

УДК 621.7

Гибридные и комбинированные технологии в процессах обработки металлов давлением

Ю.А. Сапожникова, Д. Г. Черников

Аннотация

Настоящая научная работа посвящена разработке гибридных и комбинированных технологий листовой штамповки, использующих статические и динамические нагрузки. Разработаны технологические схемы ряда операций, не имеющих аналогов и на которые оформляются или уже получены патенты РФ.

На конкретных примерах показана возможность использования многоцелевого конечно-элементного комплекса ANSYS/LS-DYNA для компьютерного моделирования связанных статико-динамических процессов.

Разработана методика компьютерного моделирования связанных задач, выполнен комплекс экспериментальных исследований процессов «вытяжка - формовка» и «гибка - зафланцовка», подтвердивших основные преимущества комбинированных операций.

В объеме опытно-промышленной проверки для ряда разработанных новых технологий спроектирована и изготовлена оснастка, осуществлено их опробование. Приведены фотографии готовых деталей, полученных с помощью этих технологий.

Сформулированы технико-экономические преимущества разработанных технологий.

Ключевые слова

высокоскоростные методы; магнитно-импульсная штамповка; гибридные технологии; комбинированные технологии; индуктор

Холодная листовая штамповка играет ведущую роль в современной промышленности, в самолето- и ракетостроении. Так, до 60% деталей самолета изготавливается холодной

листовой штамповкой от мелких, массой от долей грамма и размерами в доли миллиметра (шплинт, кабельный наконечник), до изделий средних (крышки, нервюры) и крупных (обшивка самолета) размеров [1].

Холодная листовая штамповка является одним из наиболее прогрессивных технологических методов производства, однако имеет ряд ограничений и недостатков:

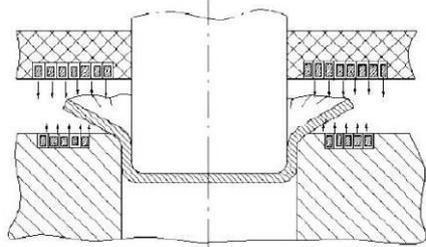
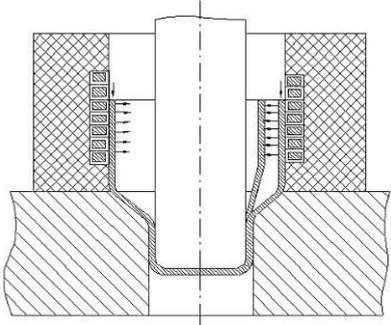
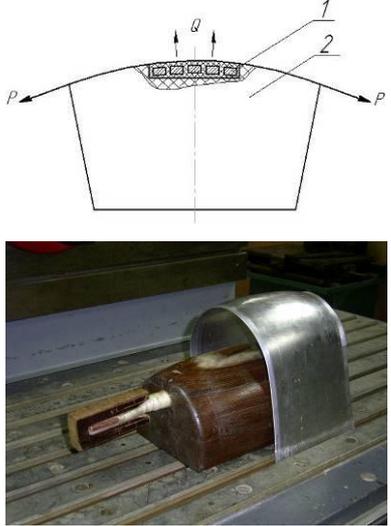
- при изготовлении некоторых деталей требуется изготовление большого количества металлоемкой и дорогой оснастки, штампов;
- применяются многопереходные процессы, снижающие ее экономическую эффективность.

Одним из направлений по устранению этих недостатков является разработка и применение гибридных и комбинированных технологий, т.е. когда на обрабатываемую заготовку воздействуют одновременно несколькими источниками нагружения или осуществляют последовательно несколько операций, но за один рабочий ход (производственный цикл).

Это, например, штамповка с наложением ультразвуковых колебаний или пропусканием тока, сочетание нескольких операций, реализуемых в одном инструментальном штампе. Во всех этих методах используется одновременное или последовательное применение статических нагрузок [2, 3].

Данная работа посвящена разработке гибридных и комбинированных технологий, использующих статическую и динамическую нагрузку. В качестве динамической нагрузки применено бесконтактное магнитно-импульсное нагружение [4, 5].

В таблице 1 приведены технологические схемы разработанных технологий и штампов.

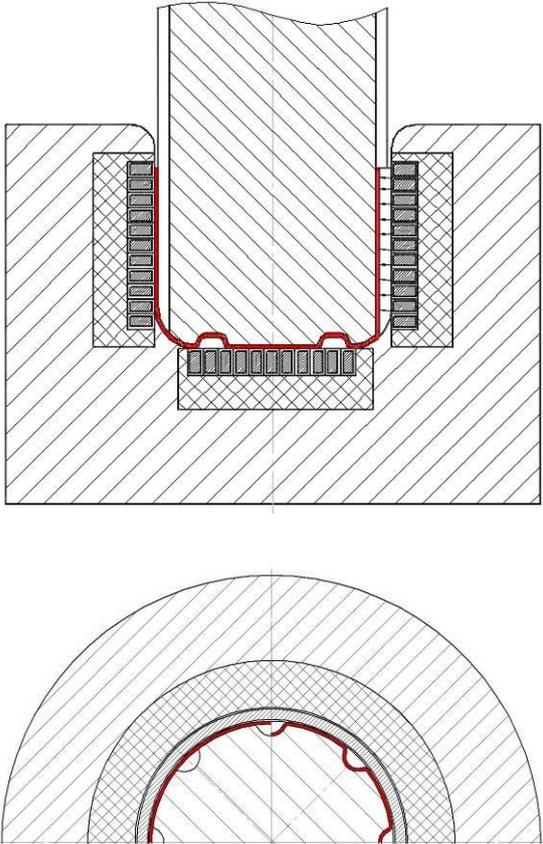
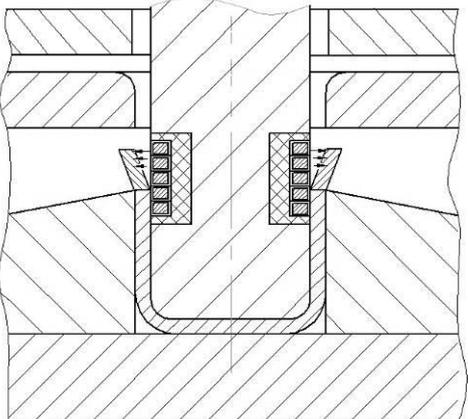
Статическая вытяжка с импульсным воздействием		Обтяжка с управляемым по поверхности и по величине импульсным воздействием
На фланец	На боковую поверхность	
		

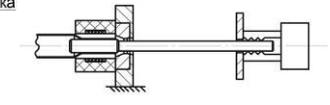
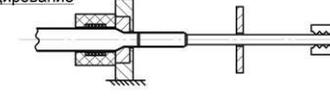
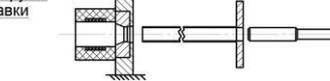
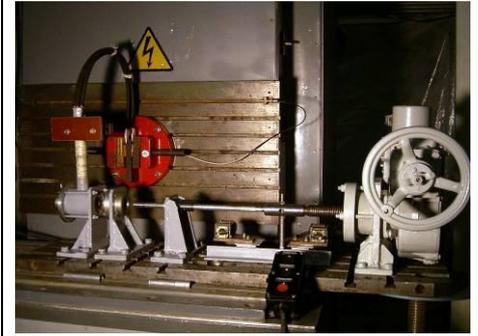
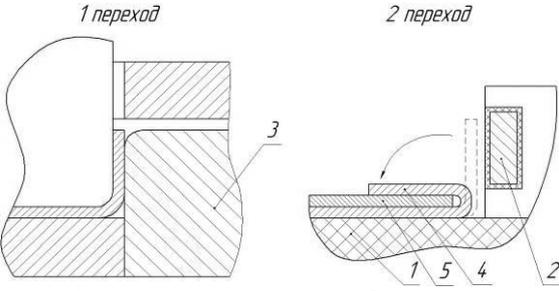
В обоих случаях используется созданная специализированно магнитно-импульсная установка (МИУ) с высокой скважностью разрядов – 1 - 2Гц.

В штампе для выполнения операции вытяжки, в его прижиме и матрице размещены индукторы, соединенные с МИУ. Фланец имеет возможность свободного перемещения (деформирования) в пределах зазора между прижимом и матрицей. В процессе вытяжки на фланец с обеих сторон воздействуют импульсным магнитным полем. В результате снижаются силы трения, создаются условия, препятствующие образованию потери устойчивости (гофр). За счет нагрева фланца вихревыми токами снижается сопротивление пластической деформации. Все эти факторы повышают предельные возможности процесса вытяжки и снижают требуемое усилие деформирования.

Гибридная технология обтяжки (табл. 1) позволяет, в конечном счете, привести к перераспределению деформаций, снижая их значения в критических сечениях.

В таблице 2 приведены технологические процессы комбинированных технологий.

Название	Схема процесса	Опробование схемы на практике
<p>Вытяжка – формовка рифтов</p>		 
<p>Вытяжка – обрезка припуска</p>		

<p>Редуцирование труб с магнитно- импульсной заковкой</p>	<p>Исходное положение</p>  <p>Индуктор Специальный съемник Зажим Оправка Матрица</p> <p>Заковка</p>  <p>Редуцирование</p>  <p>Съем трубы с оправки</p> 	
<p>Гибка - зафланцовка</p>	 <p>1 переход 2 переход</p> <p>1- корпус индуктора, 2 – виток индуктора, 3 – матрица, 4 – внешняя заготовка, 5- внутренняя заготовка.</p>	

В приведенных примерах основная операция осуществляется, как правило, на обычном кузнечно-штамповочном оборудовании (гидравлические и кривошипные прессы), а вторая операция (обрезка, формовка, зафланцовка) – с помощью импульсного магнитного поля, но во всех ситуациях за один ход основного оборудования и без его остановки. Время осуществления второй операции – тысячные доли секунды – не сопоставимо со временем деформирования на прессах, что и обеспечивает возможность осуществления одной из операций без их остановки.

Предложенных технологических схем в литературе не обнаружено, что явилось основанием для их патентования. Некоторые из них защищены патенты РФ [4, 5], на некоторые оформлены заявочные материалы.

С научной точки зрения при разработке таких технологий необходимо состыковать решения «статической» и «динамической» задач.

Предыстория – конечное деформированное состояние после одной операции является начальными условиями для другой. При решении сквозной задачи надо учесть переходы со статической кривой упрочнения на динамическую (рисунок 1).

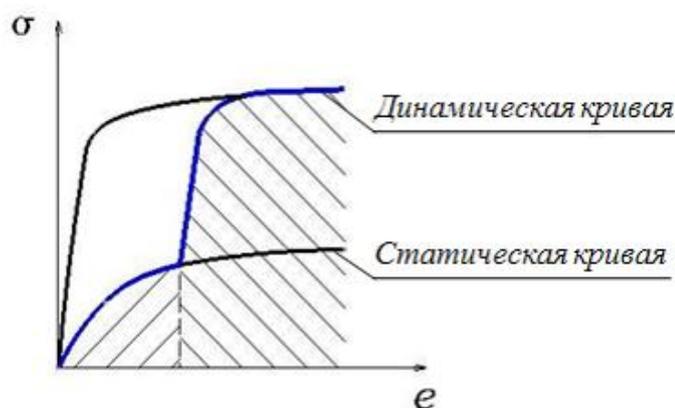


Рисунок 1 – Графики зависимости напряжений от деформаций при статических и динамических нагружениях

Как видно из рисунка динамическая кривая упрочнения всеми своими точками лежит выше статической, причем предел текучести реагирует на скорость деформации в большей степени, чем предел прочности. Изменяется (увеличивается) и величина предельной деформации. Учесть эти изменения наиболее точно позволяет степенная аппроксимация кривой упрочнения $\sigma = ke_i^n$ с условием ее прохождения через две точки: истинного предела текучести $S_{0,2}$ и истинного предела прочности S_B .

Для оценки возможности компьютерного моделирования гибридных и комбинированных технологий был опробован многоцелевой конечно-элементный комплекс ANSYS/LS-DYNA.

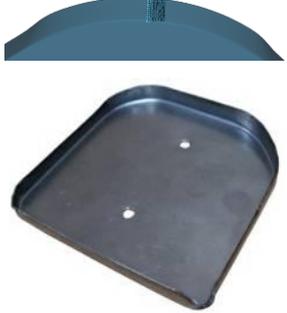
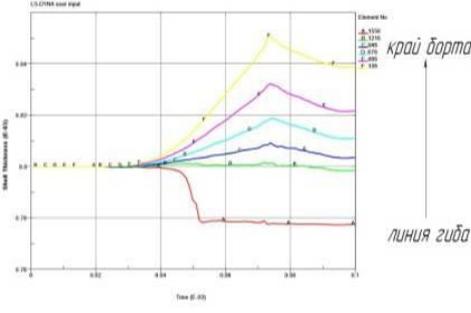
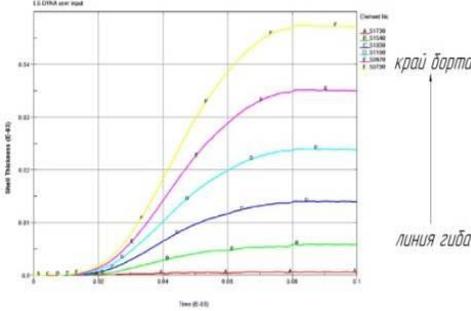
Подобного рода связанные задачи являются контактными, упругопластическими, нелинейными, требующими учета больших перемещений и деформаций.

В настоящее время наиболее перспективным методом расчета таких задач является метод конечных элементов (МКЭ). Лидером среди пакетов, позволяющих решать существенно нелинейные задачи МКЭ с реалистичными математическими моделями материалов является LS-DYNA. Более того, возможности этого пакета позволяют решать задачи, как в квазистатической, так и в динамической постановке.

Возможности комплекса и его преимущества можно продемонстрировать на двух примерах: «гибка-зафланцовка» (табл.3) и «вытяжка-формовка» (табл.4)

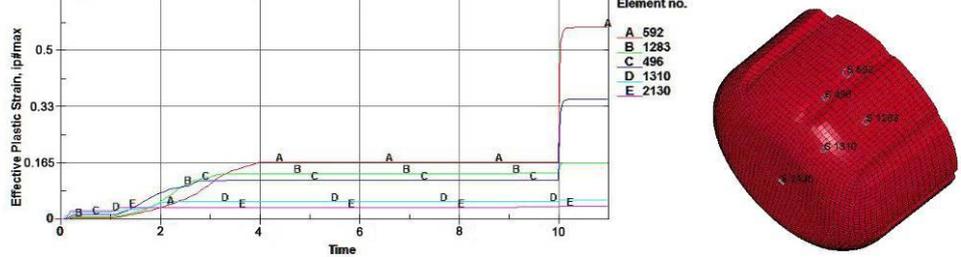
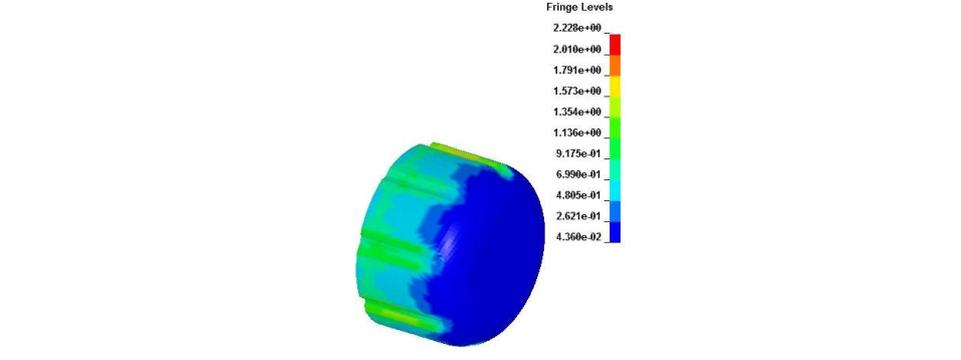
Применение программного комплекса ANSYS/LS-DYNA для осуществления процесса «гибка- зафланцовка»

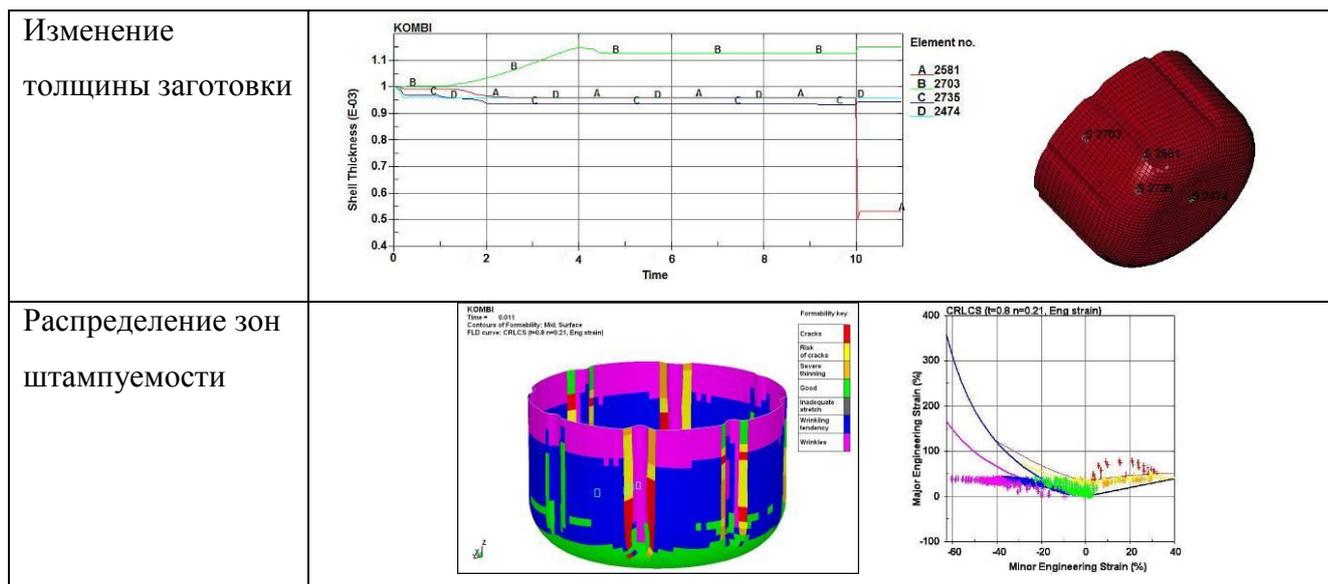
3

Деталь, полученная моделированием	Деталь, полученная при эксперименте	Изменение толщины борта детали
<p>1 переход</p> 		
<p>2 переход</p> 		

Применение программного комплекса ANSYS/LS-DYNA для осуществления процесса «вытяжка – формовка рифтов»

4

<p>Изменение пластической деформации</p>	
<p>Распределение напряжений</p>	



Программа ANSYS/LS-DYNA позволяет оценить напряженное состояние, распределение деформаций на любой стадии процесса, статической или динамической. Использованный комплекс позволяет оценить предельные возможности и спрогнозировать качество готовой детали в зависимости от энергосиловых параметров нагружения.

Проверку адекватности результатов моделирования была осуществлена сравнением с результатами экспериментальных исследований.

В процессе экспериментов оценивались кинематические параметры, распределение деформаций, конечные размеры детали.

В результате сопоставления можно сделать вывод о возможности использования программного комплекса ANSYS/LS-DYNA для моделирования гибридных и комбинированных операций. По некоторым параметрам расхождение не превысило 12%.

Разработанные гибридные и комбинированные технологии были опробованы в лабораторных условиях. Спроектирована и изготовлена экспериментальная оснастка (табл. 2). Приведенные в таблице 2 технологические процессы опробованы.

Использованное оборудование для процессов вытяжки, обтяжки, гибки, зафланцовки – гидравлический пресс и созданная специализированная магнитно-импульсная установка МИУ-10 (рисунок 2).



Рисунок 2 – Экспериментальное оборудование

Проведенные испытания показали:

- реальность, осуществимость предложенных процессов;
- возможность использования упрощенной технологической оснастки;
- высокое качество готовой продукции (рисунок 3).



Вытяжка - формовка рифтов



Гибка - зафланцовка

Рисунок 3 – Детали, полученные в результате процессов «вытяжка- формовка рифтов»
и «гибка – зафланцовка»

Выполненный объем работ позволяет спрогнозировать основные технико-экономические преимущества гибридных и комбинированных операций:

- повышение качества готовой продукции за счет сочетания статического и динамического нагружения;

- расширение предельных возможностей как результат использования динамических свойств металла и положительного изменения напряженно-деформированных состояний при переходе со статического на динамический процесс деформирования и обратно;
- значительное упрощение оснастки как результат бесконтактного воздействия импульсного магнитного поля на заготовку, возможность приложения динамического усилия в плоскостях, перпендикулярных направлению приложения статической нагрузки;
- сокращение производственного цикла (повышение производительности труда) за счет совмещения операций, сокращения (или ликвидации) межоперационного времени.

Библиографический список

1. Романовский, В.П. Справочник по холодной штамповке[текст]- 6-е изд., перераб. и доп. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1979. – 520с., ил.
2. Мещерин, В.Т. Листовая штамповка. Атлас схем. Учебное пособие для вузов[схемы]. Изд. 3-е, испр. и доп. – М.: Машиностроение, 1975, 227с. с ил.
3. Северденко, В.П. Ультразвуковая обработка металлов[текст], Минск, 1966, 180с.
4. Миттельман, И.Д., Шахназаров, А.М. Высокоскоростное деформирование металлов [текст], - М.: Машиностроение, 1966, 175с.
5. Белый И.В. Справочник по магнитно-импульсной обработке металлов [текст] / И.В. Белый, С.М. Фертик, Л.Т. Хищенко. – Харьков: «Вища школа», 1977. – 168 с.

Сведения об авторах

Сапожникова Юлия Андреевна, инженер-технолог ОАО «Авиакор-авиационный завод».

Ул. Земеца, 32; г. Самара, 443052;

тел.: 8-927-702-42-25; e-mail: djuliasa@ya.ru

Черников Дмитрий Геннадьевич, младший научный сотрудник Самарского государственного аэрокосмического университета имени академика С.П. Королева (национальный исследовательский университет).

СГАУ, Московское шоссе, 34, Самара, 443086;

тел.: (846) 267-46-07; e-mail: 4ernikov82@mail.ru