

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ЛИСТОВОЙ ШТАМПОВКИ ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РАДИАЦИОННОГО НАГРЕВА

Батуев Ц.А., Грешилов А.Д., Хараев Ю.П., Шурыгин Ю.Л.

(ВСГУТУ, г. Улан-Удэ, Россия)

Тел.: +7 (924) 4506741; E-mail: batuevc@mail.ru

Abstract: *Titanium alloys are widely used in various branches of modern technology, especially in the aircraft industry. The most common method of semi-finished producing of titanium alloys is a hot volumetric forming, in particular, stamping and pressing. The issues of profiling of die parting surfaces with regard to the elastic springing of simple shaped parts having an axis of symmetry are discussed in detail in the world practice. There are practically no recommendations for profiling of die connector surfaces for complex-shaped parts having double curvature shapes with low stiffness and for parts in the production of which the processes of stretching and bending without use of super plasticity are combined. Therefore, the development of a hot stamping technology and a method of forming die surfaces profiling is an important task.*

Key words: *titanium alloys, hot sheet stamping, radiant heating, forming processes.*

В данной статье рассматривается технология изготовления деталей одинарной кривизны из титанового сплава ОТ4-1 толщиной от 0,3 до 0,8 мм. Сплав ОТ4-1 представляет собой низколегированный титан и отличается удовлетворительной технологической пластичностью при комнатной температуре. По своему фазовому составу сплав ОТ4-1 относится к псевдо α -сплавам – это двухфазные $\alpha+\beta$ -сплавы, в структуре которых (в отожженном состоянии) в небольших количествах присутствует β -фаза. По химическому составу титановый сплав группы ОТ относится к системе Ti-Al-Mn.

По своим свойствам псевдо- α -сплавы существенно отличаются от однофазных α -сплавов. Высокой технологической пластичностью обладают только псевдо- α -сплавы с небольшим содержанием алюминия (сплавы ОТ4-0, ОТ4-1, ОТ4 и АТ3).

По признаку технологической пластичности ОТ4-0, ОТ4-1 относятся к сплавам малой прочности и нормальной пластичности (категория А), ОТ4 – к сплавам средней прочности и низкой пластичности (категория Б).

При изготовлении оковок из указанных сплавов возможно применение как горячей, так и холодной штамповки. Увеличение температуры обработки повышает пластичность титановых сплавов, что определяет предпочтительность горячей штамповки (гибки). Пластичность сплава ОТ4-1 повышается при температурах 450-700°C.

В настоящее время действующий технологический процесс изготовления титановых оковок разбит на два основных этапа:

1) получение заготовки плоской формы (развертка заготовки) и ее механическая обработка в соответствии с чертежом;

2) холодная гибка оковок с последующей термостабилизацией формы и заданных размеров оковок;

Термостабилизация оковок применяется с целью придания им необходимой формы и заданных размеров.

Одной из проблем при холодной штамповке титановых оковок является необходимость проведения операции термостабилизации (отжига). Так, при штучном времени изготовления - 321 мин., основное время, затрачиваемое на операции, связано

с термостабилизацией (отжигом) $T_1 = 312$ мин. Данная операция значительно снижает производительность изготовления оковок и повышает их стоимость.

Необходимость операции, связанной с термостабилизацией оковок, связана с упрочнением титанового сплава ОТ4 в процессе холодной деформации. Сопротивление пластическим деформациям при холодной штамповке приводит к возникновению внутренних остаточных напряжений. Их дальнейшая релаксация приводит к изменению формы и размеров профиля оковок от заданных параметров – эффект пружинения, а также к поводкам и короблению.

Термостабилизация оковок проводится методом термической обработки в заневоленном состоянии. Процесс термической обработки (отжиг) в заневоленном состоянии включает в себя:

- заневоление при комнатной температуре в специальном приспособлении, обеспечивающем необходимую форму;
- нагрев заневоленной оковки до температуры 520-560°C в электропечах сопротивления и выдержки при этой температуре;
- охлаждение детали на воздухе и последующее разневоливание.

Физическая сущность процессов, происходящих в титановом сплаве при термостабилизации (отжиге) в заневоленном состоянии, сводится к следующему:

- в процессе заневоливания оковка подвергается упругой деформации, возникающие при этом напряжения накладываются на остаточные напряжения, возникшие после процесса холодной деформации;
- выдержка заневоленной оковки при температуре 520-560°C приводит к релаксации напряжений, снижению их величины;
- в результате релаксации напряжений упругая (обратимая) деформация титанового сплава оковки переходит в пластическую (необратимую) деформацию. Оковка принимает форму и размеры исполнительных размеров приспособления «пуансон – матрица» для термостабилизации.

Для получения оптимального сочетания свойств, пластичности и прочности рекомендуется нагревать детали выше температуры рекристаллизации, но ниже температуры полиморфного превращения, с последующим охлаждением на воздухе.

Рекомендуемое время выдержки принимается равным от 15 до 60 мин., в зависимости от толщины заготовки.

По базовой технологии время выдержки при температуре 520-560°C составляет 60 мин. Фактически для обеспечения прогрева приспособления по заневоливанию оковок и достижения заданной температуры время прогрева составляет 120 мин. По базовой технологии предусмотрено охлаждение оковок совместно с приспособлением до комнатной температуры – 120-130 мин. Нагрев в электропечах при термостабилизации и охлаждении проводится в воздушной среде.

Значительное время выдержки без защитной атмосферы часто приводит к окислению и образованию на поверхности оковок газонасыщенного (охрупченного) слоя. Кроме того, большая длительность выдержки отрицательно сказывается на механических и коррозионных свойствах титанового сплава. В результате окисления и газонасыщения поверхностного слоя происходит так называемый «угар» титанового сплава. В итоге размеры готовой детали изменяются по контуру, что приводит к неисправимому браку. Угар наблюдается на поверхностях заготовки, имеющей наибольший контакт с воздушной средой. Кроме того, появление окисной пленки и газонасыщенного слоя требует введения дополнительной операции – пескоструйной очистки корундовым песком.

При разработке технологии гибки оковок прежде всего необходимо стремиться к уменьшению сопротивления пластическим деформациям, что позволит снизить внутренние остаточные напряжения. Избежать процесса окисления и образования на поверхности оковок газонасыщенного (охрупченного) слоя возможно назначением оптимальных температур нагрева и сокращением времени выдержки при нагреве.

Сопротивление деформациям на основании опытных данных определяется зависимостью:

$$\sigma = \alpha_0 \cdot \varepsilon^{\alpha_1} \cdot e^{\alpha_2} \cdot \xi^{\alpha_3} \cdot e^{\alpha_4 \left(\frac{T}{1000} \right) - 3}$$

где ε - степень деформации; ξ - скорость деформации;

$\xi = \frac{\varepsilon}{\tau}$, c^{-1} , (τ - продолжительность деформации, с); $\alpha_0 - \alpha_4$ - коэффициенты; T - температура деформации, °С.

Исходя из приведенной зависимости, величина сопротивления пластическим деформациям напрямую зависит от степени и скорости деформации. С увеличением температуры деформации и уменьшением времени продолжительности деформации сопротивление пластическим деформациям уменьшается. Зависимости влияния степени, скорости и температуры деформации на сопротивление пластическим деформациям необходимо учитывать при проектировании технологии гибки оковок из титанового сплава.

Авторами работы показана зависимость пластичности титанового сплава от температуры и скорости деформации. Установлено, что пластичность титанового сплава незначительно повышается с увеличением температуры до 350°С, а затем интенсивно возрастает, с повышением скорости деформации влияние температуры на пластичность уменьшается. Оптимальный интервал штамповки выбран при температурах 550-600°С. Ограничением верхнего предела температуры нагрева является образование газонасыщенного поверхностного слоя.

Исходя из указанных предпосылок, для совершенствования технологии гибки оковок, возможно применение горячей гибки. Для обеспечения горячей гибки оковок необходимо обеспечить нагрев заготовки до температур 800-850°С. Применение горячей гибки позволит исключить операцию термостабилизации. При этом необходимо обеспечить завершение процесса гибки при температуре не ниже 550°С для сплава ОТ4-0, ОТ4-1 и 600°С для сплава ОТ4.

В настоящее время существуют методы нагрева заготовок из титановых сплавов в газопламенных печах, электропечах, индукционный и электроконтактный методы. Недостатком нагрева в газопламенных печах и электропечах сопротивления является значительное время разогрева и появление газонасыщенного слоя.

Наиболее приемлемы индукционный и электроконтактный методы нагрева благодаря высокой скорости нагрева и сокращению расхода электроэнергии в 1,5-2 раза по сравнению с нагревом в электропечах сопротивления. Недостатки этих методов: в первом случае – значительная неравномерность нагрева; во втором случае – недостаточно высокая стойкость контактов, подводящих электроэнергию. Общими недостатками для обоих методов нагрева являются необходимость определенного соотношения длины и размеров сечения заготовки, а также наличие припуска на

заготовке для электроконтактов и крепления заготовки. Обрезка припуска на готовой оковке приводит к деформации детали и усложняет технологию штамповки.

В настоящее время авторы считают, что наиболее оптимальной является технология горячей штамповки стальных заготовок и титановых сплавов с использованием радиационного нагрева. Установка радиационного нагрева представляет собой оборудование, обеспечивающее нагрев до заданной температуры заготовки, которая расположена непосредственно на штампе. Нагрев осуществляется за счет галогеновых ламп инфракрасного излучения.

Преимущества радиационного нагрева:

- высокие скорости нагрева;
- отсутствие необходимости разогрева установки перед началом эксплуатации;
- возможность проведения нагрева заготовки непосредственно в рабочем пространстве штампа.

Применение радиационного метода нагрева для горячей гибки оковок из титановых сплавов позволит:

- снизить вероятность окисления и появления газонасыщенного слоя;
- исключить из технологического процесса гибки операцию термостабилизации;
- обрабатывать заготовки, соответствующие разверке готовой детали, без припуска для электроконтактов и крепления заготовки;
- повысить производительность;
- снизить стоимость изготовления оковок.

Список литературы: 1. Грешилов А.Д., Лыгденов Б.Д., Мотошкин Э.Э., Гурьев А.М. Разработка технологии гибки противоабразивных оковок. - Барнаул.: Ползуновский альманах, 2006. - №5. - С. 12-15. 2. Грешилов А.Д., Даширабданов В.Д., Анчилов Н.Н, Попов А.Г. Тепловые деформации матрицы при штамповке титановых сплавов. - Фундаментальные проблемы современного оборудования, 2008. - №4. – С. 109-112. 3. Зарубин В.С. Прикладные задачи термочности элементов конструкций. - М.: Машиностроение, 1998. - 296 с.