

УДК 621.7.044.4:621.983.5

Старков Н. В.
Стрелковская Л. И.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПЛАСТИЧНОСТИ АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА 2024-T4 ПРИ ИМПУЛЬСНОЙ ЭЛЕКТРОГИДРАВЛИЧЕСКОЙ ШТАМПОВКЕ

Современная авиационная промышленность использует лучшие мировые технические достижения в развитии современных технологий. Жесткая конкуренция на мировом рынке подталкивает авиастроителей к решительным шагам усовершенствования своей продукции. Это касается как проектирования летательных аппаратов, так и их изготовления.

Характерной особенностью авиационной промышленности является устойчивая тенденция применения листовых материалов с повышенными прочностными характеристиками. К таким материалам относится среднепрочный конструкционный алюминиевый сплав системы Al-Cu-Mg с маркировкой 2024-T4, которому близко соответствует сплав Д16Т [1].

При использовании таких материалов в листовой штамповке часто возникает проблема, связанная с их склонностью к хрупкому разрушению при относительно малой степени деформации (до 10 %). Для увеличения эксплуатационных характеристик сплава проводится его термическая обработка, которая заключается в закалке на твердый раствор с последующим естественным старением (Т4). При этом прочность сплава увеличивается до 500 МПа, твердость до 120 НВ, а пластичность практически не меняется [2].

Детали из этих сплавов, изготовленные методом холодной листовой штамповки, отличаются значительным пружинением после снятия деформирующего усилия, что затрудняет процесс сборки изделий и требует введения дополнительной операции, их калибровки.

В этой связи появилась необходимость использовать новые прогрессивные технологии и оборудование для изготовления деталей из этих сплавов.

Одной из таких технологий является импульсная электрогидравлическая (ЭГ) штамповка [3, 4, 5]. Она позволяет дозировать энергию разряда с регулированием интенсивности и точным приложением нагрузки к заданным участкам поверхности детали, использовать более простую технологическую оснастку. Требуется меньших затрат энергии, даёт возможность изготавливать детали сложной формы и стабилизировать их форму и размеры, благодаря эффективной релаксации напряжений в процессе импульсного нагружения. Эти качества ЭГ штамповки создают хорошие предпосылки для дальнейшего расширения сферы её использования.

Целью данной работы является экспериментальное сравнение пластических свойств листового алюминиевого сплава 2024-T4 при высокоскоростной импульсной ЭГ штамповке и деформировании на механическом прессе.

В состоянии поставки листы из сплава 2024-T4 были плакированы с 2-х сторон технически чистым алюминием толщиной 100 мкм.

Исследования проводились с использованием разработанного в ИИПТ НАН Украины ЭГ прессы модели Т1226 Б (рис. 1), технические характеристики которого приведены в табл. 1 [6].

Пресс предназначен для выполнения листоштамповочных, формообразующих, разделительных и комбинированных операций с использованием плоских и оболочковых заготовок в условиях экспериментального, опытного и мелкосерийного производств.

В исследованиях была использована матрица (рис. 2) для штамповки деталей тарельчатой формы. Основные размеры деталей приведены на рис. 3.



Рис. 1. ЭГ пресс модели T1226 Б

Таблица 1

Технические характеристики ЭГ прессы T1226 Б

1. Запасаемая энергия, кДж	6,4...40
2. Рабочее напряжение, регулируемое, кВ	20...50
3. Максимальные размеры заготовок при вытяжке, мм	750 x 750
4. Толщина штампуемых деталей, мм, не более,	8,0
5. Максимальное усилие прижима, МН	2,0
6. Производительность при штамповке за 5 импульсов при номинальной энергии, дет./час	100
7. Установленная мощность, кВт, не более	50
8. Площадь, занимаемая прессом, м ²	25
9. Высота прессы над уровнем пола, мм	3350
10. Масса прессы, кг	15000



Рис. 2. Матрица для штамповки деталей

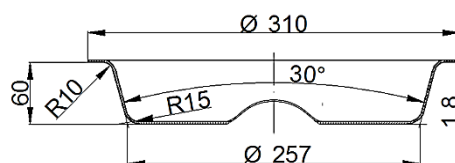


Рис. 3. Основные размеры штампуемой детали

Схематическое изображение разрядной камеры с электродами и матрицей приведено на рис. 4.

Особенностью ЭГ штамповки является высокая скорость деформирования и малое время воздействия импульса давления на заготовку (меньше 0,001 с).

Экспериментальное определение давления и расчеты показывают, что для условий эксперимента амплитуда на фронте ударной волны при энергии разряда 40 кДж составляет 150–300 МПа [4, 5]. Такое давление достаточно для ЭГ штамповки исследуемых деталей, а в процессе их изготовления параметры разряда уточнялись.

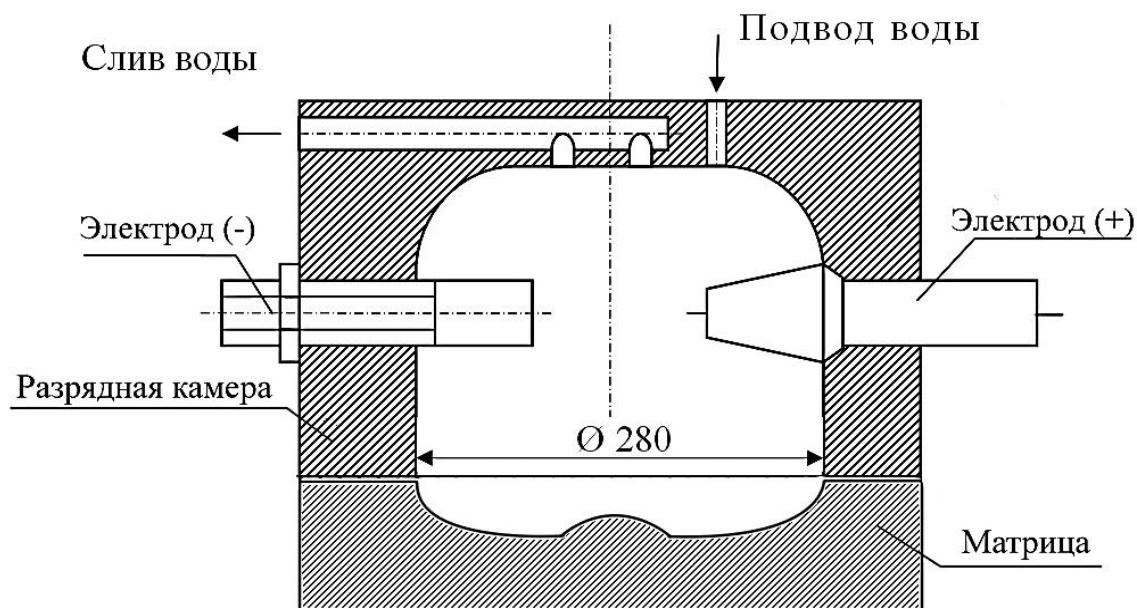


Рис. 4. Разрядная камера и матрица для ЭГ штамповки листовых деталей

Режимы штамповки были такими, которые позволяли осуществлять вытяжку в многоимпульсном режиме с прогибом детали после каждого разряда не более 25–30 мм. При этом, на 2-х последних импульсах запасаемая энергия батареи конденсаторов увеличивалась.

На рис. 5 приведена фотография деталей, изготовленных на ЭГ прессе Т1226 Б.

При выбранных режимах ЭГ штамповки сплав 2024-T4 показал достаточно высокую пластичность, которая обеспечила штамповку тестовых деталей с относительным удлинением до разрушения не менее 20 %. Пружинение деталей практически отсутствовало.

При этом было достигнуто хорошее качество поверхности деталей, на которой отсутствовали такие дефекты, как эффект Портевина-Ле Шателье, линии скольжения Людерса, «апельсиновая корка», царапины и др., характерные для механической штамповки.

Для сравнения пластичности сплава 2024-T4 при исследуемых способах деформирования матрица была изготовлена составной и её средняя часть в виде сферической вставки была съёмной (рис. 6). Эта часть матрицы в ходе дальнейших исследований использовалась в качестве пуансона для механического деформирования на гидравлическом прессе.



Рис. 5. Детали, изготовленные на ЭГ прессе Т1226 Б



Рис. 6. Сферическая вставка матрицы

Такой подход позволял проверить и сравнить свойства алюминиевого сплава на участке наибольшей его пластической деформации.

Для этого детали предварительно штамповали в матрице без сферической вставки. Форма такой детали показана на рис. 7, а. Затем её извлекали из матрицы и на гидравлическом прессе деформировали среднюю часть сферической вставкой, в результате чего деталь разрушилась, как показано на рис. 7, б.

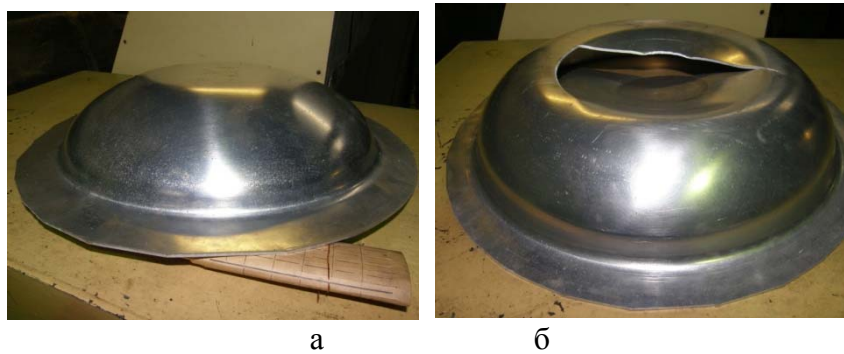


Рис. 7. Деталь на промежуточной стадии штамповки (а) и после деформирования сферической вставкой (б)

Схема деформирования на гидравлическом прессе показана на рис. 8.

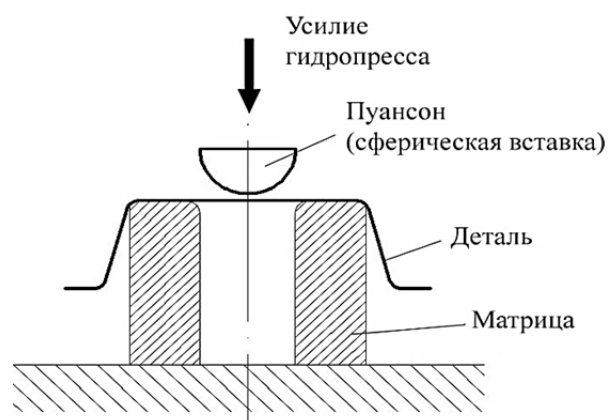


Рис. 8. Деформирование на гидравлическом прессе

Для исследования распределения локальных деформаций в детали на одной из её сторон наносили деформационную сетку в виде множества окружностей диаметром 3 мм, расположенных равномерно по площади заготовки.

На рис. 9 приведено распределение локальных деформаций в поперечном сечении детали после ЭГ штамповки, а на рис. 10 – толщина стенок этой детали.

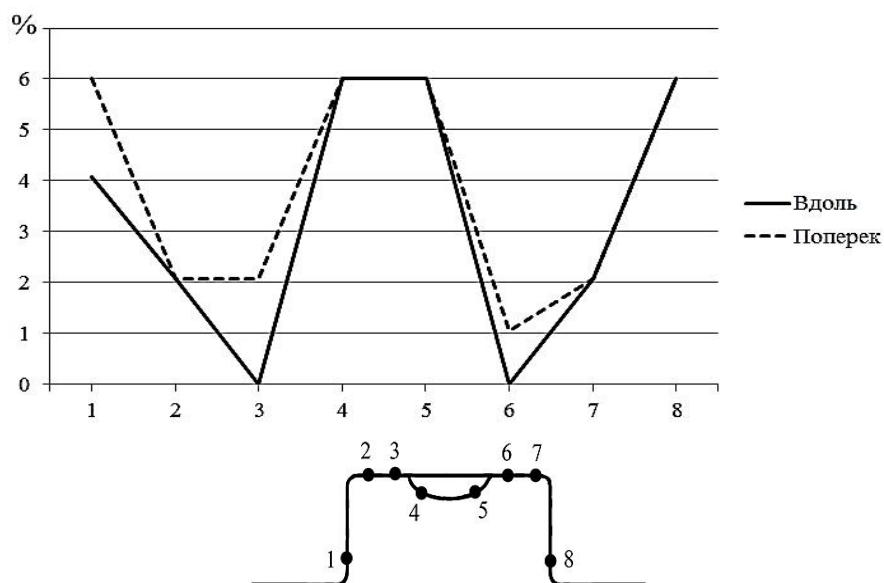


Рис. 9. Распределение локальных деформаций детали вдоль и поперёк проката заготовки

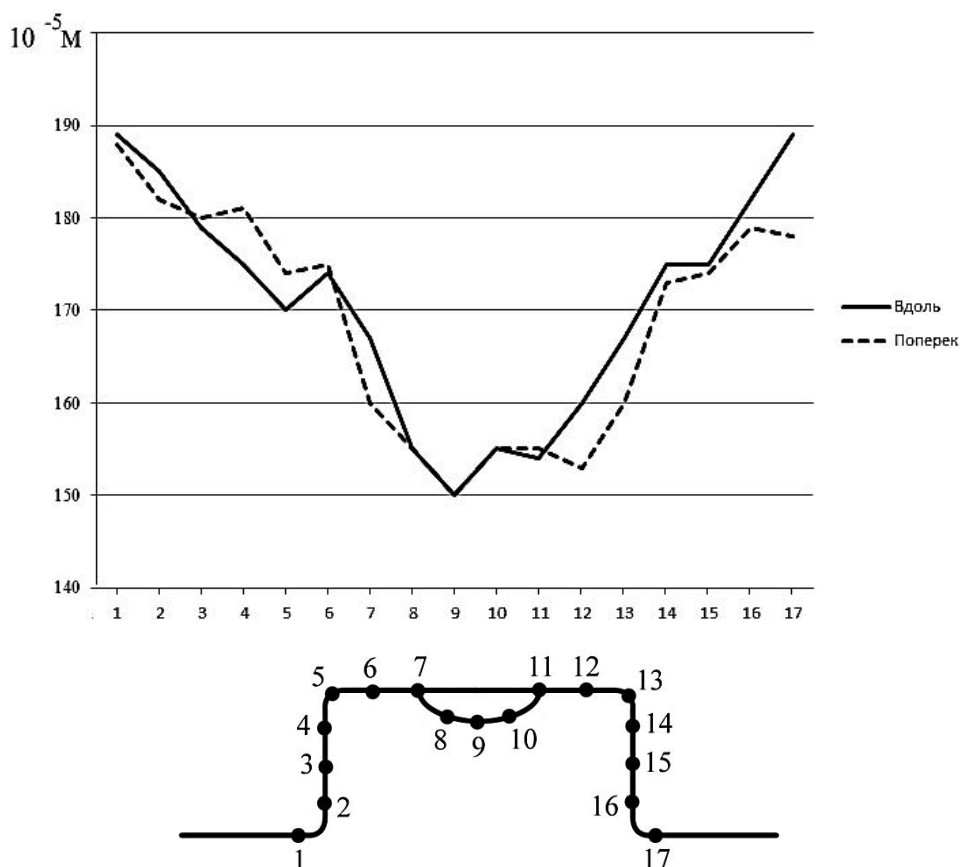


Рис. 10. Толщина стенок детали вдоль и поперёк проката заготовки

Как видно из этих исследований, наибольшая пластическая деформация сосредоточена на вершине сферической выпуклости детали, где относительное утонение можно рассчитать по формуле:

$$\delta = [(S_1 - S_2) / S_1] \cdot 100\%, \quad (1)$$

где S_1 – толщина исходной заготовки, равная 1,8 мм;

S_2 – наименьшая толщина детали в конце формообразования сферической части.

Для не разрушенной детали, деформированной на ЭГ прессе, величина S_2 составила 1,50 мм, а после деформирования на гидравлическом прессе и после её разрушения – 1,58 мм.

Расчет показывает, что утонение в сферической части детали после ЭГ штамповки составило 16,6 % и деталь не разрушилась, а после штамповки на гидравлическом прессе она разрушилась при утонении 12,2 %.

Таким образом установлено, что предельная степень деформации деталей из сплава 2024-T4 в процессе вытяжки зависит от технологического процесса их изготовления. Экспериментально показано, что предельная степень деформации при импульсном высокоскоростном процессе ЭГ штамповки возрастает и для исследуемого сплава она больше, чем в 1,36 раза по сравнению с механической штамповкой на гидропрессе.

ВЫВОДЫ

В выполненных исследованиях ЭГ штамповки листовых деталей из алюминиевого сплава 2024-T4 показано, что она позволяет более полно использовать пластические свойства сплава. В режиме многоимпульсного деформирования детали под действием высокого давления жидкости и при кратковременном его действии в материале усиливаются релаксационные процессы, которые снижают деформационное упрочнение сплава и уменьшают

остаточные напряжения в детали. За счёт этого увеличивается предельная пластическая деформация сплава и устраняется пружинение деталей. В экспериментах штампованные на ЭГ прессе детали не разрушались при деформациях, в 1,36 раза превышающих деформации при механической штамповке.

При ЭГ штамповке можно добиться высокого качества поверхности деталей, что важно для изделий, используемых в авиационной промышленности, к которым предъявляются высокие требования, особенно при плакировании штампуемых листов мягкими металлами.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Белецкий В. М. *Алюминиевые сплавы : справочник* / В. М. Белецкий, Г. А. Кривов. – Киев : "КОМИНТЕХ", 2005. – 365 с.
2. *Алюминий : пер. с англ. под ред. А. Т. Туманова, Ф. И. Квасова, И. Н. Фридляндера.* – М. : МЕТАЛЛУРГИЯ, 1972. – 664 с.
3. Старков Н. В. *Экспериментальное исследование пластичности конструкционных алюминиевых сплавов при импульсном электрогидравлическом нагружении* / Н. В. Старков, В. М. Косенков, Д. Р. Аврамец // КШП. ОМД. – 2008. – № 5. – С. 3–7.
4. *Динамические характеристики ударно-волнового сжатия конструкционных алюминиевых сплавов* / В. М. Косенков, Д. Р. Аврамец, А. А. Васильев и др. // ИПМСС: Материалы VIII Международной научной конференции (17–21 августа 2009). – Николаев, 2009. – С. 58–59.
5. Головащенко С. Ф. *Расширение технологических возможностей процессов листовой штамповки путем применения импульсных методов формообразования* / ИПМСС : Материалы VIII Международной научной конференции (17–21 августа 2009). – Николаев, 2009. – С. 49–51.
6. Тараненко М. Е. *Электрогидравлическая штамповка: теория, оборудование, техпроцессы* / М. Е. Тараненко. – Харьков : Издательский центр "ХАИ", 2011. – 272 с.
7. Мазуровский Б. Я. *Электрогидравлический эффект в листовой штамповке* / Б. Я. Мазуровский, А. Н. Сизёв. – Киев : Наукова думка, 1983. – 192 с.

REFERENCES

1. Beleckij V. M. *Aljuminievye splavy : spravochnik* / V. M. Beleckij, G. A. Krivov. – Kiev : "KOMINTEH", 2005. – 365 s.
2. *Aljuminij : per. s angl. pod red. A. T. Tumanova, F. I. Kvasova, I. N. Fridljandera.* – M. : METALLURGIJA, 1972. – 664 s.
3. Starkov N. V. *Jeksperimental'noe issledovanie plastichnosti konstrukcionnyh aljuminievyh splavov pri impul'snom jelektrogidravlicheskom nagruzenii* / N. V. Starkov, V. M. Kosenkov, D. R. Avramec // KShP. OMD. – 2008. – № 5. – S. 3–7.
4. *Dinamicheskie harakteristiki udarno-volnovogo szhatija konstrukcionnyh aljuminievyh splavov* / V. M. Kosenkov, D. R. Avramec, A. A. Vasil'ev i dr. // IPMSS: Materialy VIII Mezhdunarodnoj nauchnoj kon-ferencii (17–21 avgusta 2009). – Nikolaev, 2009. – S. 58–59.
5. Golovashhenko S. F. *Rasshirenie tehnologicheskijh vozmozhnostej processov listovoj shtampovki putem primenenija impul'snyh metodov formoobrazovanija* / IPMSS : Materialy VIII Mezhdunarodnoj nauch-noj konferencii (17–21 avgusta 2009). – Nikolaev, 2009. – S. 49–51.
6. Taranenko M. E. *Jelektrogidravlicheskaja shtampovka: teorija, oborudovanie, tehprocessy* / M. E. Taranenko. – Har'kov : Izdatel'skij centr "HAI", 2011. – 272 s.
7. Mazurovskij B. Ja. *Jelektrogidravlicheskij jeffekt v listovoj shtampovke* / B. Ja. Mazurovskij, A. N. Sizjov. – Kiev : Naukova dumka, 1983. – 192 s.

Старков Н. В. – науч. сотруд. ИИПТ;

Стрелковская Л. И. – вед. инж.-констр. ИИПТ.

ИИПТ – Институт импульсных процессов и технологий НАН Украины, г. Николаев.

E-mail: Starkovnikolay@yahoo.com; igorstrelk@ukr.net

Статья поступила в редакцию 11.03.2019 г.