

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ФРЕЗЕРОВАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПО LS-DYNA

Морозов О.И.¹, Табаков В.П.¹, Лукин А.В.¹, Илюшкин М.В.²

¹Ульяновский государственный технический университет, Ульяновск;

²АО «Ульяновский НИИТ», Ульяновск

Ключевые слова: фрезерование, прерывистое резание, численное моделирование, напряженно-деформированное состояние, тепловое поле, резание металлов.

Аннотация. В данной статье представлены результаты численного моделирования напряженно-деформированного и теплового состояния в зоне резания в процессе торцевого фрезерования. Исследовались напряженное и тепловое состояния в зоне резания. Проверялась возможность использования узловой сетки для моделирования процесса стружкообразования без удаления элементов сетки в процессе разрушения материала. Процесс моделирования выполнялся с использованием ПО для исследования динамических процессов LS-Dyna.

MODELING OF THE MILLING PROCESS USING LS-DYNA SOFTWARE

Morozov O.I.¹, Tabakov V.P.¹, Lukin A.V.¹, Ilyushkin M.V.²

¹Ulyanovsk State Technical University, Ulyanovsk;

²Ulyanovsk NIAT JSC, Ulyanovsk

Keywords: milling, intermittent cutting, numerical modeling, stress-strain state, thermal field, metal cutting.

Abstract. This article presents the results of numerical simulation of the stress-strain and thermal state in the cutting zone during face milling. The stress and thermal conditions in the cutting zone were investigated. The possibility of using a nodal grid to simulate the chip formation process without removing grid elements during the destruction of the material was tested. The simulation process was performed using LS-Dyna dynamic process research software.

Введение. Одной из основных характеристик, определяющих эффективность процесса резания металлов, в том числе фрезерования, является стойкость режущего инструмента (РИ), определяющая эксплуатационные показатели, ресурс рабочей поверхности и, как следствие, качество готовой продукции. Процессы обработки металлов резанием характеризуются высокими значениями нормальных и касательных напряжений на поверхности РИ, высокими значениями температур, наличием ударного воздействия на инструмент в процессах прерывистого резания, высоким уровнем изнашивания режущих кромок и поверхностей РИ, что обуславливает необходимость повышения стойкости РИ, особенно работающего в условиях прерывистого резания.

В зависимости от условий резания, РИ может подвергаться различным видам износа. Основными факторами, влияющими на износ рабочей поверхности РИ, являются напряженное и тепловое состояние в очаге деформации.

Все факторы, действующие в сторону увеличения температуры резания, увеличивают износ инструмента и снижают период стойкости РИ. Увеличение подачи и глубины резания повышает силы резания и количество образующейся теплоты, что ведет к росту температуры резания, увеличению износа инструмента и уменьшению его периода стойкости.

При проектировании РИ, как правило, производится расчет на прочность только его корпуса. Но если для инструментальных сталей это можно считать достаточным (на 75-80%), поскольку все их основные механические характеристики достаточно высоки, то при использовании твердых сплавов на основе керамики и сверхтвердых материалов требуется обязательное рассмотрение прочности самого режущего клина инструмента, вследствие относительно низких значений, допустимых для этих материалов напряжений на изгиб, срез и удар. Решение этих вопросов приобретает особую актуальность при обработке жаропрочных материалов, оказывающих повышенную и зачастую переменную нагрузку на рабочие поверхности инструмента, где случаи выкрашивания режущих кромок инструментов наиболее часты.

Расчет режущей части инструмента на прочность производят в следующей последовательности:

1) определяют характер нагружения режущей части инструмента, учитывая вид обрабатываемого материала, режимы резания и геометрию заточки инструмента;

2) рассчитывают напряженное состояние рабочего клина инструмента, определяя наиболее нагруженные точки и сравнивая действующие в них напряжения с допустимыми.

Проведение подобных экспериментальных исследований сопряжено со значительными экономическими и временными затратами, поэтому в настоящий момент актуальным способом решения данной задачи является использование средств численного моделирования с целью определения напряженного и теплового состояния режущего клина [1]. Данный подход может позволить снизить ресурсоемкость и временные затраты на проведение исследовательских работ, улучшить эксплуатационные характеристики инструментальной оснастки и тем самым повысить качество производимых изделий.

Основная часть. В данной работе выполнено численное моделирование процесса прерывистого резания – торцевого фрезерования.

В качестве средства моделирования был выбран следующий программный продукт – ПО LS-DYNA. LS-DYNA — инженерный пакет, разработанный корпорацией LSTC (Livermore Software Technology Corporation, США) [1]. Предназначен для решения трёхмерных динамических нелинейных задач механики деформируемого твёрдого тела.

Особенности применения LS-DYNA для моделирования процессов резания заключаются в следующем:

1) создание и импорт геометрии различного размера, построение сеток различных типов (конечно-элементные, лагранжевы, узловые и т.д.), определение свойств материалов и задание параметров контакта, определение параметров объектов и конечных условий;

2) возможность рассмотрения проблем жёсткости и инерции движения инструмента, теплоотвода из зоны резания, стружкообразования, влияния вибраций на качество обрабатываемой поверхности, поведения материала при различных режимах резания.

В ПО LS-DYNA построена модель процесса торцевого фрезерования (рис. 1) со следующими параметрами:

- 1) материал инструмента – сталь;
- 2) материал обрабатываемой заготовки – сталь;
- 3) тип материала инструмента – упругопластический, центральная часть, на которую задается главное движение и движение подачи – абсолютно жесткое тело Rigid;
- 4) тип сетки, используемый на инструменте – конечно-элементная прямоугольная сетка, габаритные размеры – $0,1 \times 0,1 \times 0,1$ мм;
- 5) тип материала обрабатываемой заготовки – упругопластический;
- 6) тип сетки, используемый на обрабатываемой заготовке – узловая, SPH, расстояние между узлами – 0,05 мм;
- 7) коэффициент трения – 0,29;
- 8) режим резания – скорость 35 м/мин, подача – 0,2 мм.

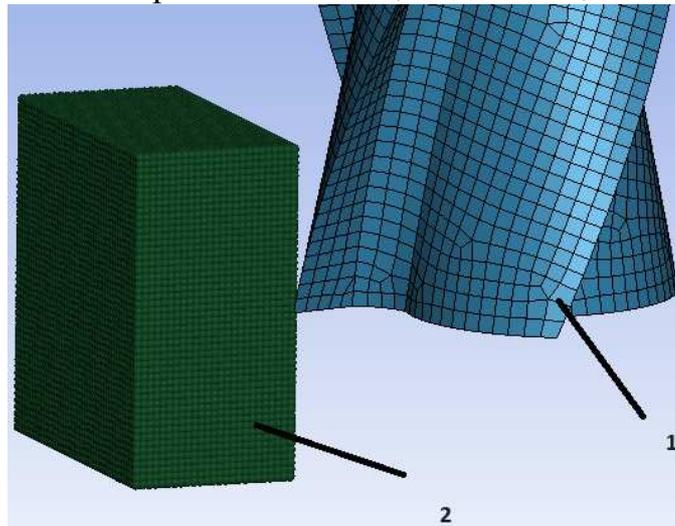


Рис. 1. Модель процесса прерывистого резания: 1 – инструмент (торцевая фреза);
2 – заготовка

Использование в качестве типа сетки, прикладываемой к обрабатываемой заготовке, узловых элементов типа SPH [2-3], позволяет с достаточной точностью моделировать процесс пластической деформации и отделения материала заготовки в процессе резания без удаления элементов, имитируя, таким образом, процесс отделения стружки.

На рисунках 2 и 3 представлены результаты численного моделирования процесса прерывистого резания (напряженное и тепловое состояние в зоне резания).

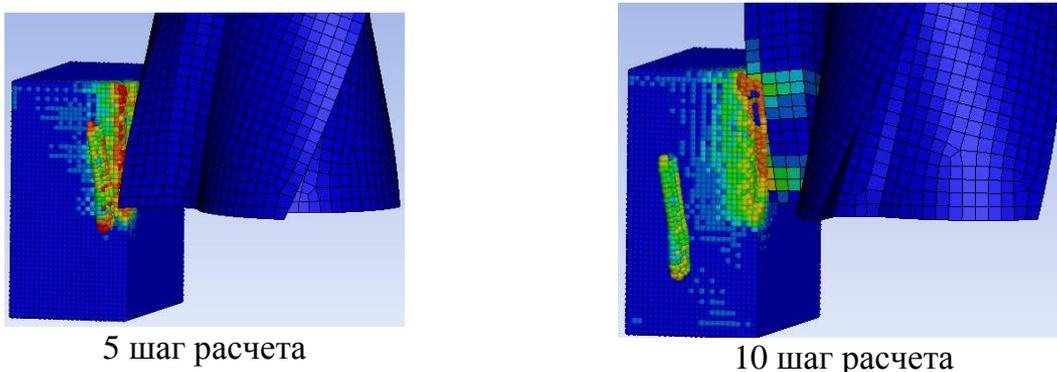


Рис. 2. Результаты численного моделирования процесса прерывистого резания (напряженно-деформированное состояние в зоне резания)

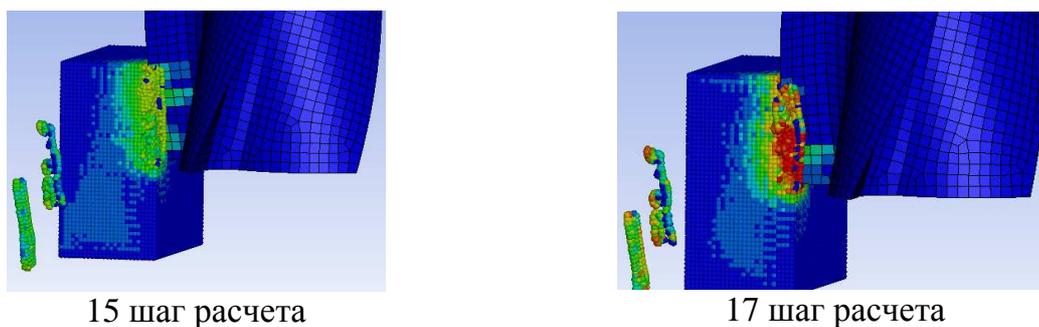


Рис. 2. Продолжение

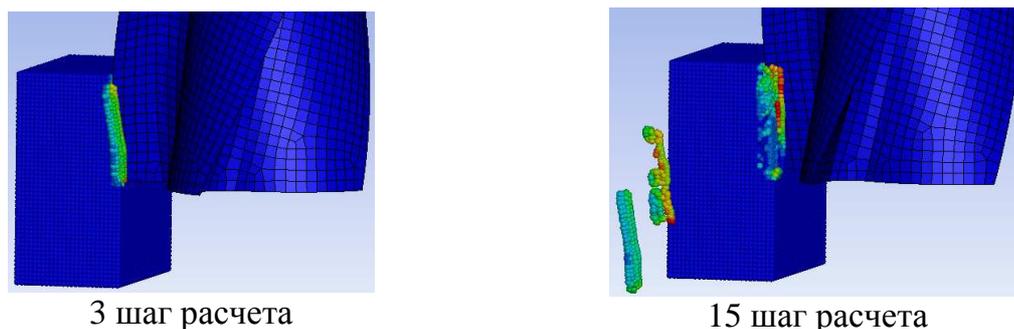


Рис. 3. Результаты численного моделирования процесса прерывистого резания (тепловое состояние в материале заготовки)

Время расчета модели – 15 часов.

Максимальные значения напряжений в материале заготовки достигают 820 МПа, максимальные значения температуры в материале заготовки – 328°C.

Выводы. По результатам исследования были сделаны следующие выводы:

1) применение ПО LS-DYNA для моделирования процессов резания позволяет эффективно решать проблемы жёсткости и инерции движения инструмента, теплоотвода из зоны резания, стружкообразования, моделирования напряженного и тепловых состояния режущего клина;

2) использование в качестве типа сетки, прикладываемой к обрабатываемой заготовке, узловых элементов типа SPH, применительно к моделированию процессов прерывистого резания полностью обосновано, т.к. позволяет с достаточной точностью моделировать процесс пластической деформации и отделения материала заготовки, имитируя, таким образом, процесс отделения стружки без удаления элементов модели, тем самым не снижая точность расчета;

3) применение численного моделирования для исследования напряженно-деформированного состояния инструментальной оснастки в процессах прерывистого резания позволяет снизить ресурсоемкость и временные затраты на проведение исследовательских работ, закладывая основы для улучшения эксплуатационных характеристик инструментальной оснастки и качества производимых изделий.

Список литературы

1. Илюшкин М.В. Моделирование процессов обработки металлов давлением в программе Ansys/LS-dyna. Учебное пособие. – Ульяновск: УлГУ, 2012. – 91 с.

2. Uzun İrfan, Kubilay Aslantaş. Numerical simulation of orthogonal machining process using multilayer and single-layer coated tools // The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 2011, vol. 54, pp. 899-910.
3. Mohamadreza Afrasiabi, Hagen Klippel, Matthias Roethlin, Konrad Wegener. Smoothed Particle Hydrodynamics Simulation of Orthogonal Cutting with Enhanced Thermal Modeling // Applied Sciences-Basel. 2021, vol. 11, iss. 3, p. 1020. DOI: 10.3390/app11031020.
4. Табаков В.П., Верещака А.С., Григорьев С.Н. Функциональные параметры процесса резания режущим инструментом с износостойкими покрытиями: учебное пособие. – Ульяновск: УлГТУ, 2012. – 172 с.

Сведения об авторах:

Морозов Олег Игоревич – к.т.н., доцент, и.о. зав. кафедрой «Материаловедение и обработка металлов давлением»;

Илюшкин Максим Валерьевич – к.т.н., заместитель директора;

Табаков Владимир Петрович – д.т.н., профессор кафедры «Инновационные технологии в машиностроении»;

Лукин Александр Владимирович – аспирант.