ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО

ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ГОСТ Р 59673— 2021

Оптика и фотоника

ЛАЗЕРНАЯ ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДЕТАЛЕЙ ИЗ ТИТАНОВЫХ И АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ

Технологический процесс

Издание официальное

Москва
Российский институт стандартизации
2021

gost.e-ecolog.ru

Предисловие

1 РАЗРАБОТАН Федеральным государственным унитарным предприятием «Научно-исследовательский институт физической оптики, оптики лазеров и информационных оптических систем Всероссийского научного центра «Государственный оптический институт им. С.И. Вавилова» (ФГУП «НИИФООЛИОС ВНЦ «ГОИ им. С.И. Вавилова») и Обществом с ограниченной ответственностью «Новые технологии лазерного термоупрочнения» (ООО «НТЛТ»)

2 ВНЕСЕН Техническим комитетом по стандартизации ТК 296 «Оптика и фотоника»

3 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 8 сентября 2021 г. № 925-ст

4 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

*Правила применения настоящего стандарта установлены в статье 26 Федерального закона от 29 июня 2015 г. № 162-ФЗ «О стандартизации в Российской Федерации». Информация об изменениях к настоящему стандарту публикуется в ежегодном (по состоянию на 1 января текущего года) информационном указателе «Национальные стандарты», а официальный текст изменений и поправок — в ежемесячном информационном указателе «Национальные стандарты». В случае пересмотра (замены) или отмены настоящего стандарта соответствующее уведомление будет опубликовано в ближайшем выпуске ежемесячного информационного указателя «Национальные стандарты». Соответствующая информация, уведомления и тексты размещаются также в информационной системе общего пользования — на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет (*gost.e-ecolog.ru

© Оформление. ФГБУ «РСТ», 2021

Настоящий стандарт не может быть полностью или частично воспроизведен, тиражирован и распространен в качестве официального издания без разрешения Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Оптика и фотоника

ЛАЗЕРНАЯ ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДЕТАЛЕЙ ИЗ ТИТАНОВЫХ И АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ

Технологический процесс

Optics and photonics. Laser heat treatment of titanium and aluminum alloy parts. Technological process

Дата введения — 2022—03—01

1 Область применения

Настоящий стандарт устанавливает требования к технологическому процессу (ТП) лазерной термической обработки (ЛТО) деталей, изготовленных из титановых и алюминиевых сплавов.

Настоящий стандарт распространяется на следующие виды ЛТО деталей:

- закалка;
- отжиг;
- ударное упрочнение (нагартовка, наклеп, проковка).

Настоящий стандарт предназначен для конструкторов, технологов, административного и технического персонала цехов, производственных и контрольных мастеров, операторов лазерных установок, осуществляющих ТП ЛТО, и других лиц, занимающихся проектированием, изготовлением и эксплуатацией деталей машин и механизмов.

2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы нормативные ссылки на следующие документы:

ГОСТ 3.1109 Единая система технологической документации. Термины и определения основных понятий

ГОСТ 12.1.003 Система стандартов безопасности труда. Шум. Общие требования безопасности

ГОСТ 12.1.004 Система стандартов безопасности труда. Пожарная безопасность. Общие требования

ГОСТ 12.1.005 Система стандартов безопасности труда. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны

ГОСТ 12.1.007 Система стандартов безопасности труда. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности

ГОСТ 12.1.012 Система стандартов безопасности труда. Вибрационная безопасность. Общие требования

ГОСТ 12.1.019 Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты

ГОСТ 12.1.030 Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Защитное заземление, зануление

ГОСТ 12.1.040 Система стандартов безопасности труда. Лазерная безопасность. Общие положения

ГОСТ 12.2.003 Система стандартов безопасности труда. Оборудование производственное. Общие требования безопасности

Издание официальное

ГОСТ 12.3.002 Система стандартов безопасности труда. Процессы производственные. Общие требования безопасности

ГОСТ 12.4.010 Система стандартов безопасности труда. Средства индивидуальной защиты. Рукавицы специальные. Технические условия

ГОСТ 12.4.026 Система стандартов безопасности труда. Цвета сигнальные, знаки безопасности и разметка сигнальная. Назначение и правила применения. Общие технические требования и характеристики. Методы испытаний

ГОСТ 12.4.308—2016 (EN 207:2009) Система стандартов безопасности труда. Средства индивидуальной защиты глаз. Очки для защиты от лазерного излучения. Общие технические требования и методы испытаний

ГОСТ 162 Штангенглубиномеры. Технические условия

ГОСТ 166 (ИСО 3599—76) Штангенциркули. Технические условия

ГОСТ 427 Линейки измерительные металлические. Технические условия

ГОСТ 6507 Микрометры. Технические условия

ГОСТ 7502 Рулетки измерительные металлические. Технические условия

ГОСТ 7661 Глубиномеры индикаторные. Технические условия

ГОСТ 9378 (ИСО 2632-1—85, ИСО 2632-2—85) Образцы шероховатости поверхности (сравнения). Общие технические условия

ГОСТ 9450 Измерение микротвердости вдавливанием алмазных наконечников

ГОСТ 11358 Толщиномеры и стенкомеры индикаторные с ценой деления 0,01 и 0,1 мм. Технические условия

ГОСТ 15150 Машины, приборы и другие технические изделия. Исполнения для различных климатических районов. Категории, условия эксплуатации, хранения и транспортирования в части воздействия климатических факторов внешней среды

ГОСТ 18295 Обработка упрочняющая. Термины и определения

ГОСТ 19300 Средства измерений шероховатости поверхности профильным методом. Профилографы-профилометры контактные. Типы и основные параметры

ГОСТ 25706 Лупы. Типы, основные параметры. Общие технические требования

ГОСТ 31581 Лазерная безопасность. Общие требования безопасности при разработке и эксплуатации лазерных изделий

ГОСТ 31993 (ISO 2808:2007) Материалы лакокрасочные. Определение толщины покрытия

ГОСТ ЕН 12626 Безопасность металлообрабатывающих станков. Станки для лазерной обработки

ГОСТ IEC 60825-1 Безопасность лазерной аппаратуры. Часть 1. Классификация оборудования, требования и руководство для пользователей

ГОСТ ISO 15609-4 Технические требования и аттестация процедур сварки металлических материалов. Технические требования к процедуре сварки. Часть 4. Лазерная сварка

ГОСТ Р 55710 Освещение рабочих мест внутри зданий. Нормы и методы измерений

ГОСТ Р 58374 Лазерное термоупрочнение деталей машиностроения. Требования к аттестации технологического процесса

ГОСТ Р 58375 Лазерное термоупрочнение деталей машиностроения. Термины и определения

ГОСТ Р 58432—2019 Лазерное термоупрочнение деталей машиностроения. Технологический процесс

СП 52.13330 «СНиП 23-05—95 Естественное и искусственное освещение»

СП 60.13330 «СНиП 41-01—2003 Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха»

Примечание — При пользовании настоящим стандартом целесообразно проверить действие ссылочных стандартов и сводов правил в информационной системе общего пользования — на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет или по ежегодному информационному указателю «Национальные стандарты», который опубликован по состоянию на 1 января текущего года, и по выпускам ежемесячного информационного указателя «Национальные стандарты» за текущий год. Если заменен ссылочный документ, на который дана недатированная ссылка, то рекомендуется использовать действующую версию этого документа с учетом всех внесенных в данную версию изменений. Если заменен ссылочный документ, на который дана датированная ссылка, то рекомендуется использовать версию этого документа с указанным выше годом утверждения (принятия). Если после утверждения настоящего стандарта в ссылочный документ, на который дана датированная ссылка, внесено изменение, затрагивающее положение, на которое дана ссылка, то это положение рекомендуется применять без учета данного изменения. Если ссылочный документ отменен без замены, то положение, в котором дана ссылка на него, рекомендуется применять в части, не затрагивающей эту ссылку. Сведения о действии сводов правил целесообразно проверить в Федеральном информационном фонде стандартов.

3 Термины и определения

В настоящем стандарте применены термины по ГОСТ 3.1109, ГОСТ 18295, ГОСТ Р 58375, а также следующие термины с соответствующими определениями:

3.1 **технологический режим лазерной термической обработки:** Совокупность значений энергетических, механических и временных параметров технологического процесса лазерной термической обработки в режиме автоматического или ручного управления.

3.2

зона лазерного воздействия: Поверхностный слой материала детали с измененными структурой и свойствами в результате термического воздействия лазерного излучения.

[ГОСТ Р 58432—2019, пункт 3.9]

3.3 **толщина зоны лазерного воздействия:** Кратчайшее расстояние по нормали от обрабатываемой поверхности детали до ближайшей поверхности с твердостью, соответствующей твердости материала детали до лазерного воздействия.

3.4 **триботехнический рисунок лазерной термической обработки:** Геометрическая схема расположения зон воздействия лазерного излучения на обрабатываемой поверхности.

3.5 **отжиг:** Термическая обработка, предусматривающая нагрев детали до заданной температуры, выдержку и последующее охлаждение с целью получения более равновесной структуры.

Примечание — Отжиг при лазерной термической обработке деталей в отличие от традиционного процесса следует отнести к быстро протекающим процессам с коррекцией временных и температурных показателей.

3.6 **лазерный отжиг для снятия остаточных напряжений:** Отжиг без существенного изменения фазового состояния структуры материала для осуществления заданной степени релаксации напряжений лазерным лучом требуемой мощности.

4 Сокращения

В настоящем стандарте применены следующие сокращения:

КД — конструкторская документация;

ЛТО — лазерная термическая обработка;

ТД — технологическая документация;

ТП — технологический процесс;

ТР — технологический режим.

5 Требования к технологическому оборудованию, оснастке, измерительному инструменту и материалам

5.1 Технологическое оборудование оснащают твердотельными или газовыми лазерами, а также лазерами других типов, энергетические характеристики которых обеспечивают получение требуемых структурных изменений в поверхностном слое детали под воздействием лазерного излучения.

5.2 Лазерное технологическое оборудование должно соответствовать требованиям ГОСТ IEC 60825-1, ГОСТ ЕН 12626, ГОСТ 12.1.040, ГОСТ ISO 15609-4, ГОСТ 12.2.003. Параметры технологического оборудования приведены в приложении А.

5.3 Технологическое оборудование для ЛТО (лазерные комплексы, универсальные или специализированные) должно, как правило, содержать следующие основные части:

- лазер;
- систему транспортировки лазерного излучения;
- фокусирующую головку;
- координатную и манипуляционную систему (автоматизированную или роботизированную) для крепления и перемещения деталей или заготовок;
- систему управления;
- технологическую оснастку.

Дополнительно комплексы могут быть оснащены сканаторами и формирователями излучения.

5.4 Технологическое оборудование должно обеспечивать высокую стабильность ТР. Допускаемые отклонения значений параметров ТР от номинальных указаны в таблице 1.

Таблица 1

Наименование параметра	Значение, %, не более
Мощность лазерного излучения в течение:	
— 2 ч	±2,0
— 8 ч	±2,5
Плоские поверхности	
Скорость перемещения детали или фокусирующей оптической головки в течение 8 ч	±1,0
Цилиндрические поверхности	
Скорость вращения детали в течение 8 ч	±1,0
Скорость продольного перемещения детали или фокусирующей оптической головки в течение 8 ч	±1,0

5.5 Климатическое исполнение технологического оборудования — УХЛ4 по ГОСТ 15150.

5.6 Технологическое оборудование должно быть полностью или частично автоматизированным, обеспечивая полный контроль параметров ТР.

5.7 Технологическая оснастка должна быть изготовлена из негорючего материала, обеспечивать надежное крепление обрабатываемой детали и точность ее позиционирования в соответствии с ТП.

5.8 Применяемый измерительный инструмент должен соответствовать требованиям ГОСТ 162, ГОСТ 166, ГОСТ 427, ГОСТ 6507, ГОСТ 7502, ГОСТ 7661, ГОСТ 11358, ГОСТ 19300. Лупы, используемые при визуальном контроле, должны соответствовать требованиям ГОСТ 25706.

5.9 Требования к материалам должны быть установлены в КД на конкретную деталь.

6 Требования к обрабатываемой поверхности и покрытию

6.1 Поверхность обрабатываемой детали должна быть без заусенцев, расслоений, трещин, механических повреждений. Исходная шероховатость обрабатываемой поверхности должна соответствовать установленной в КД. Обрабатываемая поверхность должна быть тщательно очищена от следов жировых пленок, окалины и других загрязнений.

6.2 На обрабатываемую поверхность может быть нанесено поглощающее покрытие для уменьшения доли отраженного и рассеянного лазерного излучения и повышения эффективности ТП ЛТО. Рекомендуется наносить поглощающие покрытия на детали из алюминиевых сплавов. Поглощающее покрытие должно быть равномерным, без наплывов, разрывов и загрязнений.

6.3 Состав и толщину поглощающего покрытия указывают в ТД. Метод определения толщины покрытия — по ГОСТ 31993 (для лакокрасочных покрытий). Для других видов покрытий толщина определена ТП их нанесения и КД.

6.4 Контроль качества очистки поверхности, состав и толщину поглощающего покрытия, способ его нанесения и метод контроля устанавливают в ТД предприятия.

7 Последовательность выполнения технологических операций

7.1 Технологические операции выполняют в соответствии с 7.1.1—7.1.8.

7.1.1 Подготовка к работе технологического оборудования и оснастки.

7.1.2 Подготовка поверхности детали в соответствии с разделом 6.

7.1.3 Закрепление детали технологической оснасткой.

7.1.4 При ручном или полуавтоматическом режиме управления:

- перемещение фокусирующей оптической головки в рабочую зону к месту начала ТП ЛТО;
- установка фокусирующей оптической головки с фокусным расстоянием F со смещением относительно обрабатываемой поверхности детали ΔF (см. рисунок 1);

- установка значений параметров ТР;
- запуск ТП ЛТО;
- проведение визуального контроля ТП ЛТО через видеоконтрольное устройство;
- остановка ТП ЛТО;
- отведение фокусирующей оптической головки в нерабочую зону.

7.1.5 При автоматическом режиме управления:
- запуск ТП ЛТО;
- остановка ТП ЛТО.

7.1.6 Снятие детали, при необходимости ее охлаждение до температуры ниже 40 °С и передача на очистку от остатков поглощающего покрытия в случае его нанесения.

7.1.7 Проведение контроля качества обработанной поверхности.

7.1.8 Передача детали для выполнения последующих доводочных операций, предусмотренных в КД и/или ТД.

8 Принципиальная технологическая схема

8.1 Принципиальная схема ТП ЛТО приведена на рисунке 1.



ΔF — смещение по нормали фокальной плоскости относительно обрабатываемой поверхности; F — фокусное расстояние. d_f — диаметр пятна фокусировки; d_n — размер (диаметр) пятна лазерного излучения на обрабатываемой поверхности (зоны воздействия с измененной структурой). h_{max} — глубина зоны лазерного воздействия с измененной структурой

Рисунок 1 — Принципиальная схема ТП ЛТО

Примечание — Значения параметров ТП ЛТО приведены в приложении Б.

От источника лазерного излучения луч лазера направляется по оптической транспортной системе к фокусирующей головке и затем на обрабатываемую поверхность детали.

8.2 ЛТО плоских и цилиндрических деталей сплошным или локальным лазерным воздействием, с перекрытием зон, по различным триботехническим рисункам проводят согласно схемам по ГОСТ Р 58432—2019 (раздел 8).

8.3 ТП ЛТО может быть реализован при различных формах распределения излучения на выходе лазера или на входе в оптическую фокусирующую систему. Данное распределение может иметь форму круга, квадрата, прямоугольника, линии, кольца или мозаичную форму при использовании многолучевого лазера (см. рисунок 2). Допускаются формы пятен с другими распределениями энергии.

На рисунке 2 показано соответствующее распределение плотности мощности лазерного излучения E_p в пятне после фокусировки, получаемое на обрабатываемой поверхности. Данные обстоятельства следует учитывать при выборе режимов обработки в зависимости от массогабаритных характеристик обрабатываемых деталей.

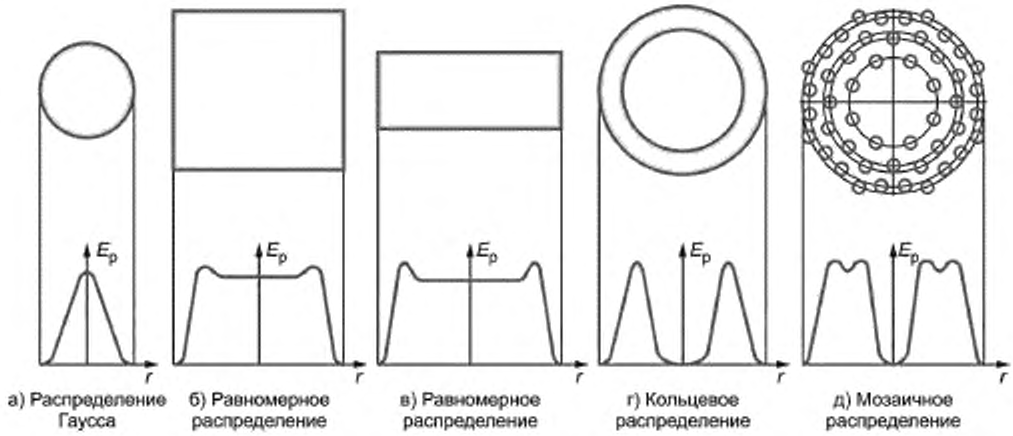


Рисунок 2 — Распределение плотности мощности лазерного излучения $E_р$

9 Способы проведения технологического процесса

ТП ЛТО осуществляют следующими способами:

- перемещением фокусирующей оптической головки относительно неподвижной детали;
- перемещением детали относительно неподвижной фокусирующей оптической головки;
- одновременным перемещением фокусирующей оптической головки и детали;
- с оплавлением и без оплавления поверхности;
- с последующей механической обработкой и без нее. При использовании механической обработки следует задавать припуск размеров детали на механическую обработку и учитывать уменьшение толщины зоны воздействия при ее проведении. Механическая обработка после проведения ТП ЛТО должна соответствовать требованиям КД и ТД.

Примечания

1 ЛТО деталей, изготовленных из алюминиевых сплавов, рекомендуется проводить исключительно с оплавлением поверхности (закалка из жидкой фазы).

2 Тип доводочных механических операций и толщину снимаемого поверхностного слоя определяют после проведения металлографического анализа обработанного контрольного образца (образца-свидетеля) или неразрушающего контроля толщины поверхностно-упрочненного слоя и измерения шероховатости обработанной поверхности;

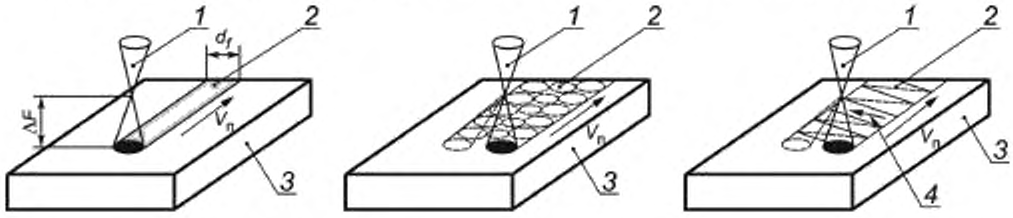
- с перекрытием и без перекрытия зон воздействия как в продольном, так и в поперечном направлениях. Размеры перекрытия определяют на основе проведения эксплуатационных испытаний и выбора триботехнического рисунка в соответствии с требованиями КД;
- под углом к обрабатываемой поверхности при ЛТО деталей сложной пространственной конфигурации с труднодоступными местами (например, галтелями);
- сканированием пучка лазерного излучения на обрабатываемой поверхности;
- с подачей защитного газа (аргон, гелий или их смесь) во избежание окисления материала при повышенных температурах.

10 Требования к технологическим режимам

10.1 ТП ЛТО проводят в непрерывном, импульсном и квазинепрерывном режиме работы лазера без сканирования лазерного пучка [см. рисунок 3, а), б)] или со сканированием лазерного пучка [см. рисунок 3, в)].

10.2 Выбор ТР осуществляют с учетом требований КД и ТД.

10.3 Схемы ТП ЛТО при различных режимах работы лазера приведены на рисунке 3.



а) Непрерывный режим б) Импульсный режим в) Режим со сканированием пучка лазерного излучения (на схеме в поперечном направлении)

1 — пучок лазерного излучения; *2* — зона воздействия на обрабатываемой поверхности; *3* — обрабатываемая деталь. *4* — направление сканирования пучка лазерного излучения, $V_п$ — скорость перемещения детали или фокусирующей оптической головки; d_f — размер (диаметр) пятна фокусировки на обрабатываемой поверхности, ΔF — смещение по нормали фокальной плоскости относительно обрабатываемой поверхности

Рисунок 3 — Схемы проведения ТП ЛТО при различных режимах работы лазера

10.4 Выбор параметров ТП ЛТО — в соответствии с приложением Б.

10.5 Степень неравномерности распределения плотности мощности (энергии) излучения по сечению лазерного пучка на выходе из фокусирующей головки — не более ±10 %.

10.6 ЛТО протяженных, сплошных поверхностей, в т. ч. с перекрытием зон воздействия, рекомендуется проводить с распределением мощности по рисунку 2, б), в), д), локальную — по рисунку 2, а), г), обработку сканирующим лучом — по рисунку 2, а).

10.7 Допускаемые отклонения значений параметров ТР от номинальных приведены в таблице 1.

11 Дополнительные требования к технологическому процессу лазерной термической обработки деталей из титановых и алюминиевых сплавов

11.1 Общие требования

11.1.1 При выполнении ЛТО деталей из титановых и алюминиевых сплавов в КД и ТД должны быть установлены дополнительные требования к технологическому оборудованию, оснастке, выбору технологических схем и режимов ЛТО, к подготовке поверхностей, механообработке и др.

11.1.2 Дополнительные требования к ТП ЛТО устанавливают с учетом особенностей ЛТО деталей из титановых и алюминиевых сплавов, связанных с различными теплофизическими и оптическими свойствами материалов, в частности с температурой плавления, теплопроводностью, коэффициентом отражения.

11.2 Дополнительные требования к технологическому процессу лазерной термической обработки деталей из титановых сплавов

11.2.1 Детали из промышленных титановых сплавов класса α + β марок ВТ3, ВТ4, ОТ4 и др. и класса α марок ВТ1, В5 подвергают ЛТО на мартенсит по температурным режимам в зависимости от содержания примесей и легирующих элементов с целью получения мелкодисперсных структур и улучшенных прочностных свойств.

11.2.2 ЛТО деталей из титановых сплавов следует проводить с подачей в зону обработки защитных газов (аргон, гелий или их смесь) во избежание окисления при повышенных температурах.

11.2.3 Для снятия остаточных напряжений после операций штамповки и, при необходимости, для улучшения пластичности поверхностного слоя применяют отжиг в атмосфере защитных газов.

11.2.4 С целью увеличения усталостной прочности и создания в поверхностном слое сжимающих напряжений детали из титановых сплавов подвергают ударному упрочнению (нагартовка, наклеп, проковка), которое выполняют на специализированных лазерных установках, обеспечивающих генерацию импульсов длительностью менее 10^{-8}—10^{-9} с при плотности мощности 10^{8}—10^{10} Вт/см^2. Для данного

ТП требуются дополнительные приемы и специализированная оснастка. Как правило, ударное упрочнение проводят с использованием водной среды в качестве локального несжимаемого источника.

11.3 Дополнительные требования к технологическому процессу лазерной термической обработки деталей из алюминиевых сплавов

11.3.1 Алюминиевые сплавы подразделяют на две группы: упрочняемые и неупрочняемые ЛТО. Для ТП ЛТО выбирают вид ЛТО в зависимости от материала, из которого изготовлена деталь.

11.3.2 Детали из алюминиевых деформируемых сплавов (дюралюмины типа Д1, Д6, Д16 и др.), упрочняемые ЛТО, подвергают закалке с оплавлением поверхности при незначительном изменении микротвердости и измельчении структуры материала. Детали из алюминиевых сплавов типа АК4, АМг и АМц, не упрочняемые традиционной ЛТО, подвергают закалке в атмосфере защитных газов (аргон, гелий).

11.3.3 Детали из литейных алюминиевых сплавов (силумины АЛ3, АЛ4, АЛ9, АЛ25 и др.), восприимчивых к ЛТО, подвергают закалке с целью увеличения твердости поверхности, измельчения структуры материала и повышения эксплуатационных характеристик. Закалку деталей из данных алюминиевых сплавов проводят с оплавлением поверхности, предварительным нанесением поглощающих покрытий (типа ВМЛ и ФС-1М) и в атмосфере защитных газов (аргон, гелий).

11.3.4 Ударное упрочнение деталей из алюминиевых сплавов проводят при плотностях мощности лазерного излучения не менее 107 Вт/см^2 и длительности импульсов не более 10^{-7} с, диаметр пятна воздействия в зависимости от энергетических параметров лазера и технологических требований — от 3 до 7 мм.

12 Контроль качества

12.1 Качество обработанных деталей должно соответствовать требованиям КД.

12.2 Контролю подлежат обработанная поверхность и характеристики поверхностного слоя детали.

12.3 Параметры и нормы оценки качества поверхностно-термообработанного слоя, а также методы и объем контроля устанавливают в КД и/или ТД с учетом требований ГОСТ Р 58374.

12.4 Контроль качества обработанных деталей проводят по методике, утвержденной в установленном порядке и входящей в состав ТД предприятия.

Для оценки качества обработанных деталей проводят:

- визуальный контроль обработанной поверхности;
- контроль параметров шероховатости обработанной поверхности;
- металлографическое исследование зоны лазерного воздействия;
- измерение микротвердости по толщине зоны лазерного воздействия;
- неразрушающие и разрушающие испытания для определения механических и/или других свойств материала детали после проведения ЛТО.

12.4.1 Визуальным контролем без применения или с применением лупы по ГОСТ 25706 с увеличением 10× проверяют отсутствие дефектов обработанной поверхности: трещин, прожогов, вскрытых дефектов в виде пор.

12.4.2 Контроль параметров шероховатости поверхности проводят сравнением с образцами шероховатости по ГОСТ 9378 (для поверхностей, обработанных без оплавления) или измерением параметров шероховатости профилографом-профилометром по ГОСТ 19300 (для поверхностей, обработанных с оплавлением). Шероховатость обработанной поверхности должна соответствовать требованиям КД.

12.4.3 Измерения микротвердости по ГОСТ 9450 и металлографическое исследование применяют для проверки соответствия характеристик термообработанного слоя требованиям КД. Заготовки для микрошлифов вырезают из контрольного образца. Требования к контрольному образцу устанавливают в методике контроля качества ЛТО с учетом требований ГОСТ Р 58374.

Металлографическое исследование и измерения микротвердости проводят при выборе и контроле ТР. Периодичность контроля ТР устанавливают в ТД предприятия.

Контроль толщины термообработанного слоя может быть проведен с применением приборов неразрушающего контроля. В спорных случаях определяющими являются результаты металлографического исследования и измерений микротвердости.

12.4.4 При необходимости могут быть дополнительно проведены неразрушающий контроль и разрушающие испытания. Вид и объем неразрушающего контроля и разрушающих испытаний — по ГОСТ Р 58374.

12.5 Контроль качества обработанных деталей должен проводить специалист, прошедший аттестацию и имеющий квалификационное удостоверение (сертификат).

12.6 Применяемые средства измерений должны быть поверены или калиброваны в установленном порядке.

12.7 Результаты контроля качества обработанных деталей вносят в протокол испытаний.

13 Требования безопасности

13.1 Требования безопасности при осуществлении ТП ЛТО — по ГОСТ 12.3.002 и в соответствии с инструкциями по охране труда предприятия.

13.2 Требования безопасности к конструкции и эксплуатации лазерного технологического оборудования — по ГОСТ 31581, ГОСТ ЕН 12626, ГОСТ 12.1.040 и в соответствии с [1]. Конструкция технологического оборудования и оснастки должна обеспечивать защиту окружающей среды и обслуживающего персонала лазерного оборудования от отраженного лазерного излучения (диффузного или зеркального).

13.3 Требования к размещению и эксплуатации лазерного технологического оборудования — по ГОСТ 31581, ГОСТ IEC 60825-1.

13.4 Требования электробезопасности к применяемому технологическому оборудованию и оснастке — по ГОСТ 12.1.019 и в соответствии с [2], правила безопасности при эксплуатации электроустановок — по [3].

13.5 Технологическое оборудование должно быть заземлено. Сечение заземляющих проводников должно быть не менее сечения подводящих проводников; электрическое сопротивление между шиной заземления и узлами технологического оборудования, которые могут оказаться под напряжением, должно быть не более 0,1 Ом по ГОСТ 12.1.030 и в соответствии с [2].

13.6 Требования пожарной безопасности — по ГОСТ 12.1.004, правила противопожарного режима в производственном помещении — в соответствии с [4].

13.7 Требования безопасности при эксплуатации сосудов, работающих под давлением, — в соответствии с [5].

13.8 Уровни шума и нормы вибрации на рабочем месте не должны превышать предельно допустимых значений по ГОСТ 12.1.003 и ГОСТ 12.1.012 соответственно.

13.9 Содержание вредных химических веществ в воздухе рабочей зоны не должно превышать предельно допустимых концентраций по ГОСТ 12.1.007. Допустимые показатели микроклимата в рабочей зоне — по ГОСТ 12.1.005.

13.10 Вентиляция производственных помещений должна удовлетворять требованиям СП 60.13330.

13.11 Нормы естественного и искусственного освещения рабочей поверхности — по ГОСТ Р 55710 и СП 52.13330.

13.12 Поверхности ограждений и перемещающихся узлов технологического оборудования должны быть окрашены в сигнальные цвета по ГОСТ 12.4.026. Для указания места нахождения огнетушителя или направления движения к этому месту следует использовать соответственно основной знак F04 или комбинированный знак пожарной безопасности по ГОСТ 12.4.026. На дверях помещений и лазерном технологическом оборудовании, на излучателе и в зоне обработки должны быть нанесены предупреждающие знаки W10 по ГОСТ 12.4.026, на электрооборудовании, дверцах силовых щитков, электротехнических шкафах — предупреждающие знаки W08 по ГОСТ 12.4.026.

13.13 Требования к персоналу, эксплуатирующему и обслуживающему лазерное технологическое оборудование и электроустановки, — по ГОСТ 31581. Персонал, работающий на лазерном технологическом оборудовании, должен быть обеспечен защитными очками по ГОСТ 12.4.308 и рукавицами по ГОСТ 12.4.010.

13.14 Подъем и перемещение деталей массой более 16 кг проводят с применением подъемных механизмов.

Приложение А
(рекомендуемое)

Параметры технологического оборудования

Параметры технологического оборудования для ТП ЛТО приведены в таблице А.1.

Таблица А.1

Составная часть технологического оборудования, наименование параметра	Значение параметра
1 Лазер	
1.1 Твердотельный на кристаллах:	
- длина волны излучения, мкм	1,06
- режим работы	Импульсный, непрерывный
- энергия в импульсе, Дж	5—50
- длительность импульса, мс	10—30
- частота следования импульсов, Гц	10,0—0,1
- мощность в непрерывном режиме, Вт	1000
1.2 Твердотельный дисковый:	
- длина волны излучения, мкм	1,03
- режим работы	Импульсный, непрерывный
- мощность в непрерывном режиме, Вт	4000
- длительность импульса, мс	10
1.3 Твердотельный волоконный:	
- длина волны излучения, мкм	1,06
- режим работы	Непрерывный
- мощность, Вт	500—10 000
1.4 Твердотельный диодный:	
- длина волны излучения, мкм	1,06
- режим работы	Непрерывный
- мощность, Вт	500—10 000
1.5 Твердотельный на кристаллах с модулированной добротностью:	
- длина волны излучения, мкм	1,06
- режим работы	Импульсный
- энергия в импульсе, Дж	2—20
- длительность импульса, нс	0,5—10,0
- частота следования импульсов, Гц	10—50
1.6 Газовый на CO_2, одно- и многолучевой:	
- длина волны излучения, мкм	1,06

Продолжение таблицы А.1

Составная часть технологического оборудования, наименование параметра	Значение параметра
- режим работы	Непрерывный
- мощность, Вт	500—10 000
1.7 Газовый на CO_2, импульсно-периодический (ТЕА лазер):	
- длина волны излучения, мкм	1,06
- режим работы	Импульсный
- энергия в импульсе, Дж	1—5
- длительность импульса, мкс	0,1—50,0
- частота следования импульсов, Гц	10—500
2 Система транспортировки и фокусировки излучения	
2.1 Открытая зеркальная:	
- расстояние транспортировки излучения от лазера к технологическому посту, м	1—10
- потери мощности или энергии при транспортировке, %	Не более 10
2.2 Закрытая волоконная:	
- расстояние транспортировки излучения от лазера к технологическому посту, м	2—100
- потери мощности или энергии при транспортировке, %	1—2
2.3 Фокусирующая головка	
2.3.1 Зеркально-линзовая:	
- фокусное расстояние, мм	75—750
- размер пятна фокусировки, мм	3—20
2.3.2 Линзовая с волоконным вводом излучения:	
- фокусное расстояние, мм	75—300 и более
- размер пятна фокусировки, мм	3—15
2.3.3 Линзовая или зеркально-линзовая:	
- с телескопической системой	См. примечание
- формирователем пучка излучения	См. примечание
2.4 Сканатор:	
- амплитуда сканирования, мм	15—30 и более
- частота сканирования, Гц	10—50 и более
3 Координатная и манипуляционная система	
3.1 Двухкоординатный стол для обработки плоских деталей:	
- перемещение по координате X	400—1000
- перемещение по координате Y	400—2000
- координата Z	Непрограммируемая
- скорость перемещения, м/мин	0,2—3,0
- точность позиционирования, мм	0,5

Окончание таблицы А.1

Составная часть технологического оборудования, наименование параметра	Значение параметра
3.2 Манипуляторы портального типа:	
- число степеней свободы	не более 5
- скорость перемещения (обработки) деталей и заготовок, м/мин	0,2—2,0
3.3 Роботизированные системы и лазер-роботы:	
- число степеней свободы	6
- скорость перемещения (обработки) деталей и заготовок, м/мин	0,2—2,0
- точность позиционирования, мм	0,5
4 Система управления:	
- напряжение цифрового входа, В	24
- диапазон входного аналогового напряжения, В	0—10
- интерфейс	Да
- телесервис	Да
- пирометр	Да
- камера видеонаблюдения	Да
- персональный компьютер	Да
- программное обеспечение для персонального компьютера	Да
Примечание — Оснащение оборудования телескопической системой и формирователем излучения выполняется по отдельному требованию заказчика.	

Приложение Б
(обязательное)

Параметры технологического процесса лазерной термической обработки

Параметры ТП ЛТО приведены в таблице Б.1.

Таблица Б.1

Наименование и обозначение параметра	Значение параметра*
Фокусное расстояние фокусирующей оптической головки F, мм	100—750
Смещение по нормали фокальной плоскости относительно обрабатываемой поверхности ΔF, мм	15—75
Диаметр пятна фокусировки d_f, мм	3—20
Размер (диаметр) пятна лазерного излучения на обрабатываемой поверхности (зоны воздействия с измененной структурой) $d_п$, мм	0,8—0,95 d_f
Глубина зоны лазерного воздействия с измененной структурой h_{max}, мм	0,02—2,0*
Импульсный режим работы лазера	
Энергия импульса лазерного излучения $W_и$, Дж	10—50
Длительность импульса лазерного излучения T_i, с	0,005—0,015
Частота следования импульсов f_i, Гц	0,5—10,0
Форма импульса**	Задает оператор
Непрерывный или квазинепрерывный режим работы лазера	
Мощность лазерного излучения P, Вт	200—10 000
Распределение плотности мощности лазерного излучения по пятну на обрабатываемой поверхности для обоих режимов работы лазера	Круговое, прямоугольное, линейное, кольцевое
Режим работы лазера с модулированной добротностью	
Энергия импульсов лазерного излучения $W_и$, Дж	2—30
Длительность импульса лазерного излучения T_i, с	10^{-8}—10^{-10}
Частота следования импульсов f_i, Гц	10—50
Плотность мощности Q, Вт/см^2	10^8—10^{10}
Сканирование пучка лазерного излучения	
Амплитуда сканирования A, мм	15—30
Частота сканирования f, Гц	10—50
Распределение плотности мощности лазерного излучения по пятну на обрабатываемой поверхности	Близкое к распределению Гаусса
Плоские поверхности	
Скорость перемещения детали или фокусирующей оптической головки $V_д$, мм/с	5—25
Цилиндрические поверхности	
Окружная скорость $V_о$, мм/с	5—25
Скорость продольного перемещения детали или фокусирующей оптической головки $V_{п.п}$, мм/с	5—25

Окончание таблицы Б.1

Наименование и обозначение параметра	Значение параметра*
Дополнительные параметры	
Ширина зоны лазерного воздействия d_y, мм	5—15
Шаг зоны воздействия s, мм	3—12
Коэффициент перекрытия зон воздействия $K_п$, мм	0,1—0,5
*Значения параметров ТП ЛТО указаны в справочных целях и не являются обязательными. Значения параметров ТП ЛТО устанавливают изготовитель технологического оборудования и разработчик ТП ЛТО.	
** Если предусмотрено в источнике питания и системе управления.	

Библиография

[1] СанПиН 2.2.4.3359—2016 Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах

[2] Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей (утверждены приказом Министерства энергетики РФ от 13 января 2003 г. № 6)

[3] Правила по охране труда при эксплуатации электроустановок. ПОТЭУ (утверждены приказом Минтруда России от 15 декабря 2020 г. № 903н)

[4] Правила противопожарного режима в Российской Федерации (утверждены постановлением Правительства РФ от 16 сентября 2020 г. № 1479)

[5] Технический регламент Таможенного союза ТР ТС 032/2013 О безопасности оборудования, работающего под избыточным давлением

УДК 621.785:006.354 ОКС 25.200

Ключевые слова: лазерная термическая обработка деталей из титановых и алюминиевых сплавов, технологический процесс

Редактор *Л.С. Зимилова*
Технический редактор *В.Н. Прусакова*
Компьютерная верстка *И.Ю. Литовкиной*

Сдано в набор 03.09.2021. Подписано в печать 30.09.2021. Формат 60×84⅛. Гарнитура Ариал.
Усл. печ. л. 2,32 Уч.-изд. л. 2,20.

Подготовлено на основе электронной версии, предоставленной разработчиком стандарта

Создано в единичном исполнении в ФГБУ «РСТ»
для комплектования Федерального информационного фонда стандартов,
117418 Москва, Нахимовский пр-т, д. 31, к. 2.
www.gostinfo.ru info@gostinfo.ru

gost.e-ecolog.ru