

Д.А. ЯХНО, магистр, инженер-технолог ОАО «Мотор Сич», г. Запорожье
М.К. КНЯЗЕВ, канд. техн. наук, с. н. с., НАУ им. Н.Е. Жуковского «ХАИ»,
А.М. МУНГИЕВ, канд. техн. наук, с. н. с., НАУ им. Н.Е. Жуковского «ХАИ»
А.В. БОБРИЦКИЙ, студент, НАУ им. Н.Е. Жуковского «ХАИ»

РАЗРАБОТКА ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕЙ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ГЛУБОКИХ ЛИСТОВЫХ ДЕТАЛЕЙ ПРИ МЕЛКОСЕРИЙНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

Рассмотрены проблемы изготовления глубоких листовых деталей сложной формы. Указаны преимущества электрогидроимпульсной штамповки (ЭГШ) перед традиционными методами. Выполнено сравнение базового технологического процесса и нового с применением ЭГШ и индукционного нагрева.

Ключевые слова: электрогидроимпульсная штамповка, листовые детали, нагрев.

Розглянуто проблеми виготовлення глибоких листових деталей складної форми. Вказано переваги електрогідроімпульсного штампування (ЕГШ) над традиційними методами. Виконано порівняння базового технологічного процесу і нового з застосуванням ЕГШ та індукційного нагріву.

Ключові слова: електрогідроімпульсне штампування, листові деталі, нагрів.

The problems of production of deep complicated-shape sheet components are considered. Electrohydroimpulse forming (EHF) advantages are emphasized in comparing with traditional methods. Comparison of basic manufacturing process and new one with application of EHF and induction heating is performed.

Key words: Electrohydroimpulse forming, sheet components, heating.

1. Введение

Конструкции современных авиационных двигателей характеризуются широким применением листовых деталей (порядка 10...15% в зависимости от марки двигателя), основную часть которых изготавливают на механических, пневматических и гидравлических прессах. Номенклатура таких деталей чрезвычайно большая: от уплотнительных шайб (диаметром от 10 мм), применяемых в местах соединения трубопроводов до корпусов камер сгорания, компрессоров и т.д. (диаметром до 500 мм и более).

Листовая штамповка является одним из наиболее прогрессивных технологических методов производства; она имеет ряд преимуществ перед другими видами обработки металлов, как в техническом, так и в экономическом отношении [1].

Технологию листовой штамповки и конструкцию штампового инструмента определяют в зависимости от размеров, материала и формы штампуемой детали, точности штамповки, а также от серийности производства. В массовом и крупносерийном производстве оправдывают себя высокая автоматизация процессов, а также сложные и дорогостоящие штампы, так как стоимость изготовления штампов разносят на большое количество штампованных изделий. В мелкосерийном, единичном, и опытных производствах листовая штамповка с

применением инструментальных штампов становится экономически невыгодной. Особенно актуальна эта проблема при получении глубоких и сложных деталей из труднодеформируемых материалов, требующих большое количество штампов по переходам вытяжки, формовки и калибровки.

Основные недостатки традиционных способов штамповки: высокая стоимость и большое количество штамповочной оснастки; большая длительность технологической подготовки производства; высокая стоимость деталей в опытном, единичном и мелкосерийном производствах.

Целью данной работы является разработка и исследование новой, более рациональной и ресурсосберегающей технологии производства глубоких листовых деталей сложных форм из труднодеформируемых материалов.

2. Электрогидроимпульсная штамповка-вытяжка

В качестве альтернативы традиционным способам получения глубоких листовых деталей в условиях опытного, единичного и мелкосерийного производств целесообразно использование электрогидроимпульсной штамповки-вытяжки (ЭГШ-вытяжки).

ЭГШ имеет следующие основные преимущества по сравнению с традиционными процессами: упрощение технологической оснастки; формообразование деталей, которые в инструментальных штампах получить невозможно или крайне сложно; экономичность процесса; снижение трудоемкости и себестоимости изготовления единицы продукции в 2–5 раз; высокое качество и точность штампуемых изделий; относительно высокая производительность; большое сокращение объема ручных доводочных работ; простота варьирования энергетическими параметрами; возможность механизации и автоматизации процесса.

Сущность способа штамповки-вытяжки на электрогидравлических прессах заключается в формообразовании тонкостенного изделия вытяжкой заготовки импульсной нагрузкой высокой интенсивности, создаваемой в жидкой среде [2]. Листовая заготовка может быть плоской или предварительно изогнутой. Кратковременная нагрузка, генерируемая подводным высоковольтным электроразрядом, воздействует на заготовку непосредственно или через резиновую диафрагму.

ЭГШ-вытяжка отличается от вытяжки в инструментальных штампах на традиционном прессовом оборудовании двумя принципиальными особенностями: 1) воспринимающие распределенное деформирующее усилие участки заготовки не соприкасаются с твердыми формообразующими (либо другими) поверхностями штампа и не возникает реактивных сил трения, препятствующих развитию пластических деформаций этих участков; 2) рабочее усилие нагружает заготовку импульсно-кратковременно, вследствие чего деформирование носит высокоскоростной динамический характер – большие ускорения и скорости деформации обуславливают развитие значительных инерционных составляющих напряжений.

Эти факторы существенным образом определяют напряженно-деформированное состояние заготовки при вытяжке и характер процесса формообразования изделия.

При искровом высоковольтном разряде в жидкости между электродами образуется канал сквозной проводимости – область, представляющая собой плазменный шнур (разрядный канал) диаметром от 0,1 мм до нескольких миллиметров с температурой примерно 20000 К и давлением до 10^4 МПа и более.

Чем интенсивнее разряд, тем выше начальные параметры разрядного канала, который расширяется вначале со сверхзвуковыми скоростями – взрывообразно, образуя газопаровую полость. Расширение полости сопровождается всеми механическими факторами взрыва: ударной волной, расходящимся потоком жидкости, высоким статическим давлением. Эти факторы воздействуют на открытую поверхность заготовки, на которой развиваются импульсные нагрузки, совершающие работу пластического деформирования. Таким образом, энергия электрического тока разряда преобразуется в работу пластического деформирования.

В процессе штамповки напряженно-деформированное состояние заготовки неоднородно, существенно отличается по схемам и величинам напряжений и деформаций на различных участках. Как правило, основным очагом пластического деформирования в процессе штамповки является фланец заготовки – плоский кольцевой участок, ограниченный наружной кромкой заготовки и входом на перетяжное ребро матрицы. Его ширина по мере вытяжки все время уменьшается, так как уменьшается диаметр наружной кромки от начального до того, при котором заканчивается вытяжка. Сопротивление фланца пластическому деформированию возможно уменьшить, изменяя температурно-скоростные режимы вытяжки, например, нагревая фланец заготовки до ковочных температур и деформируя его со скоростями ниже скорости рекристаллизации. При нагреве фланца заготовки достигается увеличение глубины вытяжки за одну операцию, уменьшение количества операций, улучшение процесса вытяжки деталей сложной формы.

Ранее авторами проводились теоретические и экспериментальные исследования различных методов и способов нагрева листовых заготовок перед штамповкой, по результатам которых сделаны выводы о предпочтительности электромагнитного и индукционного способов для нагрева заготовки в штампе для электрогидроимпульсной штамповки, показана необходимость нагрева фланца листовой заготовки перед пластическим деформированием [3, 4].

3. Разработка технологии ЭГШ для изготовления глубокой листовой детали с нагревом фланца заготовки

На примере детали «обечайка кока» проведем технический и технологический анализ двух вариантов технологических процессов (ТП). Общий вид изделия, выбранного в качестве типового представителя глубокой листовой детали ГТД, представлен на рисунке 1. Материал детали – титановый сплав ВТ1-0. Деталь характеризуется большой степенью вытяжки $K = 2,14$. Такая величина K близка к теоретически возможной величине и превышает практические

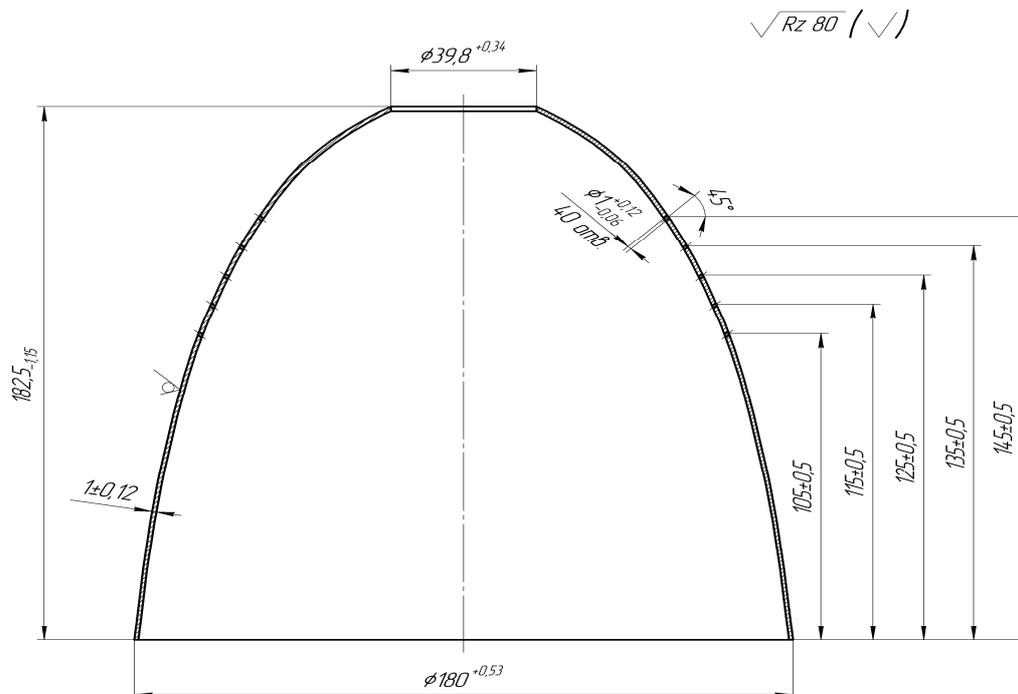


Рис.1. – Эскиз детали «обечайка кока»

значения этого показателя для холодной штамповки титановых сплавов в инструментальных штампах.

Поэтому в базовой технологии (рис. 2, вариант базового ТП) применяют три вытяжных штампа и один калибровочный с промежуточными (межоперационными) термическими обработками (нормализацией) заготовки.

При нагреве до температур рекристаллизации в среде атмосферных газов на поверхности титановой заготовки образуется твердый и хрупкий «альфированный» слой. Его удаляют с помощью травления химическими реактивами (операция 095 в базовом ТП). Штамповку выполняют на гидравлическом прессе простого действия, поэтому используются сложные механизированные штампы, чтобы обеспечить движения прижима фланца заготовки и пуансона при вытяжке. Расчет размеров заготовки выполнен на основании рекомендаций [2].

В базовом ТП предусмотрено применение прогрессивного процесса обработки давлением – штамповки взрывом бризантных взрывчатых веществ (БВВ). Такое технологическое решение является технически обоснованным и экономически эффективным на этапе калибровки. При этом учтено, что штамповка взрывом является непроизводительным процессом на этапе вытяжки и образования генеральной формы листового изделия.

В новом разработанном ТП ведущую роль играет способ ЭГШ, начиная с первой операции вытяжки. ЭГШ положительно отличается от штамповки БВВ тем, что позволяет осуществлять процесс вытяжки за несколько разрядов без раскрытия технологической оснастки. Количество энергии, необходимой для каждого последующего шага деформирования заготовки, легко задается с помощью зарядного напряжения по серии разрядов, установленных для этапа вытяжки (см. рис. 2, новый ТП, операция 010). Операция вытяжки в новом ТП отличается еще и тем, что она осуществляется с индукционным нагревом фланца заготовки до штамповочной температуры 700°C . Способ индукционного нагрева

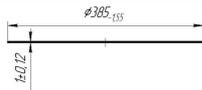
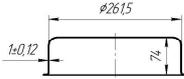
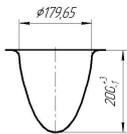
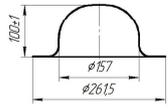
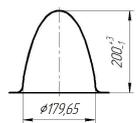
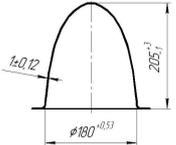
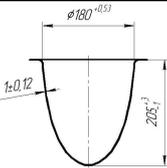
<i>Базовый ТП (штамповка на гидравлическом прессе)</i>		<i>Новый ТП (электрогидроимпульсная штамповка)</i>																												
005 Заготовительная		005 Заготовительная																												
010 Вытяжная		010 Вытяжная	 Режимы ЭГШ-вытяжки <table border="1" data-bbox="821 616 1316 683"> <thead> <tr> <th></th> <th>1 разряд</th> <th>2 разряд</th> <th>3 разряд</th> <th>4 разряд</th> <th>5 разряд</th> <th>6 разряд</th> <th>7 разряд</th> <th>8 разряд</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Напряжение разряда, кВ</td> <td>15</td> <td>16</td> <td>18</td> <td>20</td> <td>20</td> <td>22</td> <td>24</td> <td>25</td> </tr> <tr> <td>Емкость конденсаторной батареи, мкФ</td> <td>33,2</td> <td>33,2</td> <td>33,2</td> <td>33,2</td> <td>33,2</td> <td>33,2</td> <td>33,2</td> <td>33,2</td> </tr> </tbody> </table>		1 разряд	2 разряд	3 разряд	4 разряд	5 разряд	6 разряд	7 разряд	8 разряд	Напряжение разряда, кВ	15	16	18	20	20	22	24	25	Емкость конденсаторной батареи, мкФ	33,2	33,2	33,2	33,2	33,2	33,2	33,2	33,2
	1 разряд	2 разряд		3 разряд	4 разряд	5 разряд	6 разряд	7 разряд	8 разряд																					
Напряжение разряда, кВ	15	16		18	20	20	22	24	25																					
Емкость конденсаторной батареи, мкФ	33,2	33,2		33,2	33,2	33,2	33,2	33,2	33,2																					
015 Промывочная	020 Нормализация																													
025 Вытяжная																														
030 Промывочная	035 Нормализация																													
040 Вытяжная																														
045 Промывочная	050 Нормализация	015 Промывочная	020 Нормализация																											
055 Штамповка импульсная взрывом		025 Калибровочная																												
		Режимы ЭГШ-калибровки																												
		<table border="1" data-bbox="805 929 1141 996"> <thead> <tr> <th></th> <th>1 разряд</th> <th>2 разряд</th> <th>3 разряд</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Напряжение разряда, кВ</td> <td>32</td> <td>32</td> <td>32</td> </tr> <tr> <td>Емкость конденсаторной батареи, мкФ</td> <td>33,2</td> <td>33,2</td> <td>33,2</td> </tr> </tbody> </table>		1 разряд	2 разряд	3 разряд	Напряжение разряда, кВ	32	32	32	Емкость конденсаторной батареи, мкФ	33,2	33,2	33,2																
	1 разряд	2 разряд	3 разряд																											
Напряжение разряда, кВ	32	32	32																											
Емкость конденсаторной батареи, мкФ	33,2	33,2	33,2																											
060 Токарная	065 Пробивка	030 Токарная	035 Пробивка																											
070 Слесарная	075 Сверлильная	040 Слесарная	045 Сверлильная																											
080 Слесарная	085 Гидрообдубка	050 Слесарная	055 Гидрообдубка																											
090 Контрольная	095 Травление	060 Контрольная																												

Рис. 2. – Последовательность операций базового технологического процесса и предлагаемого процесса ЭГШ

позволяет относительно легко встроить индуктор в штамповочную оснастку, расположить его в непосредственной близости от заготовки и осуществить быстрый нагрев. При таком способе тепловой поток направлен преимущественно на заготовку, которая обладает малой толщиной и массой, поэтому требует сравнительно небольших затрат энергии для нагрева до штамповочных температур. Скоростной нагрев важен, чтобы предотвратить образование «альфированного» слоя. Последующее импульсное деформирование занимает доли секунды и сопровождается охлаждением заготовки на тех ее участках, которые контактируют с водой через резиновую диафрагму и теплоизолятор. В целом длительность операции вытяжки ЭГШ занимает не более 5 мин. За это время, по литературным данным, не происходит заметного насыщения поверхностного слоя титановой заготовки атмосферными газами. Это позволяет исключить операцию травления, которая требует применения экологически вредного гальванического производства.

Оснастка нового технологического процесса содержит следующие основные элементы: матрица, прижимная плита, индуктор, универсальная разрядная камера. В качестве нагревательного элемента используется индуктор, питающийся от высокочастотного генератора. При индукционном

высокочастотном нагреве слоя металла заданной толщины скорость процесса регулируют путем изменения интенсивности электромагнитного поля у поверхности объекта и частоты тока, питающего индуктор. В соответствии с рекомендациями [5] выбран двухвитковый индуктор, выполнен теоретический расчет и определены значения основных параметров индукционного нагрева, на основании которых выбран генератор мощностью 10 кВт и частотой тока 50 кГц.

В матрице предусмотрены две канавки для установки двухвиткового индуктора для нагрева фланцевой части заготовки.

Экспериментальное исследование нового ТП и штамповку предполагается осуществить в лаборатории ЭГШ ХАИ на опытно-промышленной электрогидравлической установке УЭГШ-2. Планом предусмотрено измерение распределения температур по радиусу заготовки и ее изменения в процессе нагрева (градиента и динамики изменения температуры), проведение металлографических исследований структуры материала, деформированного в условиях импульсного нагружения и большого градиента температур, оптимизация режимов разрядов и полей импульсного нагружения.

Выводы

В данном исследовании выполнена разработка плана нового ТП для мелкосерийного производства детали «обечайка кока», как типового представителя глубоких деталей ГТД, с применением ЭГШ и индукционного нагрева. Обосновано применение высокоскоростного деформирования и скоростного нагрева для предотвращения образования «альфированного» слоя на титановых заготовках.

Применение комбинации ЭГШ и индукционного нагрева позволяет сократить количество операций (в том числе гальваническую для титановых сплавов), количество единиц технологической оснастки, затраты энергии на термическую обработку и, соответственно, снизить себестоимость производства.

В настоящее время разработана и изготавливается технологическая оснастка для выполнения экспериментальных исследований.

Список литературы: 1. Романовский В.П. Справочник по холодной штамповке / В.П. Романовский. – Л.: Машиностроение, 1971. – 782 с. 2. Мазуровский Б.Я., Сизев А.Н. Электрогидравлический эффект в листовой штамповке / Б.Я. Мазуровский, А.Н. Сизев. – К.: Наук. думка, 1983. – 192 с. 3. Князев М.К. Исследование электромагнитного и индукционного нагрева листовых заготовок / М.К. Князев, Д.А. Яхно, А.М. Мунгиев // XV-й міжнародний конгрес двигунобудівників: тези доп. / М-во освіти і науки України, Нац. аерокосм. ун-т ім. М.Є. Жуковського “ХАІ”. – Х., 2010. – С. 115.

4. Князев М.К. Энергосберегающая технология штамповки глубоких листовых деталей с нагревом фланца заготовки / М.К. Князев, Д.А. Яхно // Інтегровані інтелектуальні робототехнічні комплекси. ПРТК-2009: міжнар. наук.-практ. конф.: тези доп. / М-во освіти і науки України, Нац. авіац. ун-т. – К., 2009. – С. 38-39. 5. Лозинский М.Г. Промышленное применение индукционного нагрева / М.Г. Лозинский. – М.: Издательство Академии Наук СССР, 1978. – 466 с.