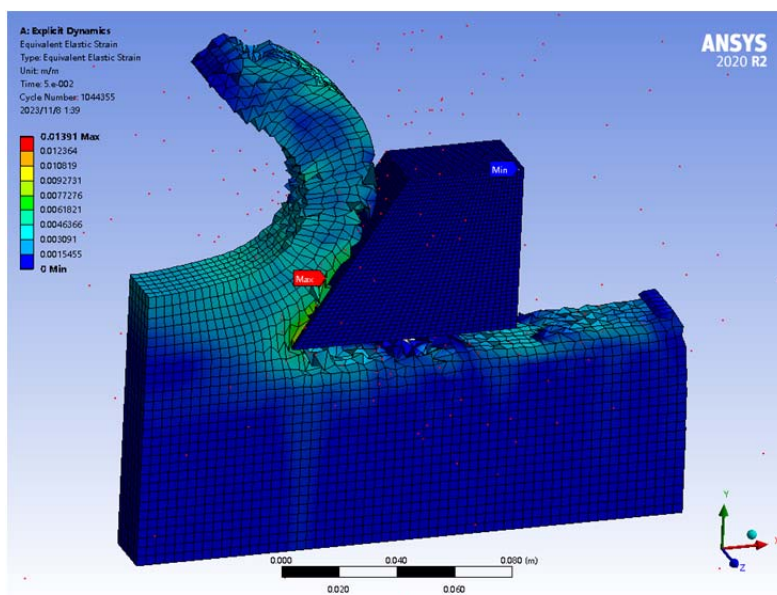


Рис. 7. Распределения эквивалентной относительной деформации ϵ (мм/мм) при установившемся резании

Сравнивая график изменения наибольшей эквивалентной относительной деформации ϵ_{\max} от времени резания τ (мм) (см. рис. 6, б) и график изменения наибольшего эквивалентного напряжения σ_{\max} (см. рис. 6, а), можно обнаружить, что они имеют одинаковые периоды роста и уменьшения. Это связано с формированием очередного элемента стружки (участки с увеличением σ_{\max} и ϵ_{\max} на графиках) и частичного отделения сформированного элемента стружки от заготовки (участок уменьшения σ_{\max} и ϵ_{\max} на графиках).

В работе применялось оборудование ЦКП НОИЦ НМНТ ТПУ, поддержанного проектом Минобрнауки России № 075-15-2021-710.

Список литературы:

1. Кожевников Д.В., Гречишников В.Л., Кирсанов С.В., Кокарев В.И., Схиртладзе А.Г. Режущий инструмент: Учебник для вузов / под редакцией С.В. Кирсанова. – 2-е изд. доп. М.: Машиностроение, 2005. – 528 с: ил.
2. Развитие науки о резании металлов / В.Ф. Бобров, Г.И. Грановский, Н.Н. Зорев и др. – Москва: Машиностроение, 1967. – 416 с.
3. Контактные нагрузки на режущих поверхностях инструмента / Полетика М.Ф. – Москва: Машиностроение, 1969. – 148 с.
4. Армареги И.Дж.А. Обработка металлов резанием / И.Дж.А. Армареги, Р.Х. Браун. – М.: Машиностроение, 1977. – 325 с.
5. Физические основы процесса резания металлов / под ред. В.А. Остафьева. Киев: Вища школа, 1976. – 136 с.
6. Мокрицкий Б.Я. Моделирование процессов резания с применением программы ANSYS / Б.Я. Мокрицкий // Вестник машиностроения – 2018. – № 4. – С. 69–72.
7. Маслеников И.А., Соколов Ю.А., Копаев В.Н. Исследование напряжённого состояния зоны стружкообразования с помощью программного комплекса ANSYS Workbench / Обработка материалов резанием, Санкт-Петербург: Политехника, 2012, № 5–6 (71–72). – С. 18–23.