

УДК 621.7+004.94

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ФОРМООБРАЗУЮЩИХ ОПЕРАЦИЙ МАГНИТНО-ИМПУЛЬСНОЙ ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛОВ

© 2012 Ф. В. Гречников, Д. Г. Черников

Самарский государственный аэрокосмический университет
имени академика С.П.Королёва (национальный исследовательский университет)

Представлены результаты компьютерного моделирования процессов магнитно-импульсной обработки металлов с использованием нового электромагнитного модуля многоцелевого конечно-элементного комплекса LS-DYNA.

Магнитно-импульсная обработка металлов, формообразующая операция, компьютерное моделирование, многоцелевой конечно-элементный комплекс LS-DYNA, электромагнитный модуль.

Технический прогресс в машиностроении требует постоянного совершенствования существующих и разработки новых технологических процессов, обеспечивающих повышение качества и надёжности продукции. Одним из направлений решения этой задачи является использование высокоскоростных методов деформирования металлов, которые позволяют повысить производительность труда, снизить себестоимость продукции и улучшить её качество, что открывает путь новым решениям в области конструкции и технологии. Среди них наиболее активно внедряются в различные отрасли промышленности процессы магнитно-импульсной обработки металлов (МИОМ).

В основе МИОМ лежит использование в качестве источника нагружения мощных импульсных магнитных полей (ИМП) высокой напряжённости, которые обуславливают воздействие динамических электромеханических сил на проводящий материал, помещённый в магнитное поле. Под действием этих сил происходит разгон заготовки до высоких (100...500 м/с)

скоростей. При соударении заготовки о матрицу или оправку происходит заданное формообразование, а при соударении двух или более заготовок они свариваются или образуют неразъёмное соединение [1].

МИОМ характеризуется высокой точностью дозирования энергии, локальностью приложения нагрузки, отсутствием контакта инструмента с заготовкой, лёгкостью встраивания оборудования в технологические линии, а также экологической безопасностью, тем самым выгодно отличается от других высокоскоростных и традиционных методов обработки металлов [1].

На сегодняшний день формообразующие операции МИОМ широко применяются в авиационно-космической отрасли, например, при производстве элементов трубопроводных систем летательных аппаратов (рис. 1). Такими элементами являются различного рода переходники, фланцы, детали сложной геометрии с изменением формы сечения и др.



Рис. 1. Примеры деталей, полученных с помощью операций МИОМ

Применяемые при изготовлении таких формообразующие, калибровочные) деталей технологии (разделительные, обеспечивают: точность готовых деталей 8-

12 квалитет; последующую сварку встык в автоматическом режиме без проведения дополнительных операций подгонки и калибровки; возможность обработки концов длинномерных труб; повышение предельных возможностей штамповки за один переход, следовательно, сокращение числа переходов; расширение технологических возможностей, например, совмещение операций; изготовление деталей без кольцевых сварных швов, включая комбинацию простейших элементов (например, конус, фланец, рифт); сжатые сроки подготовки производства; высокую производительность процессов и малую металлоёмкость оснастки.

Однако для совершенствования существующих и разработки новых технологических процессов изготовления деталей с помощью МИОМ необходимо проведение исследований сложных явлений, протекающих в системе «индуктор-заготовка». Экспериментальные исследования зачастую невозможны из-за импульсного характера процесса, интенсивных электромагнитных помех и сложности размещения измерительного оборудования вблизи рабочей зоны. В связи с этим наиболее универсальным

инструментом для этих целей является компьютерное моделирование.

На сегодняшний день для моделирования процессов обработки металлов давлением успешно применяются универсальные комплексы, такие как LS-DYNA, ANSYS, MSC Nastran, Abaqus, и специализированные, например, DEFORM, QFORM и др.

МИОМ относится к высокоэнергетическим импульсным методам обработки металлов, в связи с этим для компьютерного моделирования таких процессов к программам предъявляются особые требования. Главным из них является возможность решения связанных нелинейных динамических задач с учётом явлений электромагнетизма, тепловых эффектов и процессов деформации.

На данный момент наиболее подходящим для решения подобных задач является многоцелевой конечно-элементный комплекс LS-DYNA [2] за счёт нового электромагнитного модуля [3].

Оценка возможностей этого модуля проводилась на примере моделирования процесса формовки конуса под действием ИМП, модель которого показана на рис. 2.

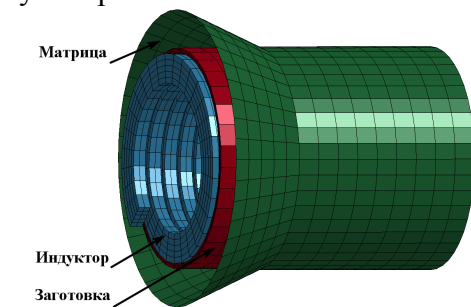


Рис. 2. Модель процесса формовки конуса

Данная математическая модель состоит из трёх частей: заготовки, многослойного индуктора на раздачу и матрицы. Для заготовки и индуктора в качестве типа конечного элемента использовался 3D Solid 164, а для матрицы – ThinShell 163. Использование 3D Solid 164 для конечных элементов, описывающих заготовку, обусловлено некоторыми ограничениями электромагнитного модуля, т.к. он находится в стадии разработки. Общее количество конечных элементов модели составляет 4258.

В качестве моделей материалов

использовались следующие:

- *MAT_PLASTIC_KINEMATIC – для заготовки;
- *MAT_ELASTIC – для индуктора;
- *MAT_RIGID – для матрицы.

Была разработана методика компьютерного моделирования, позволяющая использовать в качестве исходных данных кривую разрядного тока, полученную экспериментально с помощью пояса Роговского.

Кроме традиционных для LS-DYNA команд, необходимых для выполнения такого рода расчётов, были добавлены специальные команды для активации электромагнитного модуля и синхронизации его работы с

механическим и тепловым решателями.

Для проверки результатов компьютерного моделирования с помощью специализированного измерительного стенда

исследовался кинематический процесс формовки конуса. Результаты эксперимента показаны на рис. 3.

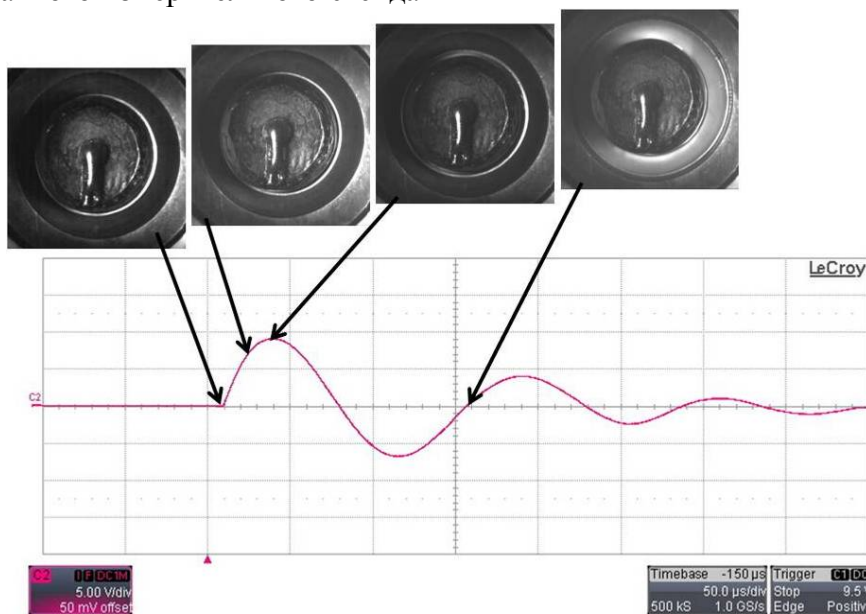


Рис. 3. Взаимосвязь основных стадий процесса формовки конуса с токовой кривой

На рис.4 показано сравнение компьютерного моделирования кинематики результатов экспериментальных исследований с результатами процесса формовки конуса.

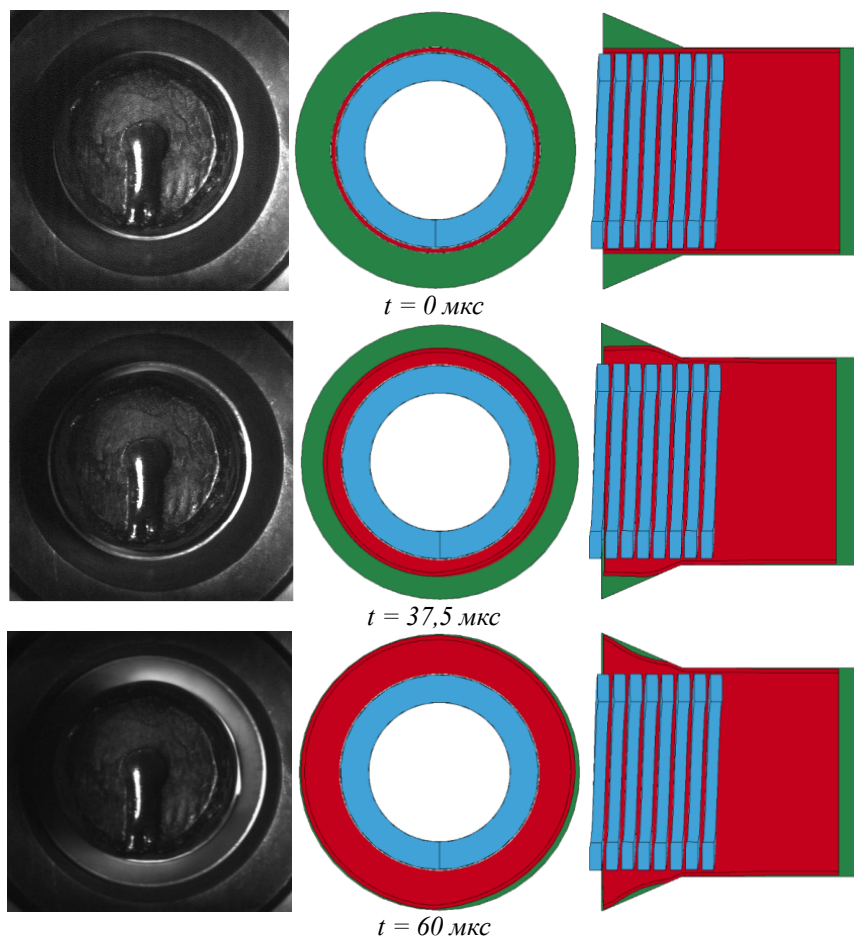


Рис. 4. Процесс формоизменения заготовки

На основании полученных результатов вычислена средняя скорость кромки заготовки. На рис.5 приведены графики зависимости скорости кромки заготовки от времени, полученные по результатам экспериментальных и численных исследований в сопоставлении с токовой кривой.

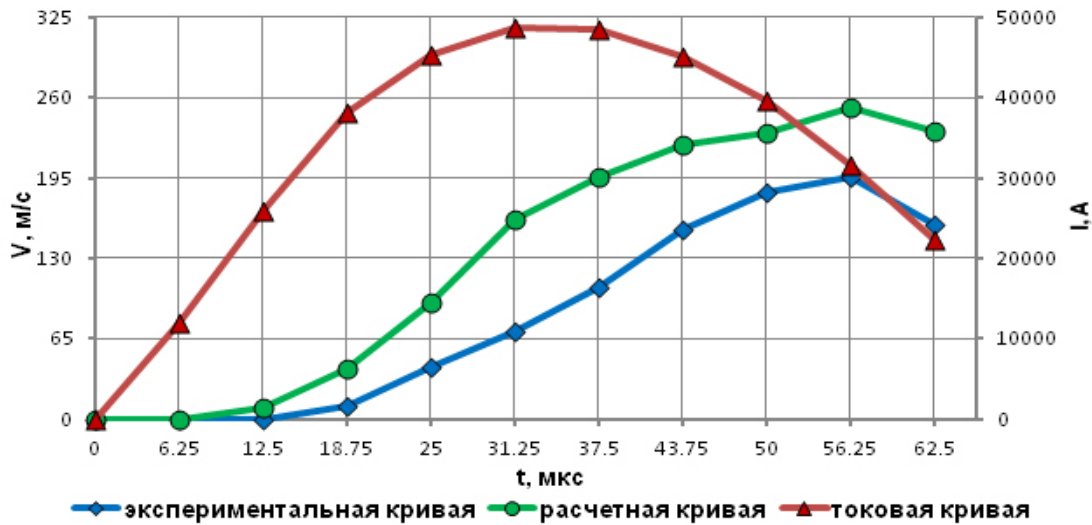


Рис.5. Результирующая скорость кромки заготовки, полученная экспериментально и в результате компьютерного моделирования

На рис.6 показаны зависимости внешнего диаметра кромки заготовки от времени, построенные по экспериментальным и расчётным данным в сопоставлении с токовой кривой.

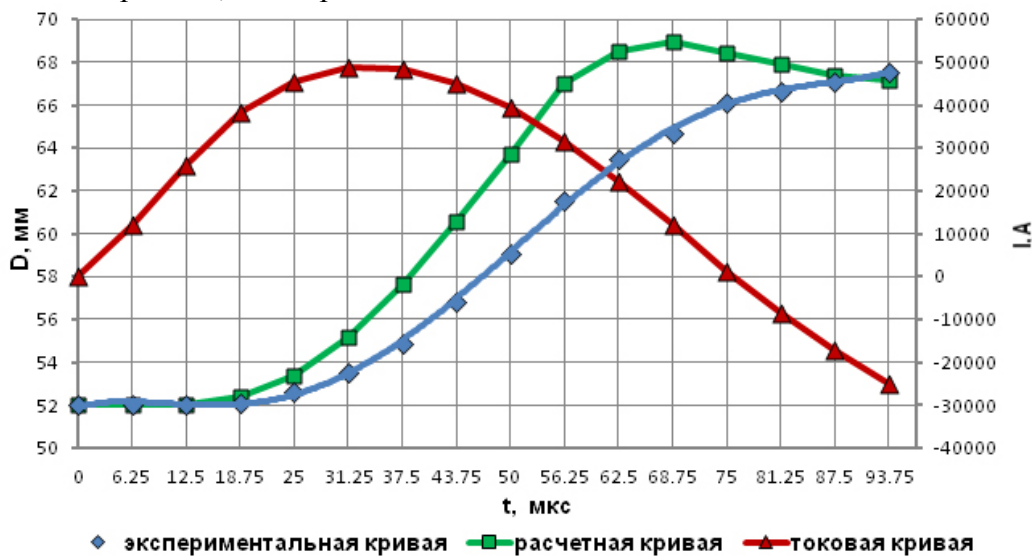


Рис.6. Экспериментальные и расчётные значения изменения наружного диаметра кромки заготовки во времени в сопоставлении с токовой кривой

Приведённые на рис. 5 и 6 данные свидетельствуют о хорошей сходимости результатов, которые позволяют оценить все необходимые для анализа процесса параметры: характер протекания токов в индукторе и заготовке, возникающие объёмные электродинамические силы, разогрев токопровода индуктора и заготовки, и их напряжённо-деформированное

состояние, скорость соударения заготовки с матрицей. Эти результаты являются основой для разработки новых технологических процессов и проектирования технологической оснастки. Например, для определения длины рабочей зоны индуктора и количества его витков, взаимного расположения индуктора и заготовки, выбора изоляционного материала и т.д.

Таким образом, многоцелевой конечно-элементный комплекс LS-DYNA, благодаря новому электромагнитному модулю, является наиболее универсальным инструментом на сегодняшний день для комплексного исследования различных процессов МИОМ с учётом сложных явлений, происходящих в системе «индуктор-заготовка».

Библиографический список

1. Белый, И.В. Справочник по магнитно-импульсной обработке металлов / И.В. Белый, С.М. Фертник, Л.Т. Хищенко. – Харьков: Вища школа. 1970. – 190 с.

2. Hallquist, J.O. A Procedure for the Solution of Finite Deformation Contact-Impact Problems by the Finite Element Method [Текст] / J.O.Hallquist // University of California, Lawrence Livermore National Laboratory, Rept. UCRL-52066 (1976).

3. L'Eplattenier P. Introduction of an Electromagnetism Module in LS-DYNA for Coupled Mechanical-Thermal-Electromagnetic Simulations [Текст] / P. L'Eplattenier, G. Cook, C. Ashcraft, M. Burger, A. Shapiro, G. Daehn, M. Seith // 9th International LS-DYNA Users conference, Dearborn, Michigan, June 2005.

COMPUTER SIMULATION OF FORMING OPERATIONS OF THE MAGNETIC-PULSE PROCESSING OF METALS

© 2012 F. V. Grechnikov, D. G. Chernikov

Samara State Aerospace University
named after academician S.P. Korolyov (National Research University)

This paper presents the results of computer simulation of magnetic-pulse processing of metals using a new electromagnetic module of the multi-purpose finite element software LS-DYNA.

Pulse-magnetic processing, forming operation, computer simulations, software LS-DYNA, electromagnetism module.

Информация об авторах

Гречников Федор Васильевич, член-корреспондент РАН, профессор, заведующий кафедрой обработки металлов давлением, Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва (национальный исследовательский университет). E-mail: gretch@ssau.ru. Область научных интересов: металлофизика, материаловедение и технология управления формированием физико-механических свойств в конструкционных материалах.

Черников Дмитрий Генадьевич, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва (национальный исследовательский университет). E-mail: 4ernikov82@mail.ru. Область научных интересов: магнитно-импульсная обработка материалов, литейное производство.

Grechnikov Fedor Vasilievich, Corresponding member of RAS, Doctor of Engineering, Professor, Head of Metal Forming Department, Samara State Aerospace University named after academician S.P. Korolyov (National Research University). E-mail: gretch@ssau.ru. Area of research: physic of metals, science of materials and technology of management of formation of physicomechanical properties in constructional materials.

Chernikov Dmitry Genadyevich, Candidate of Technical Sciences, Senior Research Officer, Samara State Aerospace University named after academician S.P. Korolyov (National Research University). E-mail: 4ernikov82@mail.ru. Area of research: pulse-magnetic processing of materials, foundry production.