

## **Технологические приемы и методы совершенствования технологических процессов взрывной штамповки для деталей из сварных титановых заготовок**

*Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «ХАИ»  
АО «Мотор СИЧ»*

В статье рассмотрены вопросы импульсной штамповки титановых сварных листовых деталей, проанализированы проблемы штамповки, представлена схема проведения экспериментов для штамповки деталей методом взрывной штамповки, рассмотрены причины разрушения сварных швов, проанализированы причины последствия структурных изменений в титановых сплавах в результате термических превращений в металле, проанализированы техно-логические приемы воздействия на сварной шов для повышения пластичности заготовок, выполнена оценка влияния термической обработки на пластические свойства сварных соединений из титановых сплавов, а также оценка влияния флюса на пластические свойства сварной заготовки.

**Ключевые слова:** листовые детали, титановые заготовки, сварной шов, взрывная штамповка

### **Введение**

В конструкциях современных летательных аппаратов сложные листовые детали составляют наиболее многочисленную группу в общей номенклатуре изделия. Технологические процессы изготовления указанной группы деталей, применяемые в настоящее время на производстве, относятся к одним из наиболее сложных и трудоемких процессов. Особые сложности при формообразовании возникают при изготовлении деталей из высокопрочных сплавов типа ВТ20, ВТ5-1, ВТ6 [1–3]. Эти титановые сплавы крайне затруднительно обрабатывать в холодном состоянии. Наиболее эффективны в этом случае импульсные технологии, которые позволяют расширить технологические возможности для сложных деталей, изготавливаемых из высокопрочных материалов. Особого внимания требует разработка технологических процессов изготовления деталей из сварных заготовок.

### **1. Схема установки для проведения экспериментальных исследований сварных титановых заготовок**

Наличие сварного шва (СШ) вносит свои коррективы в технологический процесс изготовления детали. В этом случае необходимо обратить особое внимание на околошовную зону (ОШЗ) и зону сварного шва (ЗСШ), т. к. в этих зонах наиболее часто возникает разрыв материала.

На рис. 1 представлена схема установки для проведения экспериментальных исследований сварных титановых заготовок методом штамповки взрывом.

### **2. Технологические приемы воздействия на сварной шов**

Для улучшения параметров пластичности сварных заготовок могут применяться различные технологические приемы, которые условно можно разделить на несколько групп, охватывающих все этапы изготовления изделий: во-первых, технологические приемы на этапе формирования СШ; во-вторых,

предварительные воздействия на СШ перед формообразованием и, наконец, непосредственно технологические приемы в условиях деформирования СШ. На рис. 2 представлена блок-схема этих приемов.

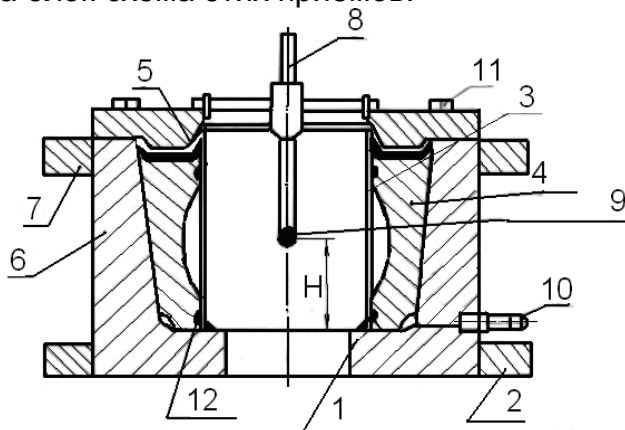


Рис. 1. Схема оснастки для проведения экспериментальных исследований:

1 - подкладное кольцо; 2 - нижний бандаж; 3 – заготовка; 4 – матрица; прижимное кольцо; 6 – корпус; 7 - верхний бандаж-корпус; 8 - устройство для удержаний заряда; 9 – заряд; 10 - устройство для вакуумирования



Рис. 2. Блок-схема технологических приемов, повышающих пластические свойства сварных заготовок

Перемешивание сварной ванны в процессе сварки приводит к измельчению структуры СШ, что улучшает его пластические свойства.

Применение флюсов и оптимизация режимов сварки приводит также к измельчению структуры СШ, а также исключает образование газовых пор в СШ. Воздействие на СШ взрывом или проковка его также измельчает структуру и увеличивает пластичность. Воздействие на условия деформирования СШ также расширяет технологические возможности штамповки сварных заготовок путем

исключения деформирования СШ или перераспределения деформаций в СШ.

Перемешивание сварной ванны в процессе сварки приводит к измельчению структуры СШ, в свою очередь улучшает его пластические свойства. Применение флюсов и оптимизация режимов сварки приводит также к измельчению структуры СШ, а также исключает образование газовых пор в СШ.

Воздействие на СШ взрывом или проковка его также измельчает структуру и увеличивает пластичность. Воздействие на условия деформирования СШ также расширяет технологические возможности штамповки сварных заготовок путем исключения деформирования СШ или перераспределения деформаций в СШ.

### **3. Влияние термической обработки на пластические свойства сварных соединений из титановых сплавов**

Сварные соединения, как и основной металл, надо подвергать отжигу, закалке и старению (отпуску). Применительно и штамповке взрывом титановых заготовок влияние термообработки изучено мало. Отжиг сварных соединений применяется для всех типов титановых сплавов и является единственным видом термической обработки для  $\alpha$  и псевдо- $\alpha$  и  $\beta$ - сплавов.

Этот вид термической обработки проводят для снятия внутренних напряжений, образовавшихся в процессах термического цикла сварки, а также для стабилизации структуры сварного соединения с целью получения оптимальных свойств в отожженном состоянии и сохранения их неизменными после длительного нагрева при рабочих температурах.

Отжиг сварных соединений титановых сплавов состоит из нагрева до температуры рекристаллизации или до температуры базового превращения, выдержки при заданной температуре и последующего охлаждения. Отжиг  $\alpha$ -титановых сплавов, как правило, является отжигом первого рода, поскольку он не связан с фазовыми превращениями. Для сварных соединений титановых сплавов применяют полный и неполный отжиг.

Отличие неполного отжига от полного заключается том, что первый производится при более низких температурах и предназначен, главным образом, для частичного снятия внутренних напряжений в сварных конструкциях, а также для частичной стабилизации структуры. Неполный отжиг может быть применен как промежуточная операция в процессе штамповки деталей или как окончательный отжиг.

Достоинство неполного отжига состоит в том, что его можно осуществлять в печах с воздушной атмосферой без обязательного последующего удаления окалины и загрязненного газами поверхностного слоя металла. Полный отжиг сварных соединений позволяет в значительной степени стабилизировать структуру сварного соединения и полностью снять остаточные напряжения.

Поскольку он проводится, как правило, при температурах выше 700°C, его следует осуществлять в печах с защитной атмосферой (аргон, гелий) или в вакуумных печах. Несмотря на некоторые особенности сварного соединения, во всех случаях для него применимы те же общие принципы термической обработки, что и для основного металла.

При гидровзрывной штамповке деталей из сварных заготовок разрушения материала зачастую происходят в зоне термического влияния сварки.

Наиболее часты разрушения в процессе технологических операций отбортовки и раздачи материала.

Так при сварке плавлением металл претерпевает металлургическую и

тепловую обработку, в результате которой протекают физико-химические реакции, обуславливающие штампуемость и эксплуатационную надежность сварных соединений.

К числу основных причин разрушения сварных швов относится наличие после сварки ряда зон с низкими пластическими свойствами и невысокой ударной вязкостью ОШЗ (околошовная зона), которая имеет крупное зерно (зона перегрева). На рис. 3 показан типичный вид разрушений в околошовной зоне.



Рис. 3. Заготовка с разрушением в ОШЗ

При сварке плавлением температура в ней достигает таких значений, при которых происходит полное превращение  $\alpha + \beta \rightarrow \beta$ .

Режим охлаждения приводит к получению малопластичной игольчатой  $\alpha^1$ -фазы. Между ОШЗ и основным металлом расположена зона с температурами, близкими к критическим, в которой процесс  $\alpha + \beta \leftrightarrow \beta$  имеет полное превращение. Данная зона состоит из  $\alpha, \alpha^1$ -фазы и имеет низкие пластические свойства и малую ударную вязкость. Таким образом, наличие сварного соединения ведет к снижению деформационных возможностей всей заготовки. Размеры и ориентация зерен  $\alpha^1$ -фазы влияют на характер и степень деформации титановых сплавов.

При тонкоигольчатой  $\alpha$ -структуре, работоспособность сварных швов более высокая, чем при  $\alpha^1$ -структуре.

Получение структуры такого типа возможно только при сварке путем охлаждения металла шва или же при сварке с высокими скоростями на малых погонных энергиях сварки. Как отмечалось выше, для  $\alpha$ -сплавов и псевдо  $\alpha$ -сплавов титана термическая обработка сварных соединений, в основном, используется либо для снижения уровня, либо для полного устранения остаточных напряжений, а также для правки и термофиксации тонкостенных конструкций.

Предварительные эксперименты показали, что сварные образцы при испытаниях на разрыв разрушались не в ОШЗ (околошовной зоне) или по СШ (сварному шву), а по основному материалу. Это объясняется тем, что СШ и ОШЗ из-за крупнозернистой структуры имеют меньшую пластичность, чем основной материал.

#### 4. Влияние флюса на технологические свойства сварной заготовки

Высокоэффективным средством воздействия на структуру и стойкость металла сварных швов является сварка с введением галогенидов в атмосферу дуги. Наиболее распространенным способом введения галогенидов является нанесение тонкого слоя активных бескислородных флюсов на лицевую поверхность свариваемых кромок, подвергаемых действию дугового разряда, в

основном, достигается снижение величины погонной энергии, необходимой для формирования шва.

Введение флюса вызывает уменьшение литой зоны и эффект дугового разряда, такое же действие оказывает и введение галогенидов непосредственно в газовую атмосферу дуги без образования шлаковой фазы. Уменьшение сечения разряда дуги, в свою очередь, ведет к повышению в столбе дуги температуры и плотности потока. В результате процесс сварки идет в условиях ускоренного охлаждения с меньшей погонной энергией, что обеспечивает значительное изменение коэффициента формы шва, ширины зоны термического влияния и величины зерен первичной структуры. Одновременно проявляется и механизм снижения пористости в теле шва вследствие взаимодействия галогенидов, особенно фторидов и хлоридов металлов с влагой, адсорбированной поверхностью свариваемых кромок и электродного металла.

Кроме того, интенсифицируется процесс дегазации сварочной и связывания атомарного водорода, в результате чего значительно сокращается количество пор. В результате перехода незначительного количества щелочных и щелочноземельных элементов в металле шва происходит измельчение внутризеренной структуры игл  $\alpha$  или  $\alpha^1$ -фаз. Структурные изменения в металле шва и повышение его плотности приводят к значительному увеличению пластичности. Влияние режимов термообработки на характеристики  $\varepsilon_1$ ,  $\varepsilon_2$ ,  $\alpha$  показаны на рис. 4.

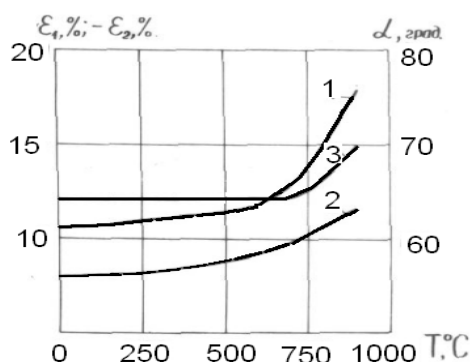


Рис. 4. Влияние термообработки на механические характеристики СШ

По результатам проведенных испытаний можно сделать ряд существенных замечаний.

### Выводы

1. При использовании режима высокотемпературного отжига ( $890^{\circ}\text{C}$  30 минут в вакууме) можно подучить увеличение пластичности на 40–60 % по сравнению с нетермообработанным материалом. Однако высокотемпературный отжиг в вакуумпечах или печах с защитной атмосферой отличается повышенной стоимостью. Если условия штамповки позволяют обходиться низкотемпературным отжигом в воздухе, то рекомендуется отжигать материал ОТ4-1 при температуре  $715^{\circ}\text{C}$  15 минут с последующим охлаждением на воздухе, при этом можно получить увеличение пластичности до 30 % по сравнению с неотожженным материалом.

2. Альфированный слой составляет 0,15 %. При необходимости технологический процесс изготовления деталей следует ввести опесочку или химическое травление.

3. Прочность материала снижается незначительно (6 – 7 %).

### Список литературы

1. Артемьев, И. Н. Прочность и деформированность титановых сплавов при растяжении [Текст] / И. Н. Артемьев // Сварочное производство. –1976. - С. 34–35.
2. Блащук, Б. Е. Особенности сварки титанового сплава BT-2 [Текст] /Б. Е. Блащук, С. М. Гуревич // Автоматическая сварка. 1961.– №.11. - С.47–49.
3. Гриднев В. Н. Структурные особенности швов на сплаве BT-6, выполненных аргоно-дуговой сваркой с применением присадочной титановой порошковой проволоки [Текст] / В. Н. Гриднев // Автоматическая сварка. –1982 г.– №2 - С.28–33.

Поступила в редакцию 21.06.2016

## **Technological Receptions and Methods of Perfection of Technological Processes of the Explosive Stamping for Details from the Weld-Fabricated Titanic Purveyances**

In article questions of pulse stamping of titanic welded sheet details are considered, stamping problems are analysed, the scheme for carrying out experiments for stamping of details is provided by method of explosive stamping, causes of destruction of welded seams are considered, the reasons of a consequence of structural changes in titanic alloys as a result of thermal transformations in metal are analysed, impact processing methods on a welded seam for increase of plasticity of procurements are considered, the impact assessment of heat treatment on plastic properties of welded connections is executed from titanic alloys, and also a gumboil impact assessment on plastic properties of welded procurement.

**Keywords:** sheet details, titanic procurements, welded seam, explosive stamping.

## **Технологічні прийоми і методи вдосконалення технологічних процесів вибухового штампування для деталей із зварних титанових заготовок**

У статті розглянуто питання імпульсного штампування титанових зварних листових деталей, проаналізовано проблеми штампування, подано схему для проведення експериментів для штампування деталей методом вибухового штампування, розглянуто причини руйнування зварних швів, проаналізовані причини наслідку структурних змін у титанових сплавах в результаті термічних перетворень у металі, розглянуто технологічні прийоми та дії на зварний шов для підвищення пластичності заготовок, виконано оцінювання впливу термічної обробки на пластичні властивості зварних з'єднань з титанових сплавів, а також оцінювання впливу флюсу на пластичні властивості зварної заготовки.

**Ключові слова:** листові деталі, титанові заготовки, зварний шов, вибухове штампування.

### **Сведения об авторах:**

**Воронин Виктор Николаевич** – канд. техн. наук.

**Зайцев Виталий Егорович** – доктор техн. наук, профессор каф. «Технологии производства ЛА», Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Украина.

**Коцюба Виктор Юрьевич** – АО «Мотор Сич», заместитель технического директора – начальник экспериментально-исследовательского комплекса.

**Третьяк Владимир Васильевич** – канд. техн. наук, доцент каф. «Технологии производства авиационных двигателей» Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Украина.