

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

Однако для совершенствования существующих и разработки новых технологических процессов изготовления таких деталей с помощью МИОМ необходимо проведение исследований сложных явлений, протекающих в системе «индуктор-заготовка».

Подобные 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.

В данной статье оценивались возможности нового электромагнитного модуля многоцелевого конечно-элементного комплекса LS-DYNA для моделирования сложных процессов МИОМ на примере операции формовки конуса. Данный электромагнитный модуль позволяет выполнять связанные расчеты с учетом явлений электромагнетизма, тепла и механики. На рисунке 1 показана математическая модель.

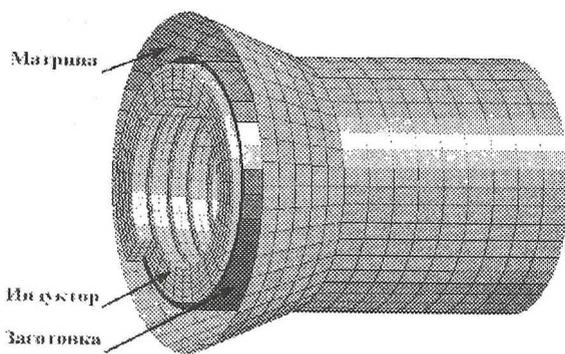


Рис. 1. Математическая модель процесса формовки конуса

Для этих целей была разработана методика компьютерного моделирования с использованием нового модуля и получены результаты, сопоставление которых с результатами экспериментальных исследований показало хорошую их сходимость.

Полученные результаты моделирования позволяют оценить все необходимые для анализа процесса параметры: напряженно-деформированное состояние заготовки, скорость ее соударения с матрицей, разогрев токопровода индуктора и заготовки, и др. 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, выбор изоляционного материала и т.д.

Таким образом, многоцелевой конечно-элементный комплекс LS-DYNA является универсальным инструментом для комплексного исследования различных процессов МИОМ с учетом сложных явлений, происходящих в системе «индуктор-заготовка»

## МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЭЛАСТИЧНОЙ МАТРИЦЫ С ЛИСТОВОЙ ЗАГОТОВКОЙ В ПРОЦЕССАХ РАЗДЕЛИТЕЛЬНОЙ ШТАМПОВКИ ДЕТАЛЕЙ ДАВЛЕНИЕМ ПОЛИУРЕТАНА

© 2012 Громова Е. Г., Еськина Е. В.

ФГБОУ ВПО «Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королева (национальный исследовательский университет)»

# MATHEMATICAL MODELING OF INTERACTION OF ELASTIC BASIS WITH SHEET BLANK IN THE PROCESSES OF SEPARATION STAMPING PARTS PRESSURE POLYURETHANE

© 2012 Gromova E.G., Eskina E.V.

Particularities and main advantages of sheet details cutting methods by elastic agent pressure in flying vehicles production are formulated. In order to determine the technological capabilities of separation processes carried out finite element mathematical simulation of various methods of cutting. As a result of numerical studies received the curve of normal distribution of the contact pressure of the elastic element tooling with sheet billets, depending on the values of the constructive-technological factors of the process.

Ключевой задачей производственных предприятий аврокосмической отрасли является повышение эффективности технологических процессов и обеспечение высокого качества изготавливаемых изделий. В связи с этим, на многих предприятиях внедрены методы изготовления листовых деталей штамповкой эластичной средой – полиуретаном. Данным методам характерны малые сроки подготовки производства, универсальность и простота реализации.

В целях интенсификации процессов штамповки-вырубки давлением полиуретана на кафедре ПЛА и УКМ СГАУ разработано более десяти способов раскроя. Разработанные способы разделительной штамповки отличаются конструктивной схемой вырубного инструмента и принципом передачи давления эластичной среды на заготовку. За счет конструктивных особенностей вырубного инструмента создается различный механизм разделения листовой заготовки и наиболее благоприятная схема напряженно-деформированного состояния материала заготовки в очаге деформации, что позволяет управлять качеством контура разделения при вырубке деталей как из пластичных, так и из малопластичных материалов. В зависимости от принципа передачи давления эластичной среды на заготовку способы штамповки выделены в следующие технологические схемы реализации процесса вырубки: в замкнутом, в полузамкнутом, в полуоткрытом и в открытом объемах эластичной среды, а также с

использованием ротационного воздействия эластичного инструмента на заготовку. Целесообразность применения того или иного способа вырубki определяется необходимым уровнем рабочего давления эластичной среды, масштабным фактором и сложностью геометрического контура изготавливаемых деталей, механическими характеристиками материала заготовки, точностью вырубаемого контура, наличием прессового оборудования и уровнем технологической подготовки производства.

Вместе с тем следует отметить, что выполнение разделительных операций в замкнутом объеме эластоплимерной среды требует создания высокопрочных контейнеров, что ограничивает в масштабном факторе номенклатуру вырубаемых деталей. Кроме того для обеспечения необходимого давления при штамповке деталей в контейнерах различных типоразмеров требуется наличие прессового оборудования со значительным усилием. «Открытые» схемы штамповки более просты в реализации, позволяют производить фрагментарную вырубку крупногабаритных деталей, а также вырубку деталей из полосы при меньшем усилии прессового оборудования, либо вообще без применения прессов – в случаях ротационного раскроя.

Однако характерной особенностью «открытых» способов раскроя является неравномерное распределение нормального давления по площади контакта эластоплимерной матрицы с заготовкой и технологической оснасткой, а также возникновение контактных касательных напряжений по площади заготовки в связи

с действующими силами трения при осадке эластичного инструмента.

В целях определения технологических возможностей разделительных процессов с реализацией «открытых» схем деформационного воздействия эластоплимерной среды на заготовку проведено конечно-элементное математическое моделирование различных методов раскроя. В результате численных исследований получены эпюры распределения нормального контактного давления эластичного элемента оснастки с листовой заготовкой в зависимости от значений конструктивно-технологических факторов процесса.

Анализ эпюр нормального давления показал, что при максимальном нагружении эластичного элемента (до 30...35% сжатия по высоте) и при оптимальных значениях конструктивно-технологических факторов контактное давление достигает значений в пределах 150...200 МПа (в 2/3 контактной зоны) и в пределах 120...140 МПа на периферии – наблюдается определенная неравномерность.

Для выравнивания уровня контактного давления проводились дополнительные численные исследования для эластичных элементов с внутренней конусностью. Равномерность контактного давления удалось достичь при значениях угла конусности эластичного элемента в пределах 0,5...1,0°. При этом уровень значений контактного давления незначительно снизился на 7...20%.

Для проверки адекватности математической модели и результатов численных исследований были проведены экспериментальные исследования по

замеру нормального контактного давления на реальной штамповой оснастке. По результатам экспериментальных исследований построены соответствующие математические модели экспериментов в виде уравнений регрессии, с помощью которых были построены экспериментальные эпюры распределения нормального контактного давления эластичной матрицы с листовой заготовкой. Характер и уровень значений эпюр аналогичен полученным в численных исследованиях. Сходимость результатов 15...20%. Это подтверждает адекватность разработанной конечно-элементной математической модели реальному процессу.

Для практического использования результатов исследований построены диаграммы распределения нормального давления эластомера по площади его контакта с заготовкой в зависимости: от масштабного фактора эластичного инструмента; уровня рабочего давления; геометрической формы эластичного инструмента и др. конструктивно-технологических факторов разделительных процессов. Наличие подобных диаграмм распределения давления по площади эластоплимерной матрицы позволяет оценить возможность выполнения разделительных операций тем или иным способом при врубке деталей различного геометрического контура широкого диапазона толщин и марок материалов. А также позволяет подобрать необходимое прессовое оборудование и сформулировать технические условия на проектирование оснастки.

## **О МОДЕЛИРОВАНИИ ПРОНИЦАЕМЫХ ГРАНИЦ В ЗАДАЧАХ ВНЕШНЕЙ И ВНУТРЕННЕЙ АЭРОГИДРОДИНАМИКИ**

© 2012 Гувернюк С.В.

НИИ механики МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва

## **SIMULATION OF PERMEABLE BOUNDARIES IN PROBLEMS OF EXTERNAL AND INTERNAL AERO-HYDRODYNAMICS**

© 2012 Guvernuyuk S.V.