

УДК 621.7.044

М.К. КНЯЗЕВ, В.К. БОРИСЕВИЧ, О.В. МАНАНКОВ*Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Украина*

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССОВ ЭЛЕКТРОГИДРОИМПУЛЬСНОЙ ЛИСТОВОЙ ШТАМПОВКИ

Выполнен сравнительный анализ энергозатрат для традиционной листовой штамповки в инструментальных штампах и электрогидроимпульсной штамповки. Показаны преимущества импульсного способа штамповки жидким пуансоном. Приведены результаты экспериментального исследования с целью оптимизации по параметру энергозатраты на примере электрогидроимпульсной штамповки детали «рефлектор» при обеспечении высокого качества изделия. Обозначены направления дальнейших исследований.

электрогидроимпульсная штамповка, затраты энергии, листовая заготовка, разряд

Введение

Применение электрогидроимпульсной штамповки (ЭГШ) листовых деталей экономически оправдано и целесообразно в условиях единичного и мелкосерийного производства листовых деталей высокой точности, что характерно для современного производства самолетов и авиационных двигателей в Украине.

Анализ затрат энергии. Ресурсосбережение (снижение материалоемкости и затрат энергии) ЭГШ по сравнению со штамповкой в традиционных инструментальных штампах на гидравлических прессах связана, прежде всего, с уменьшением количества штампов до 1-2-х и их упрощением [1]. Формообразование ведется только по одной жесткой формозадающей поверхности, чаще всего – матрицы (пуансоном служит жидкость, заполняющая разрядную камеру и передающая силовое воздействие от канала разряда на заготовку), что сокращает затраты на изготовление второй части штампа и исключает инструментальную подгонку пуансона по матрице.

Другим направлением энергосбережения является организация процесса преобразования исходной электрической энергии в энергию пластического деформирования материала листовой заготовки. По литературным источникам КПД гидравлических

прессов составляет (1,5-2,0) %, а электрогидравлические прессы и установки показывают КПД до 20 %. В зависимости от выполняемой операции КПД электрогидравлического оборудования меняется от значений менее 1 % – при вырубке и пробивке без пуансона и до 20 % – при развальцовке и формовке трубчатых заготовок [2].

По нашим данным при штамповке из плоского листа на этапе образования генеральных форм детали КПД может достигать 30 %, при формовке локальных элементов – (5-10) %, при калибровке – менее 1 %.

В гидравлическом прессе процесс преобразования энергии организован в несколько стадий: «электроэнергия – энергия сжатой жидкости – механическая энергия движущихся частей прессы – энергия пластического деформирования». При этом каждый этап характеризуется большими потерями. В электрогидроимпульсном (ЭГИ) прессе количество ступеней такое же: «электроэнергия низкого напряжения – электроэнергия высокого напряжения – энергия силовых факторов разряда – энергия пластического деформирования», однако КПД преобразования гораздо выше и составляет 85-95 % по первым ступеням. Можно сказать, что КПД электрогидроимпульсной установки определяется КПД преобразования энергии силовых фак-

торов разряда в энергию пластического деформирования материала заготовки.

Здесь также нужно отметить такой параметр как установленная мощность пресса.

Для гидропрессов, предназначенных для штамповки деталей средних размеров, мощность насосной станции измеряется десятками киловатт.

Для ЭГИ пресса примерно равных технологических возможностей мощность насосной станции составляет 7-10 кВт, высоковольтного выпрямителя-трансформатора – 10-15 кВт, что в несколько раз меньше, чем у традиционного гидравлического оборудования.

Однако процессы электрогидроимпульсной штамповки, несмотря на высокие ресурсосберегающие характеристики в целом, во многих случаях могут быть оптимизированы по параметру энергопотребление. Существуют различные пути их совершенствования с целью сокращения затрат энергии и прямого машинного времени.

В настоящей статье поставлена цель: исследовать способ оптимизации процесса ЭГШ сложной листовой детали за счет интенсификации нагружения листовой заготовки.

Экспериментальное исследование процесса штамповки детали «рефлектор»

В соответствии с типовыми рекомендациями, принятыми для проектирования процессов ЭГШ, на ранних стадиях формообразования необходимо устанавливать относительно низкое напряжение и большую емкость разрядного контура для увеличения длительности действия импульса давления на податливую заготовку. Считается, что эффективность процесса деформирования определяется в первую очередь не максимальным давлением в импульсе, а его длительностью.

По мере увеличения прогиба заготовки и ее жесткости необходимо увеличивать «жесткость» нагружающего импульса за счет повышения зарядного на-

пряжения при снижении емкости разрядного контура.

На стадии калибровки эффективность процесса деформирования определяется пиковым давлением в ударной волне, генерируемой каналом высоковольтного разряда. Величина пикового давления практически в линейной зависимости определяется зарядным напряжением. Поэтому калибровку, как правило, ведут на высоком напряжении (максимальном для данного ЭГИ пресса) при малой емкости разрядного контура, которая несущественно сказывается на величине давления.

Технологический процесс для изготовления детали «рефлектор» был спроектирован в соответствии с приведенными рекомендациями и реализован на опытно-промышленной установке УЭГШ-2 (рис. 1, таблица) со следующими параметрами разрядного контура: зарядное напряжение 13-16 кВ, емкость 50 мкФ, индуктивность 1,7 мкГн, количество разрядов 8.

Основные геометрические параметры получен-



Рис. 1. Коническая разрядная камера и штамповая оснастка, размещенные в технологическом блоке установки УЭГШ-2

ной детали (рис. 2) соответствует требованиям, заданным на чертеже Заказчика. На последующих операциях фланец детали подвергается обрезке и формовке в инструментальных штампах.

Таблица

Основные технические данные экспериментальной электрогидравлической установки УЭГШ-2

Показатели	Размерность	Величина
Максимальная запасаемая энергия	кДж	100
Максимальные размеры плоской заготовки (длина × ширина)	мм	760 × 600
Наибольшее рабочее напряжение	кВ	40
Количество разрядных контуров	шт	7
Количество электродов	шт	19
Наибольшее расстояние от плоскости стола до торца разрядного блока	мм	560
Общая потребляемая мощность	кВт	11

Общие затраты энергии на выполнение основной формообразующей операции составили 42,2 кДж без учета затрат энергии на зажим-разжим заготовки,

вакуумирование полости матрицы и заполнение-слив воды. Время обработки (8 циклов заряд-разряд) оставило 74 с.

При осмотре отштампованных деталей на участках вертикальных стенок, прилегающих к перетяжному ребру, обнаружены волнообразные канавки, перпендикулярные направлению вытяжки фланца заготовки (рис. 2, а). Глубина канавок по внутренней поверхности составляет 0,02 – 0,10 мм (рис. 2, б). Глубина канавок по наружной поверхности составляет 0,01 – 0,02 мм, так произошло их разглаживание в процессе вытяжки (рис. 2, в). Количество канавок соответствует количеству циклов нагружения (разрядов). Это говорит о том, что волнообразные канавки были образованы перегибом материала заготовки на перетяжном ребре в моменты остановки процесса вытяжки.

В дальнейшем под действием импульсного давления такие волны полностью не разгибаются из-за их высокой жесткости.

Последующие эксперименты были проведены при относительно высоких напряжениях и энергиях при снижении емкости разрядного контура: 20 – 30 кВ, 33,2 мкФ, 2,5 мкГн.



Рис. 2. Деталь «рефлектор», отштампованная за 8 разрядов из материала АД1М толщиной 1,0 мм:
а – общий вид; б – внутренний вид фрагмента детали, примыкающего к перетяжному ребру;
в – наружный вид того же фрагмента детали

Затраты энергии (за 2 разряда) при таких условиях составили всего 21,5 кДж, несмотря на значительно большую величину запасаемой энергии в расчете на 1 разряд. Время обработки (2 цикла заряд-разряд) оставило 16 с, что в 4,6 раза меньше, чем при многоразрядной обработке.

Такой подход к организации процесса электрогидроимпульсной штамповки не соответствует типовому (описанному выше), однако он, в целом, оправдывает себя, так как обеспечивает значительное сокращение затрат электроэнергии.

В целом форма детали соответствует требованиям чертежа. Однако на внутренней поверхности обнаружены две относительно широкие плавные вмятины, соответствующие положению заготовки относительно перетяжного ребра перед первым и вторым разрядами. На наружной поверхности находится узкая вмятина глубиной 0,10-0,15 мм, которая образовалась в результате удара заготовки о перетяжное ребро от первого разряда высокой интенсивности (30 кВ). Наружная вмятина существенно ухудшает внешний вид изделия

При дальнейшей оптимизации процесса по параметру качество оказалось, что электрические параметры разрядного контура соответствуют средним из описанных выше: зарядное напряжение конденсаторной батареи 16-20 кВ, емкость 33,2 мкФ, индуктивность 2,5 мкГн, количество разрядов 3. При этом также был оптимизирован параметр энергозатраты: произошло уменьшение расхода электроэнергии до 18,8 кДж. Время штамповки – 18 с. Глубина волнообразных канавок составила 0,05–0,07 мм, что является вполне приемлемым для данной детали.

Заключение

Выполненный сравнительный анализ и результаты проведенного исследования показали существенные преимущества импульсных способов штамповки и, в частности электрогидроимпульсного способа, по параметру энергозатраты в условиях мало-

серийного производства. При этом обеспечивается заданное качество листовых изделий.

По сравнению с типовой технологией ЭГШ затраты энергии для формообразования детали «рефлектор» сокращены в 2,2 раза, количество разрядов уменьшено почти в 3 раза при сокращении времени обработки в 4 раза.

Полученные результаты позволяют рекомендовать данный технологический процесс для средне-серийного и даже крупносерийного производства. Можно сказать, что при определенных условиях процессы ЭГШ могут составлять конкуренцию традиционным высокопроизводительным методам штамповки не только по параметру затрат энергии и материалоемкости оснастки, но и по такту выпуска изделий.

Дальнейшую оптимизацию данного процесса ЭГШ нужно вести по обеспечению параметров вспомогательного оборудования (быстрый зажим-разжим технологической оснастки, залив-слив воды, вакуумирование и др.), обеспечивающих его применение в условиях крупносерийного производства. Необходимо также провести исследовательские работы по уменьшению разнотолщинности по профилю изделия при создании благоприятного поля импульсного нагружения.

Литература

1. Князев М.К. Экономичная технология для производства небольших партий листовых деталей // Бизнес-мост, 2004. – № 4 (23). – С. 17-19.
2. Оборудование и технологические процессы с использованием электрогидравлического эффекта / Под ред. Г.А. Гулого. – М.: Машиностроение, 1977. – 320 с.

Поступила в редакцию 31.05.2007

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Ю.С.Воробьев, Институт проблем машиностроения им. А.Н. Подгорного НАН Украины, Харьков