

УДК 621.7.044

О.В. МАНАНКОВ, Я.С. ЖОВНОВАТЮК*Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Украина***ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ ЭЛЕКТРОГИДРОИМПУЛЬСНОЙ ШТАМПОВКИ ДЕТАЛЕЙ ТИПА «КОРОБКИ»**

Определены конструктивные элементы деталей типа «коробки», влияющие на технологичность их производства. Приведены причины, определяющие сложность формообразования указанных элементов. Представлены способы расширения технологических возможностей оборудования и интенсификации процесса электрогидравлической штамповки. Рассмотрены пути оптимизации технологической оснастки и технологических процессов (а именно применяемых технологических приемов) изготовления деталей. Выявлены области эффективного применения рассмотренных способов и даны рекомендации по их использованию.

Ключевые слова: *перетяжной радиус, радиус сопряжения, фланец, оснастка, технологический прием.*

Введение

В двигателестроении существует довольно большая номенклатура деталей класса «дно-стенка» типа «коробки», типоразмеры которых колеблются в широких пределах ((50...1200) мм). В единичном и мелкосерийном производстве для их изготовления целесообразно и экономически эффективно применение электрогидравлической штамповки (ЭГШ). На технологичность изготовления данных деталей способом ЭГШ влияют следующие конструктивные элементы:

- материал и глубина детали;
 - радиус перехода дно-стенка;
 - радиус сопряжения стенок детали;
 - значение углового размера между стенками и стенкой и дном детали;
 - наличие делового фланца и радиус сопряжения фланца и стенки.
- Сложность изготовления данных конструктивных элементов обусловлена такими причинами:
- упрочнение материала детали при формообразовании;
 - уменьшение интенсивности воздействия энергосиловых факторов разряда на заготовку при увеличении глубины вытяжки;
 - при относительно малых значениях перетяжного радиуса (отношение величины радиуса к толщине детали меньше 4) значительно увеличивается усилие вытяжки и, следовательно, уменьшается возможная глубина формообразования, а также возможен обрыв детали по перетяжному радиусу;
 - в случае наличия малых радиусов возможен переход напряженно-деформированного состояния

детали от двухосного растяжения к объемному деформированию, что требует значительно большей интенсивности нагружения.

В случае исчерпания технологических возможностей оборудования (не обеспечивается требуемая интенсивность воздействия энергосиловых факторов разряда на заготовку), а также с целью уменьшения энергонапряженности процесса ЭГШ (для его удешевления), для обеспечения возможности изготовления деталей необходимо использование специальных способов интенсификации процессов формообразования (оптимизация процесса). Данные способы можно разделить на группы:

- 1) используемые на стадии проектирования технологической оснастки;
 - 2) применяемые во время штамповки детали.
- Рассмотрим возможности применения указанных способов.

1. Оптимизация технологической оснастки**1.1. Управление перетяжным радиусом**

Обычно в практике проектирования технологической оснастки для вытяжки способом ЭГШ значение перетяжного радиуса назначают по формуле:

$$r_n = (5 \dots 10) t, \quad (1)$$

где r_n – радиус перетяжного ребра; t – толщина заготовки.

Однако формула (1) не учитывает других факторов, оказывающих заметное влияние на качество изготовления детали, как-то глубина детали и радиус сопряжения стенка-стенка. В работе [1] предложена формула для определения максимального значения радиуса перетяжного ребра:

$$r_{\max} = k \cdot \frac{t^3 \cdot R}{H}, \quad (2)$$

где R – радиус сопряжения стенка-стенка в плане; H – глубина полости матрицы; $k = 20 \text{ мм}^{-2}$ – коэффициент.

Использование формулы (2) позволяет избежать потери устойчивости на фланце заготовки (гофрообразование), а также предотвратить возникновение гофров на боковой стенке и провисающей части детали. Тем не менее, при вычисленном максимальном радиусе, необходимо знать минимальный радиус перетяжного ребра, поскольку при значительном его уменьшении возможен разрыв заготовки по ребру.

Проведенные исследования позволили определить эмпирическую формулу для минимального радиуса перетяжного ребра:

$$r_{\min} = k_{\min} \cdot t^2 \cdot \sqrt{\frac{H}{R}}, \quad (3)$$

где $k_{\min} = 2 \text{ мм}^{-1}$ – коэффициент.

Дополнительный интерес представляет сравнение результатов, полученных по формулам (2) и (3). Так, на рис. 1 представлены графики изменения r_{\max} и r_{\min} в зависимости от отношения R/H для толщины материала, равной 2 мм.

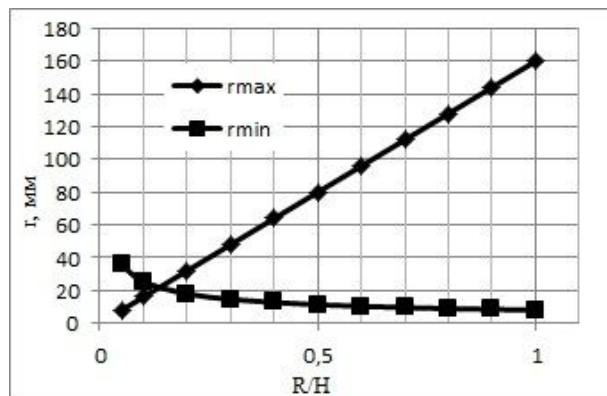


Рис. 1. Зависимость максимального и минимального перетяжного радиуса от соотношения размера углового радиуса в плане и глубины детали (для толщины листа 2 мм)

Как видим, при значении $R/H = 0,14$ линии пересекаются, что говорит о невозможности изготовления качественной детали при $R/H < 0,14$ только за счет выбора оптимального перетяжного радиуса без применения других спецприемов. Таким образом можно говорить о критическом значении параметра при переходе через который в сторону увеличения возможно регулирование вытяжки детали за счет радиуса перетяжного ребра. На рис. 2 представлен график изменения критического значения R/H в зависимости от толщины детали. Как следует из графика, при увеличении толщины заготовки критиче-

ское значение R/H уменьшается, что свидетельствует о более высоких технологических возможностях штамповки более толстых листов.

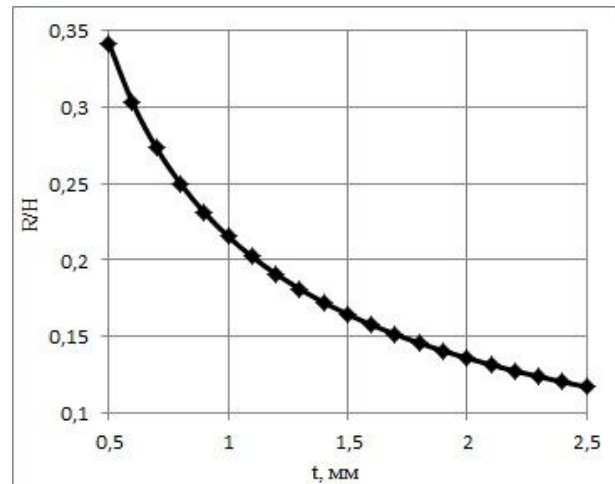


Рис. 2. Минимально допустимое значение R/H для заданной толщины детали t

1.2. Вспомогательные протяжные плиты

Применение оптимального значения радиуса перетяжного ребра не всегда возможно по требованиям чертежа детали (так, возможны случаи, когда радиус перехода фланца в стенку детали намного меньше минимального рекомендованного значения радиуса перетяжного ребра). В данном случае возможно применение вспомогательных протяжных плит (рис. 3).

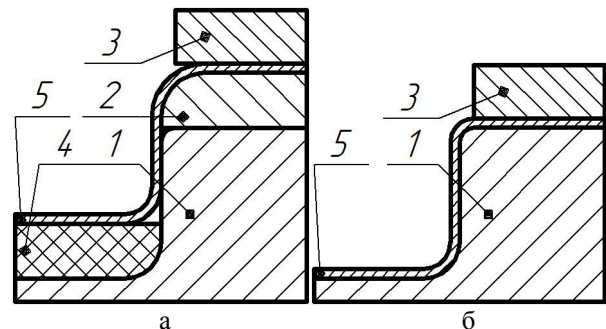


Рис. 3. Изготовление детали с помощью вспомогательной протяжной плиты:

а – вытяжка; б – калибровка радиуса;

1 – матрица; 2 – вспомогательная протяжная плита; 3 – прижимная плита; 4 – подкладка; 5 – заготовка

Использование такой дополнительной штамповой оснастки позволяет выполнить вытяжку детали при оптимальном значении радиуса перетяжного ребра (рис. 3, а), на следующей же операции производится калибровка детали с формированием необходимого радиуса перехода фланец-стенка (рис. 3, б). Следует отметить необходимость применения подкладки 4 к которой предъявляются следующие требования:

– в случае больших радиусов перехода днo-стенка (а, следовательно, сравнительной простоты их формoобразования) толщина подкладки выбирается равной толщине протяжной плиты;

– при возникновении сложностей формoобразования придонных радиусов толщина подкладки выбирается на (5...10)% меньше толщины протяжной плиты с целью обеспечения избытка материала, который на стадии калибровки переформируется и заполняет придонные радиусы.

На рис. 4 приведены фотографии детали типа «коробка», изготовленной из алюминиевого сплава АМг6АМ толщиной 2 мм без использования протяжной плиты (рис. 4, а) и с применением предварительной вытяжки по протяжной плите (рис. 4, б).

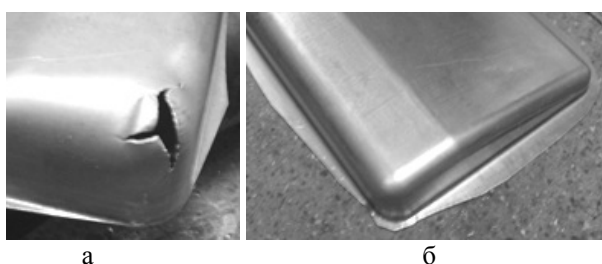


Рис. 4. Угловая зона коробчатой детали:
а – с разрывом при штамповке в окончательную матрицу; б – годная деталь, изготовленная с применением протяжной плиты

Следует отметить, что толщина протяжной плиты, используемой для изготовления данной детали, составляет 20 мм, в то время как толщина подкладки из резины – (17...18) мм.

2. Применение технологических приемов

2.1. Набор материала

В случае, когда конструкция детали позволяет использовать оптимальный радиус перетяжного ребра, однако степень вытяжки превышает максимальную при калибровке радиусов перехода днo-стенка, что влечет появление разрывов в угловых зонах, предложены следующие схемы обеспечения их качественного формoобразования:

– двухпереходная штамповка с использованием жестких вкладышей [2, 3];

– предварительный набор материала за счет применения специально спрофилированных «грибков» (возможно даже нежестких).

По первой схеме на первом переходе деталь вытягивается немного большей глубины, чем требуется по чертежу, с радиусами сформированными давлением, получаемым при максимальной энергии в импульсе (рис. 5, а). На втором переходе в матри-

цу устанавливается вкладыш, при котором глубина матрицы становится равной глубине детали. Фланец детали прижимается камерой к матрице. При этом в районе калибруемого радиуса создаются сжимающие напряжения, значительно снижающие требуемое давление для оформления радиусов. При разряде давление перемещает избыток материала от центра детали и перетяжного ребра к радиусу закругления и, таким образом, калибрует его (рис. 5, б). Такая схема позволяет получать радиусы, сравнимые с толщиной материала [2].

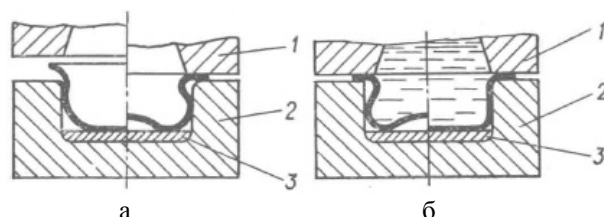


Рис. 5. Схема калибровки радиусов [2]:
а – положение заготовки и ее форма до и после прижима; б – форма заготовки после прижима и форма детали после калибровки;
1 – разрядная камера; 2 – матрица; 3 – вкладыш

Предыдущая схема предполагает использование дополнительных жестких элементов с необходимостью дополнительного профилирования придонных радиусов, а также ЭГ прессы с большим усилием замыкания рабочей полости для обеспечения прижатия фланца детали к матрице. В случае невозможности обеспечить данные условия применяется набор материала на «грибок». Для этого на дно матрицы укладывается резиновый коврик необходимой толщины с вырезами в местах, где необходимо обеспечить избыток материала. После выполнения вытяжки полученный «лишний» материал на стадии калибровки перераспределяется, заполняя угловые зоны (рис. 6).

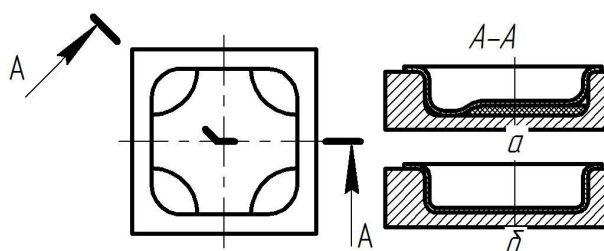


Рис. 6. Применение предварительного набора материала для калибровки радиусов:
а – форма заготовки до калибровки;
б – форма заготовки после калибровки

2.2. Управление полем нагружения

Применение многоэлектродных разрядных блоков (МРБ) с электродными парами направленного

воздействия (ЭПНВ) позволяет сосредоточить энергосиловые факторы разряда в необходимых местах, что дает возможность уменьшить энергопотребление при штамповке. Также использование нескольких сосредоточенных ЭПНВ вызывает эффект нелинейного повышения интенсивности разряда за счет взаимодействия энергопотоков соседних ЭПНВ [4]. Т.е. формообразование угловых зон коробчатых деталей целесообразно выполнять при помощи трех ЭПНВ из которых одна расположена непосредственно над угловой зоной, а две других окружают ее, создавая барьер растеканию энергосиловых факторов.

Заключение

Таким образом, проведенное исследование позволяет сделать следующие выводы:

- применение оптимального радиуса перетяжного ребра дает возможность изготовления деталей без брака в виде гофров на фланце и боковых стенках детали или разрывов по перетяжному ребру;
- использование вспомогательных протяжных плит и способов набора материала позволяет осуще-

ствить формообразование угловых зон детали без чрезмерных утонений, ведущих к ее разрыву.

Литература

1. *Knyazyev M. Applications of manufacturing techniques at electrohydraulic impact forming of sheet components with complicated local elements / M. Knyazyev, Ya. Zhovnovatyuk // Proceedings of the METAL 2011 Conference, Brno, Hotel Voroněž. – Brno, 2011. – P. 6.*
2. *Мазуровский Б.Я. Электрогидравлический эффект в листовой штамповке: монография / Б.Я. Мазуровский, А.Н. Сизев. – К.: Наук. думка, 1983. – 192 с.*
3. *Оборудование и технологические процессы с использованием электрогидравлического эффекта : монография / Г.А. Гулый, П.П. Малошевич, Е.В. Кривицкий [и др.] ; под ред. Г.А. Гулого. – М.: Машиностроение, 1977. – 320 с.*
4. *Борисевич В.К. Формирование поля давления на заготовке при штамповке на электрогидравлических установках / В.К. Борисевич, Ю.И. Чебанов, М.К. Князев // Кузнечно-штамповочное производство. – 1996. – № 4. – С. 15-18.*

Поступила в редакцию 31.05.2011

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.К. Борисевич, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков, Украина.

ОПТИМІЗАЦІЯ ПРОЦЕСІВ ЕЛЕКТРОГІДРОІМПУЛЬСНОГО ШТАМПУВАННЯ ДЕТАЛЕЙ ТИПУ «КОРОБКИ»

О.В. Мананков, Я.С. Жовноватюк

Визначені конструктивні елементи деталей типу «коробки», що впливають на технологічність їх виробництва. Вказані причини, що визначають складність формоутворення вказаних елементів. Представлені способи розширення технологічних можливостей обладнання та інтенсифікації процесу електрогидравлічного штампування. Розглянуті шляхи оптимізації технологічного оснащення та технологічних процесів (а саме використовуваних технологічних прийомів) виготовлення деталей. Виявлені області ефективного використання розглянутих способів та дані рекомендації з їх використання.

Ключові слова: перетяжний радіус, радіус спряження, фланець, оснащення, технологічний прийом.

OPTIMIZATION OF PROCESSES OF ELECTROHYDROIMPULSE FORMING OF BOX-TYPE COMPONENTS

O.V. Manankov, YA.S. Zhovnovatyuk

Design elements of box-type components influenced on their production manufacturability were determined. Determinative factors of shaping complication of pointed elements were brought. Methods of expansion of equipment technological possibilities and intensification of electrohydraulic forming process were demonstrated. Ways of optimization of tool set and technological processes (used manufacturing techniques) of components production were considered. Fields of effective application of discussed methods were revealed and recommendations of their usage were made.

Key words: drawing rib, rounding-off radii, flange, tooling, manufacturing technique.

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

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.