

**УДК 621.981**

**ПРИМЕНЕНИЕ ПРОГРАММЫ ИНЖЕНЕРНОГО АНАЛИЗА LS-DYNA  
ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ МЕТАЛЛООБРАБОТКИ И  
РАЗДЕЛИТЕЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ ОМД**

М.В. Илюшкин, А.С. Баранов, М.А. Храмов, Д. Винокуров, 2018

АО “Ульяновский НИИТ”

Рассматривается возможность применения программы динамического анализа LS-DYNA для моделирования процессов разрушения, применительно к процессам механообработки и разделительных процессов ОМД. Исследуется применение лагранжевого метода для моделирования процессов точения, сверления и фрезерования, а также процесса гидроабразивной резки и процесса отрезки профиля. Программа позволяет установить необходимые параметры процесса и подобрать необходимые режимы обработки с целью наилучшего качества детали и наименьших энергосиловых затрат.

РАЗРУШЕНИЕ, МЕХАНООБРАБОТКА, ГНУТЫЙ ПРОФИЛЬ, РУБКА, СВЕРЛЕНИЕ, ТОЧЕНИЕ, ФРЕЗЕРОВАНИЕ, ГИДРОАБРАЗИВ, LS-DYNA, ОМД

**APPLICATION THE PROGRAM LS-DYNA FOR THE MODELING  
METALWORKING PROCESSES AND SEPARATING PROCESSES  
IN METALFORMING**

M. V. Ilyushkin, A. S. Baranov, M. A. Khramov, D. Vinokurov, 2018

PC “Ulyanovsky NIAT”

The possibility of application the LS-DYNA program for modeling the processes destruction, metalworking and separating processes of metalforming is considered. The application of the Lagrangian method for modeling the processes of turning, drilling and milling, as well as the process of waterjet cutting and the process of cutting the profile investigated. The program allows to set the necessary process parameters and select the necessary processing modes for the best quality of the blank and the lowest energy costs.

DESTRUCTION, METALWORKING, PROFILE, CUTTING, DRILLING, TURNING, MILLING,  
WATERJET CUTTING, LS-DYNA, METALFORMING

Процессы разрушения часто встречаются в таких технологических процессах как механообработка и ОМД. В частности это процессы фрезерования, течения, шлифования, а также процессы отрезки, вырубки и пробивки. Исследовать и изучить их закономерности позволяет использование конечно-элементного моделирования в программах динамического анализа, например, в программе LS-Dyna.

Программа LS-Dyna позволяет использовать несколько методов для моделирования процессов разрушения. К этим методам можно отнести лагранжевый, SPH (метод гидродинамических частиц), EFG (метод галеркина), ALE (лагранжево-эйлеровый метод) и метод SPG. Эти методы используют как удаления элементов в процессе деформирования (лагранжевый), так и метод деления (остальные методы).

АО “Ульяновский НИИТ” использует коммерческую версию программы LS-DYNA для моделирования данных процессов разрушения.

На рис. 1 представлены результаты моделирования процесса точения металлической заготовки. Получены результаты по НДС в модели и энергосиловые параметры процесса. Кроме этого программа позволяет оценить форму отхода и поверхности детали в зоне резания. В качестве модели материала использовалась модель Джонсона-Кука позволяющая учесть зависимость упрочнения материала от тепловых параметров, скорости деформации, а также учесть накопление поврежденности, схему напряженного состояния и разрушения элементов модели по различным критериям.

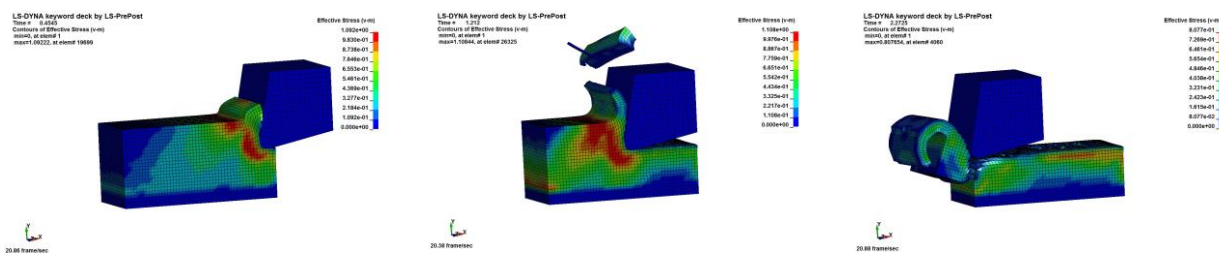


Рис. 1. моделирования процесса точения

Моделирования процессов точения, как правило, являются базовыми или тестовыми на которых отрабатываются параметры для моделирования более сложных процессов, например, таких как сверление (рис. 2) и фрезерования (рис. 3). Исследования позволили определить напряженно-деформированное состояние по заготовке, форму отхода, нагрев заготовки. Варьирование исходных параметров позволяет установить рациональные режимы обработки позволяющие качественно и с наименьшими энергзатратами обрабатывать требуемые детали.

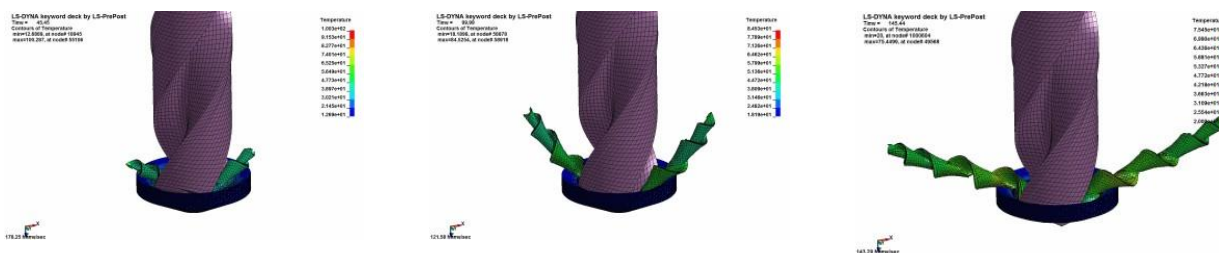


Рис. 2. Результаты моделирования процесса сверления

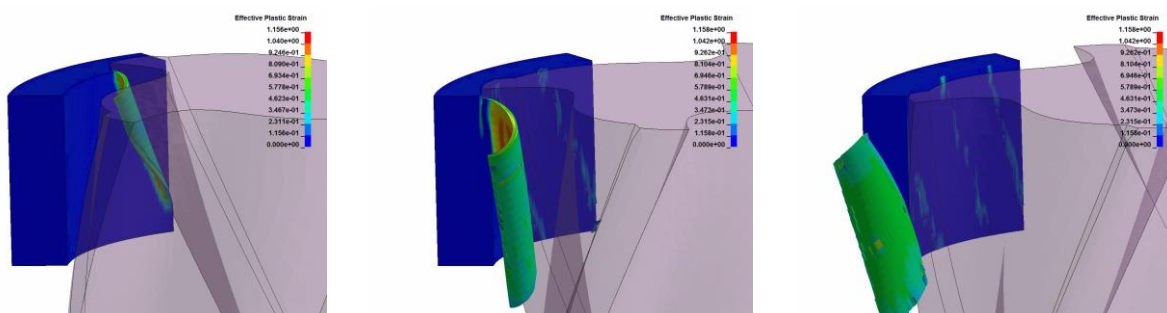


Рис. 3. Результаты моделирования процесса фрезерование

В данных моделях применяется лагранжевая модель с удалением элементов при разрушении. Это наиболее простая модель, обеспечивающая точные результаты. Одним из недостатков такой модели является удаление элементов и потеря энергии при этом, что снижает точность модели.

В модели гидроабразивной резки модель заготовки также построена по лагранжевому методу. В качестве инструмента здесь используется частицы воды и песка смоделированные методом SPH (метод гидродинамических частиц).

Анализ этих моделей позволяет получить необходимую информацию по НДС заготовки и инструмента, а также при необходимости варьировании требуемыми параметрами с целью поиска наилучших режимов резания

Адекватность результатов моделирования подтверждается практически и теоретическими исследованиями, при условии применения в программе всех необходимых параметров и точных моделей материала заготовки. Для этого проводят необходимые испытания материала.

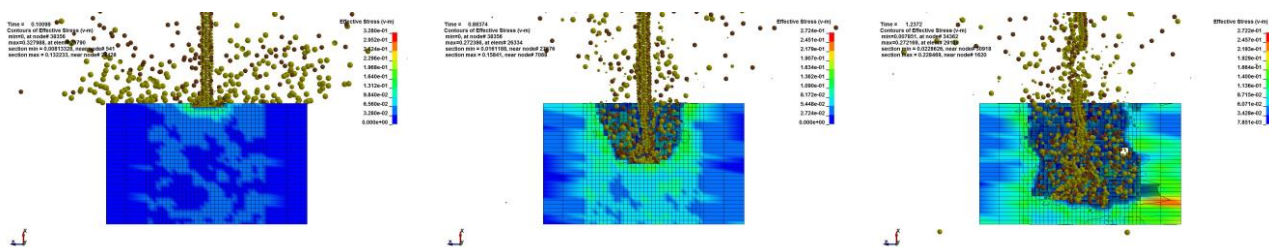


Рис. 4. Результаты моделирования процесса гидроабразивной резки

Актуальным вопросом является обработка слоистых композитов. При этом основной вопрос связан с подбором режимов обработки для отсутствия деламинации слоев композита. Для моделирования данных процессов используется когезионная модель слоистого композита, позволяющая точно моделировать данный процесс. Кроме того, когезионная модель материала позволяет моделировать и различного вида высокопрочные и деформируемые покрытия на листовых материалах и инструменте, как для процессов механообработки, так и ОМД.

Моделирование процессов разрушения применяется и разделительных процессах ОМД, например, в процессах отрезки профиля в штампе. На АО “Ульяновский НИАТ” был исследован процесс рубки сдвигом Т-образного профиля [4]. Основным вопросом был выбор угла реза в соотношении с усилием, при котором произойдет срез заготовки, а так же качеством ее торцевой поверхности.

Вначале был промоделирован процесс резки под различными углами профиля и режущего инструмента, а именно  $0^\circ$ ,  $15^\circ$ ,  $30^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $90^\circ$ . На рис. 6а. представлен график распределения усилий резки под различными углами положения профиля. В результате оптимальный угол реза в соотношении с качеством торца профиля и его сечения составил  $45^\circ$ . При таком положении с торца профиля отсутствовали заусенцы и сечение оставалось постоянным на всей по-

верхности детали (не происходило раскрытие профиля от упругого пружинения).

По результатам моделирования на предприятии было изготовлено отрубное устройство с предлагаемым типом штампа (рис. 6б).

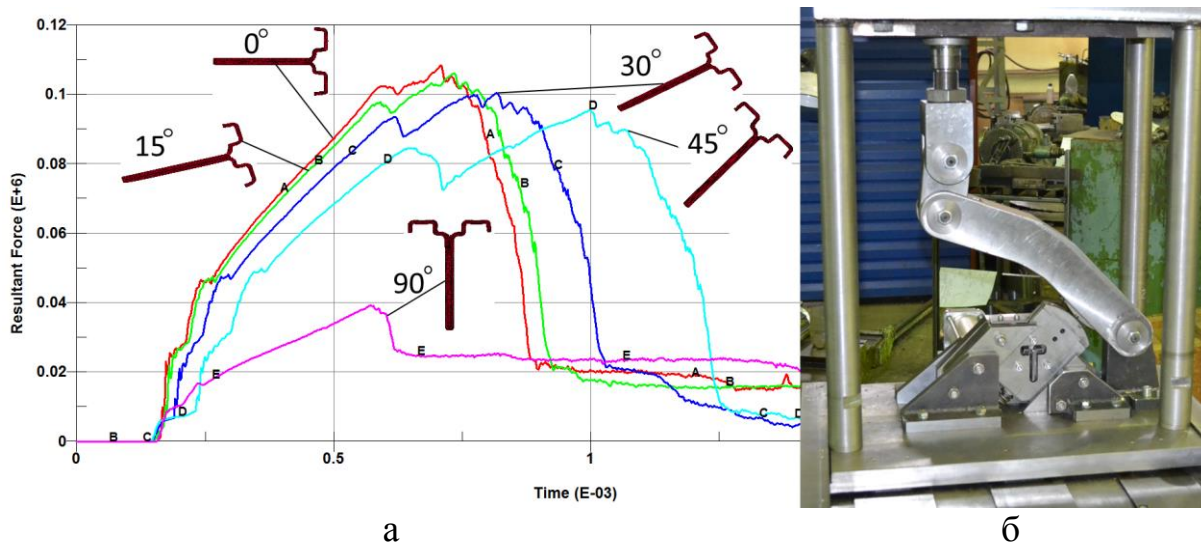


Рис. 5. График распределения усилий резки под различными углами положения профиля (а) и общий вид отрубного устройства (б)

В процессе практического испытания данного штампа в АО «Ульяновский НИАТ» было осуществлено порядка 125 тыс. ударов при этом качество реза осталось неизменным. Сечение профиля остается постоянным на всей длине. Следует отметить, что стойкость матриц возросла в 40 раз по сравнению с ранее применяемым вариантом, что позволило существенно снизить стоимость штампового инструмента.

Применение программы динамического моделирования LS-DYNA позволило с большой точностью смоделировать процессы металлообработки (точение, сверление, фрезерования), процессы гидроабразивной резки, а также разделительные процессы ОМД. В процессе моделирования были получены все необходимые данные по энергосиловым параметрам и НДС, как заготовки так и инструмента. Эти данные позволяют подобрать режимы обработки для наилучшего качества обрабатываемой детали и, повысить стойкость инструмента.

#### Библиографический список

1. Илюшкин М.В., Моделирование технологических процессов для авиационной промышленности средствами инженерного анализа: ОМД и механообработка // I Всероссийская научно-производственная конференция, приуроченная ко Дню науки (г. Ульяновск, 10 февраля 2016 г.): сборник научных трудов. – Ульяновск: УлГТУ, 2016. – с. 33-41.

2. Криворучко Д.В. Основы 3D-моделирования процессов механической обработки методом конечных элементов: Учебное пособие/ Д.В. Криворучко, В.О. Залого, В.Г. Корбач. – Сумы: Изд-во СумДУ, 2009. – 208 с.
3. Баранов А.С., Марковцев В.А. Разработка технологии резки сдвигом детали “заготовки стойки ползуна” на основе проведенного конечно-элементного моделирования // I Всероссийская научно-производственная конференция, приуроченная ко Дню науки (г. Ульяновск, 10 февраля 2016 г.): сборник научных трудов. – Ульяновск: УлГТУ, 2016. – с. 17-23.

#### **Сведения об авторах**

Илюшкин Максим Валерьевич – кандидат технических наук, заместитель генерального директора по науке АО “Ульяновский НИАТ”

E-mail: [fzbm@mail.ru](mailto:fzbm@mail.ru)

Баранов Александр Сергеевич – начальник НИО-110 АО “Ульяновский НИАТ”

Храмов Максим Анатольевич – инженер-конструктор АО “Ульяновский НИАТ”, магистр УлГТУ

Винокуров Дмитрий – инженер-конструктор АО “Ульяновский НИАТ”, магистр УлГТУ

#### **Information about the authors**

Ilyushkin Maxim Valerievich – Cand. Sc. (Engineering), Deputy of General Director in science of PC “Ulyanovsk NIAT”

E-mail: [fzbm@mail.ru](mailto:fzbm@mail.ru)

Baranov Alexander Sergeevich - Head of NIO-110 PC “Ulyanovsk NIAT”

Khramov Maxim Anatolyevich - Design Engineer of PC “Ulyanovsk NIAT”, Master of Ulyanovsky State Technical University

Vinokurov Dmitry - Design Engineer of PC “Ulyanovsk NIAT”, Master of Ulyanovsky State Technical University