

УДК 621.7.044

А.И. ДОЛМАТОВ, Я.С. ЖОВНОВАТЮК, М.К. КНЯЗЕВ, О.В. МАНАНКОВ

Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Украина

ОСОБЕННОСТИ ЭЛЕКТРОГИДРОИМПУЛЬСНОЙ ШТАМПОВКИ ДЕТАЛЕЙ С ЛОКАЛЬНЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ БОЛЬШОЙ КРИВИЗНЫ

При выполнении экспериментальной штамповки детали из стали 08кп толщиной 2 мм с малыми радиусами перехода "дно-стенка" исследована возможность применения различных технологических приемов для обеспечения заданной геометрии. Оптимизирована геометрия разрядной полости электродной пары направленного воздействия. Установлены состав штамповой оснастки, форма, толщина, материал и расположение подкладок для формирования радиусов детали. Выявлена оптимальная последовательность технологических переходов с целью уменьшения энергоемкости процесса. Рассмотрена возможность серийного производства детали. Даны рекомендации по построению процессов штамповки и использованию технологических приемов для изготовления деталей такого класса.

Ключевые слова: листовая штамповка, радиус, набор материала, подкладка, осадка, калибровка.

Введение

Способ электрогидроимпульсной штамповки (ЭГШ) позволяет изготавливать детали из листовых материалов толщиной до 12 мм. Однако штамповка листовых деталей большой толщины требует применения высокоэнергетических прессов с энергией в разряде выше 100 кДж, при этом количество разрядов может достигать двухсот [1, 2]. В случае же применения оборудования с максимальной запасаемой энергией до 60 кДж формообразование деталей с толщиной стенки выше 1,5 мм уже вызывает значительные сложности. Для деталей класса "дно-стенка" еще одним определяющим фактором является соотношение величин придонного радиуса, толщины и глубины детали, а также угла наклона стенки. В некоторых случаях изготовление качественной детали без применения специальных технологических приемов невозможно даже при большом количестве выполненных разрядов.

Рассмотрим особенности применения различных технологических приемов для изготовления деталей из толстого листа на примере детали "основание".

Деталь представляет собой полутор с плоским дном и максимальной глубиной 15 мм, причем центральное тело детали на 5 мм выше ее периферийной части. Радиусы перехода дно-стенка равны 4 мм (рис. 1).

Исследование выполняли на экспериментальной установке УЭГШ-2 с максимальным уровнем запасаемой энергии 69 кДж для семи разрядных контуров. При проведении опытной штамповки

наибольшая запасаемая энергия составила 57 кДж.

По существующим рекомендациям и оценкам минимально возможное значение радиуса R_1 состав-

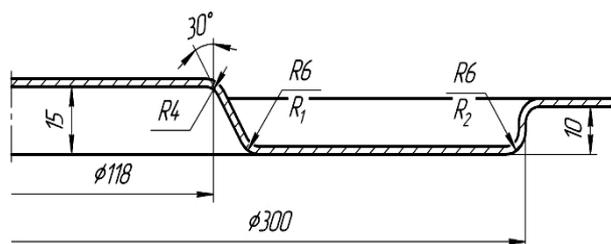


Рис. 1. Эскиз детали "основание"

ляет 7 мм (см. рис. 1), а радиуса R_2 – 10 мм, то есть получение радиуса R_2 величиной 6 мм без использования специальных приемов невозможно. В то же время на изготовление теоретически возможного радиуса R_1 требуется затратить 1669 кДж энергии [3], что в условиях штамповки на прессе УЭГШ-2 приводит к необходимости выполнения 25 разрядов с максимальным уровнем запасаемой энергии. Следствием штамповки на наибольших напряжениях является очень интенсивный износ электродов и их быстрый выход из строя, что негативно сказывается на себестоимости детали. Большое количество разрядов также приводит к увеличению длительности технологического процесса, и, следовательно, стоимости изделия.

Таким образом, требования обеспечения заданной геометрии, снижения трудоемкости и энергоемкости процесса приводит к необходимости использования технологических приемов, позволяющих увеличить эффективность штамповки.

1. Организация разрядной полости

Разрядный блок установки УЭГШ-2 состоит из 19 электродных пар направленного воздействия (ЭПНВ), семь из которых использовали при штамповке детали.

Как показано в работе [3] более высокая эффективность разряда с осесимметричным полем нагружения достигается при установке торцов изолированного электрода на расстоянии 23-26 мм (рис. 2) от нижнего торца разрядной плиты по сравнению с его расположением в конической полости по верхнему торцу разрядной плиты. В работе [4] проведен анализ распространения ударных волн в разрядных полостях установки, также показавший, что большая их часть гасится в конической полости при верхнем расположении электрода. Поэтому с целью увеличения эффективности ударных волн в разрядных полостях были установлены втулки-отражатели (см. рис. 2), уменьшающие высоту полостей, а, следовательно, и долю рассеяния ударных волн. Уменьшение объема разрядных полостей также приводит к увеличению интенсивности гидропотока за счет приближения дна полости к каналу разряда, а также к повышению квазистатического давления.

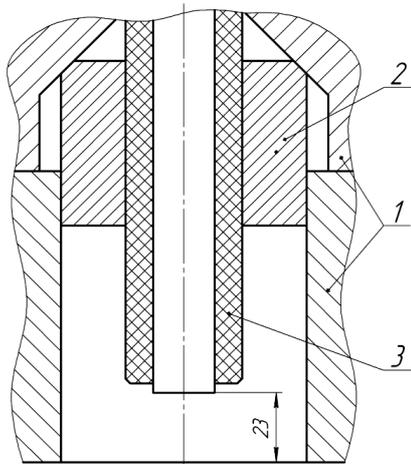


Рис. 2. Схема используемой ЭПНВ:
1 – разрядный блок; 2 – втулка-отражатель;
3 – изолированный электрод

2. Применение подкладок для улучшения условий формовки донных радиусных элементов

Как было указано ранее, получение радиуса R_2 равным 6 мм теоретически невозможно. Это связано с максимальным уровнем давления, которое можно получить в разрядных камерах электрогидравлических прессов. Однако существует технологический прием, позволяющий осуществить формообразование детали при существенно меньшем уровне дав-

ления. Это так называемый набор металла на "грибок" [1].

На этапе вытяжки и формовки металл ложится на подкладки (рис. 3), создавая, таким образом, выступ с запасом металла, который, разравниваясь на этапе калибровки, заполняет собой радиусы, что позволяет уменьшить потребное давление в разрядной камере, а, следовательно, обойтись меньшим количеством затраченной энергии.

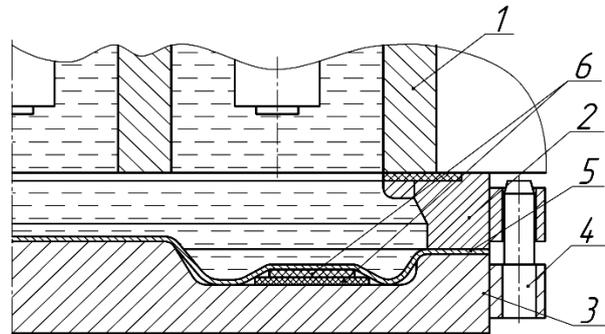


Рис. 3. Схема набора на "грибок":
1 – разрядный блок; 2 – прижимное кольцо;
3 – матрица; 4 – центровочный штифт;
5 – заготовка; 6 – резиновые подкладки

По рекомендациям работы [1] размер резиновых подкладок выбрали таким образом, чтобы длина образующей деформированной заготовки равнялась 95% длины образующей готовой детали.

Применение технологического приема с подкладками, расположенными на донной части матрицы позволило при количестве затраченной энергии 382 кДж за 12 разрядов получить радиусы $R_1 = 7$ мм и $R_2 = 10$ мм, то есть предельные теоретически возможные.

Поскольку применение подкладок, расположенных на дне матрицы, не дало ожидаемого эффекта, следующим шагом стало исследование влияния на формообразование детали подкладок, расположенных на периферии и центральном теле матрицы. Такое решение основано на следующей схеме формоизменения заготовки. На первом этапе выполняется формовка детали с более высокими стенками и большими радиусами перехода "дно-стенка". После этого подкладки убирают и производят осадку высокой стенки заготовки в матрицу с одновременным заполнением металлом радиусов, далее выполняется калибровка детали и окончательное ее формообразование.

Наиболее сложным вопросом при использовании данного способа является выбор оптимальной высоты подкладок, их расположения, а также количества и энергии разрядов во время формовки.

Установка резиновой подкладки диаметром 140 мм на центральное тело матрицы не позволила получить требуемые размеры радиусов (так, при

уровне затраченной энергии 219 кДж величины радиусов составили $R_1 = R_2 = 11$ мм), поэтому в дальнейшем подкладки устанавливали и на центральном выступе, и на периферии матрицы.

Установка двух подкладок позволила добиться лучших результатов штамповки. Так, при установке резиновой подкладки толщиной 3 мм на центральное тело матрицы и стальной толщиной 3 мм на периферии позволило добиться при затратах энергии 365 кДж радиусов $R_1 = R_2 = 8$ мм.

Использование резины также показало ее недолговечность. Последующие эксперименты выполнялись с контактом заготовки и стальной подкладки.

По результатам опытов установлено, что подкладка на периферии (под фланец заготовки) толщиной 3 мм позволила уменьшить минимальный радиус R_2 до 8 мм. Дальнейшее увеличение толщины подкладки дало возможность уменьшить радиус R_2 до 6 мм. Установка подкладки из стали толщиной 3 мм на центральное тело матрицы и подкладок из резины толщиной 4 мм и стали толщиной 3 мм на периферию матрицы (рис. 4) позволила за 10 разрядов с общим расходом запасаемой энергии 462 кДж изготовить деталь с радиусами перехода "дно-стенка" $R_1 = 7$ мм и $R_2 = 6$ мм.

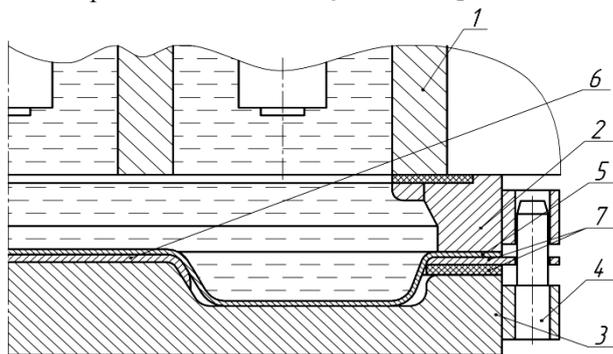


Рис. 4. Схема установки подкладок:
1 – разрядный блок; 2 – прижимное кольцо;
3 – матрица; 4 – центровочные штифты;
5 – заготовка; 6 – стальная подкладка;
7 – стальная и резиновая подкладки

Таким образом, использование предложенного технологического приема позволяет изготовить деталь (рис. 5) с заданными радиусами перехода (теоретически невозможными) с практически четырехкратной экономией энергии по сравнению с литературными данными.

3. Калибровка по пуансону для уменьшения энергоемкости процесса

Как показано в литературе [1] наиболее эффективно выполняется формообразование выступающих элементов детали, то есть для улучшения условий формирования радиусов R_1 и R_2 необходимо выполнять штамповку данной детали на пуансон.



Рис. 5. Образец детали

В общем случае, штамповка данной детали на пуансон из плоской заготовки проблематична в связи с потерей устойчивости при зажиме фланца прижимным кольцом. Использование данного технологического приема целесообразно для выполнения калибровки радиусов перехода "дно-стенка" (рис. 6).

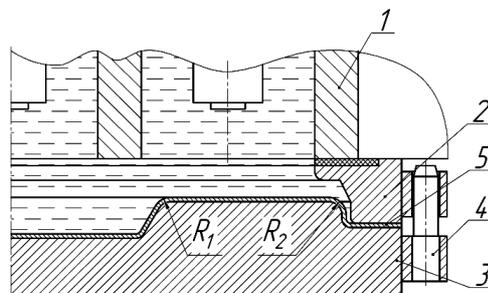


Рис. 6. Схема штамповки на обжим:
1 – разрядный блок; 2 – прижимное кольцо;
3 – матрица; 4 – центровочные штифты; 5 – заготовка

Здесь основная сложность состоит в определении оптимальных размеров радиусов детали перед калибровкой. Они зависят от двух противоположных факторов: точности установки заготовки перед калибровкой и энергоемкости процесса. Точность установки заготовки на пуансон зависит от величины радиусов R_1 и R_2 перед калибровкой: чем меньше радиусы перехода, тем точнее будет базирование заготовки. Однако для достижения малых радиусов перед калибровкой необходимо увеличивать количество разрядов на стадии формовки, что увеличивает энергоемкость процесса. С другой стороны, при уменьшении количества разрядов радиусы перехода будут большие, что приведет к повышению сложности установки заготовки и возможности ее смещения при зажиме, а также увеличению длительности всего процесса штамповки.

Эксперименты показали, что оптимальными перед калибровкой являются радиусы перехода "дно-стенка" $R_1 = 10...11$ мм и $R_2 = 8...9$ мм. При таких значениях радиусов калибровка выполняется за три разряда с постепенным повышением напря-

жения и общим уровнем запасенной энергии 112 кДж с окончательной величиной радиусов $R_1 = 6$ мм и $R_2 = 6$ мм соответствующими заданным чертежом.

4. Оптимизация процесса штамповки и оснастки для уменьшения энергоемкости штамповки

Ранее были определены оптимальные величины толщины подкладок при формовке заготовки, а также величина радиусов перед калибровкой. При этом радиусы перед калибровкой зависят как от толщины подкладок, так и от величины радиусов перед осадкой и количества выполненных при этом разрядов и их энергии.

Так, при больших радиусах перехода перед осадкой невозможно получить оптимальный радиус перед калибровкой, он будет слишком большим, что приведет к необходимости выполнения дополнительных разрядов после осадки для обеспечения заданного радиуса. В случае же малого радиуса возможно наличие избытка материала, что приведет к выпучиванию донной части заготовки и следователюму браку детали.

Экспериментальная штамповка показала, что при толщине подкладок на периферии 7 мм оптимальные радиусы перехода перед осадкой составляют $R_1 = 15...18$ мм (то есть 2,5...3,0 величины окончательно радиуса) и $R_2 = 8...10$ мм (1,3...1,7 величины окончательно радиуса).

Исходя из полученных оптимальных значений геометрических параметров, как детали, так и штамповой оснастки, технологический процесс штамповки детали имеет следующий вид: формовка – 4 разряда с подкладками; осадка – 2 разряда без подкладок; калибровка – 3 разряда с калибровкой заготовки по пуансону. При этом зарядное напряжение возрастает от 20 кВ до 30 кВ, а общий уровень запасаемой энергии составляет 365 кДж.

Таким образом, оптимизированный технологический процесс позволяет изготовить окончательную форму детали с энергетическими затратами практически в 5 раз меньшими по сравнению с базовым технологическим процессом, описанным в литературе.

В работе [1] указано, что детали такого типа можно штамповать без вакуумирования полости матрицы, поскольку из-за большой толщины материал имеет высокую инерционность и воздух успевает вытисниться во время разряда. Однако экспериментальная штамповка показала, что на детали образуются прижоги в местах перехода "дно-стенка" (по радиусному сопряжению), а на центральном теле даже образуются бухтины из-за наличия большого количества воздуха. Оптимальным вариантом

в данном случае является вакуумирование полости матрицы. В данном случае оказалось, что применение вакуумирования является необязательным. В матрице просверлили отверстия для выхода воздуха в атмосферу в местах его скопления (для рассматриваемой детали – по ее оси и по радиусу R_2). После выполнения воздушных отверстий прижоги и бухтины на изделиях отсутствовали.

Необходимо отметить, что при наличии воздушных отверстий и работе без диафрагмы следует обеспечить отвод жидкости из-под матрицы, поскольку после штамповки нескольких деталей отверстия заполняются водой и при осадке детали возможно подсасывание воды в полость матрицы.

5. Серийное производство изделия

Результаты опытов по применению различных технологических приемов и оптимизированные значения геометрических параметров штамповой оснастки для последовательных этапов процесса электрогидравлической штамповки детали "основание" позволяют предложить технологию изготовления этой и аналогичных деталей в условиях серийного производства.

На первом этапе производится набор материала в матрицу с более высокими стенками по сравнению с требуемыми. В такой матрице вакуумное отверстие важно только по оси во избежание образования бухтин.

На втором этапе производится осадка полуфабриката в прямую матрицу с образованием радиусов, оптимальных для изготовления качественной детали на калибровке. Здесь отверстия для выхода воздуха выполняют как по оси, так и по радиусу на периферии во избежание прижогов.

Третий этап – калибровка. Ее выполняют по обратной матрице (калибрующему пуансону) для окончательного формирования донных радиусов.

Заключение

Проведенное экспериментальное исследование позволило определить характерные трудности при изготовлении способом ЭГШ деталей класса "дно-стенка" с локальными элементами большой кривизны.

Выполнен анализ и определены оптимальные условия применения различных технологических приемов для обеспечения качественных деталей с минимальными энергозатратами.

Проведенное исследование позволило разработать комплексный процесс электрогидроимпульсной штамповки, использующий различные технологические приемы и позволяющий уменьшить энергозатраты по сравнению с базовыми в 5 раз.

Предложены рекомендации по проектированию процессов ЭГШ, штамповой оснастки и организации рабочей зоны электрогидравлических прессов для изготовления деталей класса "дно-стенка" с минимальными затратами, а также разработана схема процесса штамповки деталей указанного класса в серийном производстве.

Литература

1. Мазуровский Б.Я. Электрогидравлический эффект в листовой штамповке: монография / Б.Я. Мазуровский, А.Н. Сизев. – К.: Наук. думка, 1983. – 192 с.

2. Оборудование и технологические процессы с использованием электрогидравлического эффекта : [монография] / Г.А. Гулый [и др.]; под ред. Г.А. Гулого. – М.: Машиностроение, 1977. – 320 с.

3. Антоненко А.А. Влияние геометрических параметров электродной пары направленного воздействия на технологические параметры поля нагружения / А.А. Антоненко, М.К. Князев // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка металлов давлением. – 2002. – № 11. – С. 7-12.

4. Князев М.К. Разрядные блоки для электрогидравлической штамповки неглубоких листовых деталей / М.К. Князев, Я.С. Жовноватюк, О.В. Мананков // Авиационно-космическая техника и технология. – 2005. – № 8 (24). – С. 28-31.

Поступила в редакцию 29.05.2009

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

ОСОБЛИВОСТІ ЕЛЕКТРОГІДРОІМПУЛЬСНОГО ШТАМПУВАННЯ ДЕТАЛЕЙ З ЛОКАЛЬНИМИ ЕЛЕМЕНТАМИ ВЕЛИКОЇ КРИВИЗНИ

А.І. Долматов, Я.С. Жовноватюк, М.К. Князев, О.В. Мананков

Під час виконання експериментального штампування деталі із сталі 08кп товщиною 2 мм з малими радіусами переходу "дно-стінка" досліджено можливість використання різних технологічних прийомів для забезпечення заданої геометрії. Оптимізовано геометрію розрядної порожнини електродної пари направленої дії. Встановлені склад штампового оснащення, форма, товщина, матеріал та розміщення підкладок для формоутворення радіусів деталі. Виявлена оптимальна послідовність технологічних переходів з метою зменшення енергоємності процесу. Розглянуто можливість серійного виробництва деталі. Дано рекомендації з побудови процесів штампування та використанню технологічних прийомів для виготовлення деталей даного класу.

Ключові слова: листове штампування, радіус, набір матеріалу, підкладка, осадка, калібрування.

FEATURES OF ELECTROHYDRAULIC FORMING OF PARTS WITH HIGH-CURVATURE LOCAL ELEMENTS

A.I. Dolmatov, Ya.S. Zhovnovatyuk, M.K. Knyazyev, O.V. Manankov

Feasibility of different technological methods for specified shape production was researched during experimental forming of component from steel 08kp of 2 mm thickness with small "bottom-wall" fillets. Geometric shape of discharge cavity of directional action electrodes pair was optimised. Die tooling structure, shape, thickness, material and layout of pads for component fillets forming were determined. Optimal operation steps sequence for process energy saving was detected. Component serial production possibility was considered. Forming processes structure and technological methods recommendations were submitted for similar components production.

Key words: sheet forming, radius, material cumulating, pad, energy saving, calibration.

Долматов Анатолий Иванович – д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой технологии производства авиационных двигателей Национального аэрокосмического университета им. Н.Е. Жуковского "ХАИ", Харьков, Украина.

Жовноватюк Ярослав Сергеевич – научный сотрудник кафедры технологии производства авиационных двигателей Национального аэрокосмического университета им. Н.Е. Жуковского "ХАИ", Харьков, Украина, e-mail: yaroslavzhovnovatyuk@yandex.ru.

Князев Михаил Климович – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры технологии производства авиационных двигателей Национального аэрокосмического университета им. Н.Е. Жуковского "ХАИ", Харьков, Украина, e-mail: knyazyev@yandex.ru.

Мананков Олег Владимирович – научный сотрудник кафедры технологии производства авиационных двигателей Национального аэрокосмического университета им. Н.Е. Жуковского "ХАИ", Харьков, Украина, e-mail: uriy_dcc@ukr.net.