

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ЛОКАЛЬНОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ ЛИСТОВЫХ ЗАГОТОВОК ИЗ ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ С ИМПУЛЬСНЫМ НАГРЕВОМ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ТОКОМ

В.В. Овчинников, С.В. Смирнов, М.А. Гуреева



ОВЧИННИКОВ
Виктор
Васильевич

Профессор, доктор технических наук, академик Международной академии информатизации. Ведущий специалист по сварке ФГУП «Российская самолетостроительная корпорация «МиГ». Основное направление научной деятельности – разработка методов и технологических средств получения качественных сварных соединений при изготовлении ответственных конструкций из высокопрочных алюминиевых сплавов. Автор более 220 научных работ, в том числе авторских свидетельств и патентов на изобретения.



СМИРНОВ
Сергей
Вячеславович

Аспирант кафедры «Оборудование и технология сварочного производства» Московского государственного индустриального университета.



ГУРЕЕВА
Марина Алексеевна

Кандидат технических наук, докторант Центрального научно-исследовательского института технологии машиностроения. Специализируется в области порошковых и гранулированных сплавов, а также технологии их сварки. Автор более 60 научных трудов и изобретений.

Введение

В конструкции современных самолетов в головной части фюзеляжа в радиопрозрачном конусе, изготовленного из композиционного материала размещается локационное оборудование. Для присоединения радиопрозрачного конуса к металлическим частям фюзеляжа используется лента из титанового сплава, к которой контактной точечной сваркой прикрепляются игольчатые втулки.

Игольчатые втулки получают методом литья титановых сплавов в металлические формы (кокили). Конструктивно такая втулка представляет собой кольцевую пластину с коническим выступом и рядом иголок, внешний вид которой показан на рис. 1, а. (После литья малое доньшко на коническом выступе срезается.) В коническом выступе втулки размещается специальный замок, посредством которого радиопрозрачный конус крепится на металлических узлах головной части фюзеляжа.



а



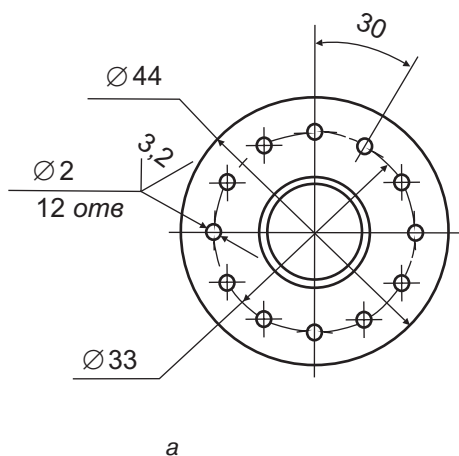
б

Рис. 1. Литая заготовка игольчатой втулки (а) и дефект (x50) в виде трещины в теле иглы (б)

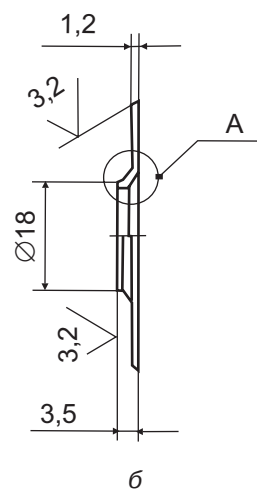
Во время этого технологического процесса часто возникает неустраняемый брак из-за образования дефектов в виде пор, рыхлот и трещин в теле иголок (рис. 1, б). Дополнительные проблемы возникают в связи с приостановкой деятельности литейных цехов многих

машиностроительных предприятий по причине загрязнения окружающей среды.

Поэтому для мелкосерийного производства, каковым является самолетостроение, практический интерес представляет реализация изготовления сварной игольчатой втулки из листовой заготовки (рис. 2, а).



а



б

Рис. 2. Сварной вариант игольчатой втулки (а) и размеры конического выступа (б)

При этом необходимо решить две технологические задачи: разработать процесс получения конического выступа под специальный замок во втулке из листовой заготовки; создать технологию приварки иголок к кольцевой пластине втулки.

В статье рассматриваются особенности процесса формообразования конического выступа на кольцевой пластине втулки из листовой заготовки.

Формообразование деталей из листовых заготовок титановых сплавов, как правило, осуществляют в специальных штампах с электроконтактным нагревом заготовки проходящим электрическим током [1]. При этом обеспечивается необходимое качество получаемых деталей. Однако в условиях мелкосерийного производства применение штампов с электрическим нагревом связано со значительными затратами на их изготовление. Кроме того, поверхность получаемых деталей покрыта альмированным слоем, для удаления которого необходимо использовать химическое травление.

По нашему мнению для формообразования конического выступа (рис. 2, б) в листовой заготовке может быть использована машина для контактной точечной сварки, которая обеспечивает нагрев заготовки проходящим импульсом тока и возможность ее деформирования в нагретом состоянии. Поэтому целью данной работы являлось исследование влияния режимов нагрева (тока импульса и его длительности) на процесс формообразования листовых заготовок с использованием машины для контактной точечной сварки.

Методика исследования

Исследование процесса формообразования листовых заготовок осуществляли на образцах в виде тонкостенных кольцевых пластин диаметром 44 мм и толщиной 1,2—2 мм. Формообразование заготовок выполняли на машине для контактной точечной сварки марки МТ-2023. Машина была оснащена приспособлением, установленным на ее электродах (рис. 3).

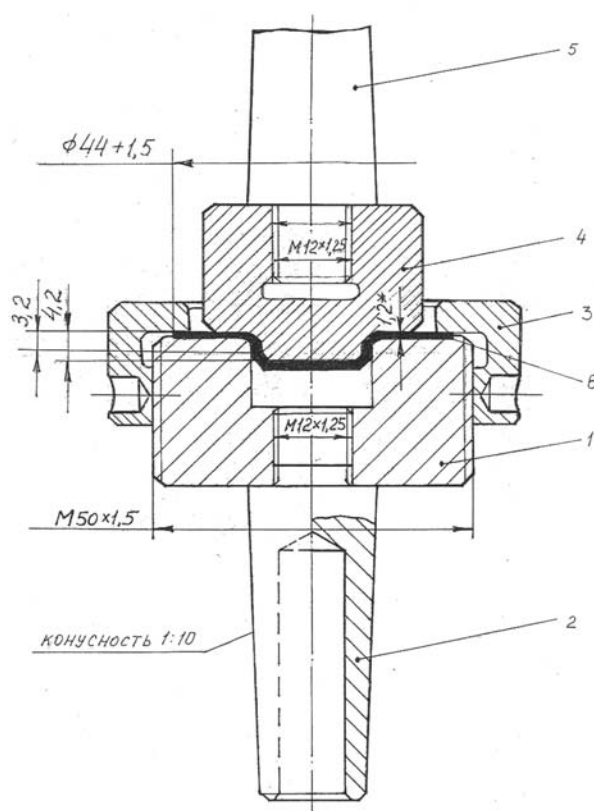


Рис. 3. Схема устройства для деформирования листовых заготовок

из титановых сплавов при нагреве:

1 — матрица; 2 — нижний электрод;

3 — накидная гайка; 4 — пуансон;

5 — верхний электрод; 6 — листовая заготовка

Приспособление [2] состоит из матрицы 1, накидной гайки 3 и пуансона 4. Заготовка 6 из листа сплава ВТ6С фиксируется в матрице, которая установлена на нижнем электроде 2, а пуансон — на верхнем электроде 5 машины контактной точечной сварки.

Для защиты нагретого металла от окисления в матрице выполнены каналы для подачи инертного газа (аргона) во внутреннюю полость матрицы.

В качестве ориентировочных режимов для осуществления нагрева и деформирования листовой заготовки были выбраны режимы точечной сварки пакета из двух заготовок толщиной, равной толщине пластины втулки (табл. 1).

Таблица 1

Ориентировочные режимы контактной точечной сварки пластичного сплава ВТ6С

Толщина, мм	Радиус сферы электродов, мм	Ток импульса, $I_{св}$, кА	Длительность импульса, τ , с	Усилие сжатия электродов, кН	Диаметр литого ядра, мм
1,2 + 1,2	75-100	6,5	0,20-0,25	2,94-3,4	5,5
2,0 + 2,0	100-150	9,0	0,30-0,35	4,4-4,9	7,0

Контроль режима нагрева при деформировании листовых заготовок осуществляли по следующим параметрам:

- равномерная форма и толщина металла конического выступа листовой заготовки;
- отсутствие оплавления металла конического выступа при нагреве для деформирования;
- предотвращение укрупнения зерна металла в зоне нагрева заготовки.

Структуру металла заготовки в зоне формирования выступа исследовали на оптическом микроскопе «Neophot-2».

Для измерения температуры и получения зависимости температуры нагрева заготовки от величины тока импульса применяли сканирующий микропирометр. Датчик микропирометра был установлен в специальном канале нижнего электрода, на котором размещена матрица приспособления для формообразования конического выступа.

Обсуждение полученных результатов

Проведенные экспериментальные исследования показали, что при использовании для формообразования режима точечной сварки происходит разогрев узкой области металла заготовки вокруг оси пуансона, а область заготовки, прилегающая к боковым поверхностям пуансона, в процессе деформирования оказывается слабо разогретой. При сжатии электродов для формообразования металл в этой области оказывается недостаточно пластичным. В результате чего происходит образование трещин и отрыв конического выступа по

большому основанию (в зоне его сопряжения с кольцевой пластиной). Кроме этого, деформирование металла заготовки в малопластичном состоянии вызывает быстрый износ пуансона и матрицы, изготовленных из меди.

Поэтому для нагрева заготовок под деформирование было решено использовать область мягких режимов, характеризующихся меньшими величинами тока импульса и большей длительностью импульса. Величина энергии импульса, которая преобразуется в тепло, может быть определена по формуле:

$$Q = I_{и}^2 R_{д} \tau, \quad (9)$$

где Q — энергия импульса, Дж; $I_{и}$ — ток импульса, А; $R_{д}$ — сопротивление детали, Ом; τ — длительность импульса тока, с.

Исследования показали, что при нагреве заготовок из сплава ВТ6С для ее деформирования величина тока импульса в большей степени, чем длительность импульса определяет температуру заготовки в зоне ее контакта с пуансоном. Длительность протекания импульса тока влияет на диаметр зоны нагрева материала заготовки до температуры пластического состояния.

Известно, что высокие пластические свойства титанового сплава ВТ6С обеспечиваются при температуре 650—680°C [3]. Поэтому были проведены исследования зависимости температуры нагрева заготовки от величины тока импульса, некоторые результаты которых показаны на рис. 4.

Из представленных данных видно, что температура пластического состояния сплава ВТ6С достигается при величине тока импульса 4,2—

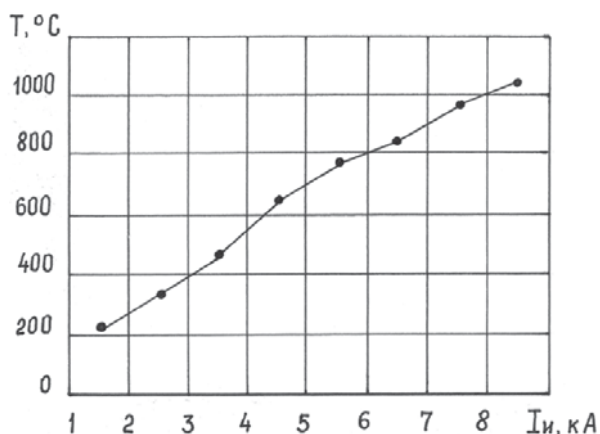


Рис. 4. Влияние величины тока импульса на температуру нагрева листовой заготовки из сплава ВТ6С толщиной 2 мм в ее центральной части. Длительность импульса 0,32 с

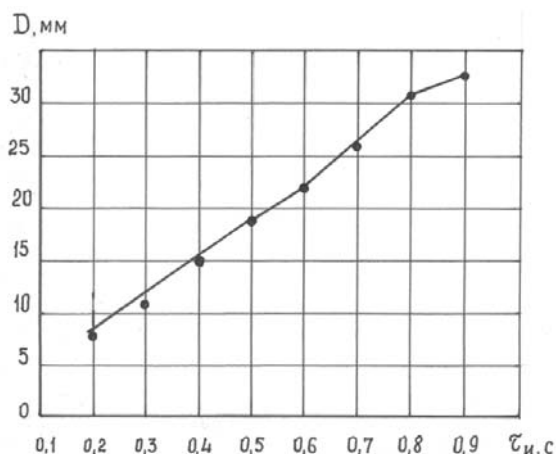


Рис. 5. Влияние длительности импульса на диаметр зоны заготовки из сплава ВТ6С, нагретой до температуры 680 °С. Ток импульса 4,2—4,3 кА; D – диаметр зоны разогрева ($T \geq 680^\circ\text{C}$)

Таблица 2

Режимы нагрева заготовок игольчатых втулок под формирование
конического выступа (сплав ВТ6С)

Толщина, мм	Ток импульса, $I_{и}, \text{кА}$	Длительность импульса, $\tau, \text{с}$	Усилие осадки, кН
1,2	3,2 - 3,5	0,35 - 0,50	2,0 - 2,3
2,0	4,2 - 4,5	0,50 - 0,70	3,2 - 3,5

4,5 кА. Дальнейшее увеличение тока импульса сопровождается постепенным нарастанием температуры нагрева до 880—950° С, которая приводит к укрупнению размера зерна материала заготовки. Диаметр зоны нагрева составил 18—20 мм.

Увеличение длительности импульса тока сопровождается ростом диаметра области заготовки, ограниченной изотермой 680° С. Соответствующая зависимость показана на рис. 5.

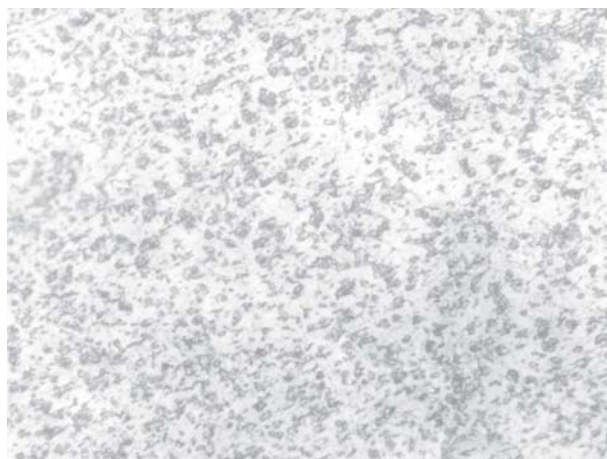
Для размеров конического выступа, представленного на рис. 2, б, диаметр зоны разогрева составляет 24—28 мм. Такая зона разогрева достигается при токе импульса 4,5 кА и длительности импульса 0,50—0,70 с. Проведенные экспериментальные исследования технологического процесса изготовления пластинчатой заготовки с коническим выступом позволили выбрать некоторые рациональные параметры режима нагрева заготовок. Для дефор-

мирования заготовок из сплава ВТ6С толщиной 1,4 и 2 мм рекомендуемые параметры режима нагрева приведены в табл. 2.

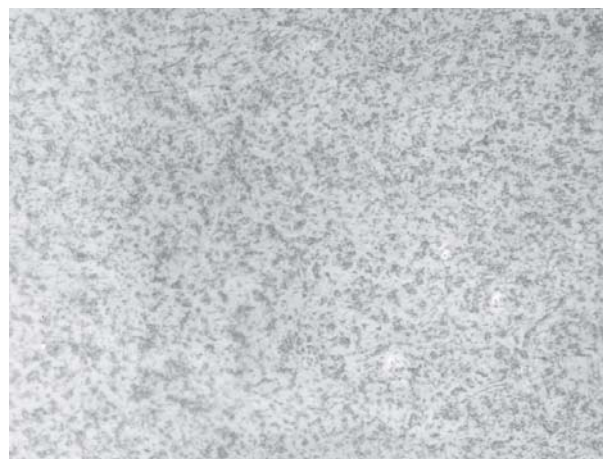
На режимах нагрева (см. данные в табл. 2) выполнено формообразование опытной партии заготовок для втулок. Внешний вид полученной кольцевой пластины с коническим выступом показан на рис. 6.



Рис. 6. Внешний вид пластины с коническим выступом после деформирования



а



б

Рис. 7. Микроструктура заготовки втулки из сплава ВТ6С: а — исходная; б — в зоне нагрева после деформирования (х200)

Полученные заготовки втулок имеют равномерный конический выступ без морщин, складок, трещин и других дефектов. Установлено также, что при использовании рекомендуемых режимов импульсного нагрева для деформирования пластин возможно получение 125—140 заготовок втулок с одного комплекта приспособления. При этом ресурс матрицы в 2—2,5 раза превосходит ресурс работы пуансона.

Анализ микроструктуры металла в зоне нагрева и деформирования выступа показал, что она идентична микроструктуре материала на участках, не подвергавшихся нагреву (рис. 7, а, б).

Основные этапы технологического процесса формования конического выступа на кольцевой пластине могут быть представлены следующим образом:

- 1) установка и фиксация листовой заготовки в матрице с помощью накидной гайки;
- 2) подача защитного газа в матрицу;
- 3) опускание пуансона до его контакта с поверхностью заготовки;
- 4) подача импульса нагрева заготовки;
- 5) осадка разогретой заготовки путем приложения ковочного усилия контактной машины.

После формования конусного выступа проводится токарная обработка для получения втулки заданного диаметра с выступом требуемой высоты.

В рамках данной работы также проведена оценка механических свойств металла выступа кольцевой пластины. Для этого образцы для испытаний на статическое растяжение из листа сплава ВТ6С толщиной 2 мм в специальном приспособлении подвергались импульсному нагреву в своей центральной части. Схема нагрева образцов для испытаний на растяжение полностью имитировала схему нагрева заготовки под формирование выступа за исключением подачи усилия осадки. Результаты испытаний приведены в табл. 3.

Анализ данных, представленных в табл. 3, позволяет заключить, что механические свойства материала конического выступа втулки соответствует свойствам листов сплава ВТ6С после низкотемпературного отжига.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам выполненных исследований можно сделать следующие выводы.

1. Разработана технология формования конических выступов на листовых пластинах из титановых сплавов. Предложенная технология основана на импульсном нагреве заготовки в зоне деформирования с последующей осадкой в специальном приспособлении, установленном на электродах машины контактной точечной сварки.

2. Определены рациональные параметры нагрева — значения тока импульса и длительности импульса, позволяющие получить заго-

Таблица 3

Механические свойства листов сплава BT6C толщиной 2 мм

Состояние образца	Механические свойства		
	Предел прочности, σ_B , МПа	Предел текучести, $\sigma_{0,2}$, МПа	Относительное удлинение, δ , %
Прокат + отжиг (650°C, 2 часа, аргон)	920	760	9
Имитация нагрева под формообразование (680°C, 0,65 с)	850	725	12

товки без дефектов и существенных изменений микроструктуры металла.

3. Разработана конструкция приспособления для формования конического выступа пластинчатой заготовки, устанавливаемого на электродах машины для контактной точечной сварки. Один комплект приспособления для нагрева и деформирования заготовок позволяет получить 125—140 качественных заготовок втулок.

Опыт использования разработанной технологии в мелкосерийном производстве показал возможность снижения себестоимости изготовления игольчатых втулок на 38-42 % по сравнению с их изготовлением методом литья. Кро-

ме этого, отпадает необходимость изготовления сложной штамповой оснастки.

Список литературы

1. Романов Д.И. Электроконтактный нагрев металлов. — М.: Машиностроение, 1981. — 240 с.
2. Патент № 53201 РФ на полезную модель. Устройство для деформирования листовых заготовок из титановых сплавов при их нагреве / Овчинников В.В., Алексеев В.В., Верденский В.Б. Приоритет 01 ноября 2005 г.
3. Справочник по сварке цветных металлов / С.М. Гуревич, отв. ред. В.Н. Замков — 2-е изд., перераб. и доп. — Киев: Наук. думка, 1990. — 512 с.