ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО

ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ГОСТ Р 59734— 2021

Оптика и фотоника

ЛАЗЕРНАЯ НАПЛАВКА МЕТАЛЛИЧЕСКИМИ МАТЕРИАЛАМИ

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»), Обществом с ограниченной ответственностью Вятским машиностроительным предприятием «Лазерная техника и технологии» (ООО ВМП «ЛТиТ») и Обществом с ограниченной ответственностью «Ирс Лазер Технолоджи» (ООО «Ирс Лазер Технолоджи»)

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 12 октября 2021 г. № 1113-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, уведомление 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

Содержание

1 Область применения 1
2 Нормативные ссылки 1
3 Термины, определения и сокращения 3
3.1 Термины и определения 3
3.2 Сокращения 3
4 Общие требования 3
4.1 Требования к помещениям 3
4.2 Требования к технологическому оборудованию и оснастке 4
4.3 Требования к материалам 4
4.4 Требования к измерительному инструменту 4
4.5 Требования к обрабатываемым поверхностям деталей 4
4.6 Требования к производственному персоналу 5
4.7 Требования безопасности 5
5 Контроль качества 6
5.1 Общие требования 6
5.2 Качество наплавленных поверхностей 6
5.3 Контроль качества на этапе подготовки к лазерной наплавке 7
5.4 Контроль качества на этапе реализации лазерной наплавки 7
5.5 Контроль качества наплавленных поверхностей 7
6 Подготовка поверхностей деталей к лазерной наплавке 8
7 Требования к технологическому процессу лазерной наплавки 8
7.1 Общие требования 8
7.2 Требования к технологическому режиму 9
7.3 Требования к лазерной наплавке 9
8 Требования к термической обработке 10
9 Требования к механической обработке 10
10 Устранение выявленных дефектов наплавленных поверхностей 10
11 Маркировка и клеймение 10
12 Гарантия 10
Приложение А (рекомендуемое) Параметры технологического оборудования 11
Приложение Б (обязательное) Перечень параметров технологического процесса лазерной наплавки 12
Приложение В (обязательное) Требования к стабильности параметров технологического процесса лазерной наплавки 15
Библиография 16

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Оптика и фотоника

ЛАЗЕРНАЯ НАПЛАВКА МЕТАЛЛИЧЕСКИМИ МАТЕРИАЛАМИ

Технологический процесс

Optics and photonics. Laser surfacing with metal materials. Technological process

Дата введения — 2022—03—01

1 Область применения

Настоящий стандарт устанавливает требования к технологическому процессу (ТП) лазерной наплавки (ЛН), в том числе лазерно-дуговой гибридной наплавки (ЛДН), деталей машин и механизмов металлическими материалами.

Лазерную наплавку выполняют с целью получения геометрических размеров детали и эксплуатационных свойств ее поверхности (износостойкости, коррозионной стойкости, работы при повышенных и пониженных значениях температур и других свойств), заданных конструкторской документацией, а также контроля требований к качеству наплавленного слоя (пористость, несплавления, трещины и др.).

Заготовки новых деталей для улучшения их эксплуатационных свойств и детали, бывшие в эксплуатации, при производстве ремонтно-восстановительных работ подвергают ЛН.

Настоящий стандарт предназначен для конструкторов, технологов, производственных и контрольных мастеров, операторов лазерных установок, осуществляющих ТП ЛН, и других лиц, принимающих участие в проектировании, изготовлении и эксплуатации 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 12.1.040 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 12.4.026 Система стандартов безопасности труда. Цвета сигнальные, знаки безопасности и разметка сигнальная. Назначение и правила применения. Общие технические требования и характеристики. Методы испытаний

ГОСТ 162 Штангенглубиномеры. Технические условия

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

ГОСТ 427 Линейки измерительные металлические. Технические условия

ГОСТ 2789 Шероховатость поверхности. Параметры и характеристики

ГОСТ 6507 Микрометры. Технические условия

ГОСТ 7502 Рулетки измерительные металлические. Технические условия

ГОСТ 7661 Глубиномеры индикаторные. Технические условия

ГОСТ 9450 Измерение микротвердости вдавливанием алмазных наконечников

ГОСТ 10157 Аргон газообразный и жидкий. Технические условия

ГОСТ 10543 Проволока стальная наплавочная. Технические условия

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

ГОСТ 14254 (IEC 60529:2013) Степени защиты, обеспечиваемые оболочками (Код IP)

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 18442 Контроль неразрушающий. Капиллярные методы. Общие требования

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

ГОСТ 21448 Порошки из сплавов для наплавки. Технические условия

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

ГОСТ 26101 Проволока порошковая наплавочная. Технические условия

ГОСТ 30494 Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях

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

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 55724 Контроль неразрушающий. Соединения сварные. Методы ультразвуковые

ГОСТ Р 56512 Контроль неразрушающий. Магнитопорошковый метод. Типовые технологические процессы

ГОСТ Р 57180 Соединения сварные. Методы определения механических свойств, макроструктуры и микроструктуры

ГОСТ Р 58904/ISO/TR 25901-1:2016 Сварка и родственные процессы. Словарь. Часть 1. Общие термины

ГОСТ Р 59421 Оптика и фотоника. Лазерная наплавка металлическими материалами. Термины и определения

ГОСТ Р ИСО 14175 Материалы сварочные. Газы и газовые смеси для сварки плавлением и родственных процессов

ГОСТ Р ИСО 17637 Контроль неразрушающий. Визуальный контроль соединений, выполненных сваркой плавлением

СП 52.13330.2016 «СНиП 23-05-95 Естественное и искусственное освещение»

СП 56.13330.2011 «СНиП 31-03-2001 Производственные здания»

СП 60.13330.2016 «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, определения и сокращения

3.1 Термины и определения

В настоящем стандарте применены термины по ГОСТ Р 59421, ГОСТ Р 58904, ГОСТ 3.1109, а также следующие термины с соответствующими определениями:

3.1.1 **скорость лазерной наплавки:** Скорость, с которой увеличивается длина валика в направлении наплавки.

3.2.2 **скорость подачи:** Скорость, с которой подают наплавочный металл.

Примечания

1 При наплавке проволокой скорость подачи определяют как длину наплавочной проволоки, подаваемой в единицу времени.

2 При наплавке порошком скорость подачи определяют как массу наплавочного порошка, подаваемого в единицу времени.

3.1.3 **технологическое время лазерной наплавки:** Время, в течение которого осуществляют операцию лазерной наплавки.

3.1.4 **производительность операции лазерной наплавки:** Масса наплавленного металла за единицу технологического времени лазерной наплавки.

3.2 Сокращения

В настоящем стандарте применены следующие сокращения:

ВИК — визуально-измерительный контроль;
КД — конструкторская документация;
ЛДГН — лазерно-дуговая гибридная наплавка;
ЛН — лазерная наплавка;
НД — нормативные документы;
ОТК — отдел технического контроля;
ТД — технологическая документация;
ТП — технологический процесс;
ТУ — технические условия.

4 Общие требования

ТП ЛН включает в себя следующие этапы:

- подготовку технологического оборудования и материалов;
- подготовку и механическую обработку деталей;
- реализацию ЛН;
- термическую обработку после ЛН;
- механическую обработку после ЛН;
- контроль качества наплавленных поверхностей;
- устранение выявленных дефектов наплавленных поверхностей.

4.1 Требования к помещениям

ТП ЛН должен быть осуществлен в условиях производственных помещений, оборудованных вентиляцией и отоплением в соответствии с требованиями СП 60.13330, норм проектирования освещения

по СП 52.13330, имеющих весь необходимый перечень оборудования для выполнения наплавочных работ, а также транспортирования деталей, в том числе крупногабаритных.

Производственные помещения должны соответствовать требованиям СП 56.13330, ГОСТ 30494.

4.2 Требования к технологическому оборудованию и оснастке

4.2.1 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.

4.2.2 Для реализации ТП используют лазеры с достаточными энергетическими характеристиками для осуществления ЛН, измерительную аппаратуру, обеспечивающую контроль заданных технологических параметров режима наплавки в процессе обработки.

4.2.3 Технические требования к лазерному оборудованию для проведения процесса ЛН должны быть не хуже значений, указанных в приложении А.

4.2.4 Технологическое оборудование и оснастка должны быть автоматизированы полностью или частично. Технологическое оборудование должно обеспечивать стабильность основных параметров режимов ЛН, возможность их регулирования и контроля.

4.2.5 Вид климатического исполнения технологического оборудования — УХЛ4 по ГОСТ 15150.

4.2.6 Технологическая оснастка должна быть изготовлена из негорючих материалов, обеспечивать надежное крепление обрабатываемой детали и точность позиционирования детали в соответствии с требованиями ТД.

4.2.7 Технологическое оборудование и оснастка должны исключать выход отраженного (диффузного или зеркального) лазерного излучения за пределы рабочей зоны.

4.3 Требования к материалам

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

4.3.2 Выбор наплавочных материалов осуществляет конструкторская организация — разработчик деталей или предприятие, производящее ЛН, с учетом условий эксплуатации (рабочих сред, температуры, удельных давлений).

4.3.3 Предприятие, производящее ЛН, при необходимости, осуществляет согласование марки наплавочных материалов с разработчиком КД на конкретную деталь.

4.3.4 Для ЛН применяют следующие виды наплавочных материалов:

- порошковые материалы по ГОСТ 21448;
- самофлюсующиеся порошковые материалы по ГОСТ 26101, ГОСТ 21448;
- проволока сплошного сечения по ГОСТ 10543;
- порошковая проволока по ГОСТ 26101.

Следует соблюдать условия хранения наплавочных материалов, установленные в ТУ.

4.3.5 В качестве транспортирующего газа при ЛН порошком применяют аргон сорт высший или 1-й по ГОСТ 10157 или те газы в соответствии с требованиями ТП, которые обеспечивают защиту зоны обработки.

4.3.6 В качестве защитных газов применяют аргон или газовую смесь по ГОСТ Р ИСО 14175.

4.4 Требования к измерительному инструменту

4.4.1 Применяемый измерительный инструмент должен соответствовать требованиям ГОСТ 162, ГОСТ 166, ГОСТ 427, ГОСТ 6507, ГОСТ 7502, ГОСТ 7661, ГОСТ 11358, ГОСТ 19300.

4.4.2 Лупы, используемые при визуальном контроле, должны соответствовать требованиям ГОСТ 25706.

4.5 Требования к обрабатываемым поверхностям деталей

4.5.1 ЛН выполняют как на поверхностях новых деталей, так и на изношенных поверхностях. ЛН на поверхности деталей, бывших в эксплуатации, выполняют после проведения их ремонта.

4.5.2 На подготовленных к ЛН поверхностях деталей не должно быть следов коррозии, грязи, масла, краски, дефектов в виде вскрытых пор, раковин, трещин, прожогов, заусенцев.

4.5.3 Значение параметра шероховатости Ra поверхности детали по ГОСТ 2789, подготовленной к ЛН, — не более 6,3 мкм.

4.5.4 До проведения ЛН на поверхностях деталей, бывших в эксплуатации, необходимо выполнить контроль геометрических размеров детали средствами измерений в соответствии с КД.

4.5.5 ЛН допускается выполнять на поверхностях деталей, имеющих износы размерами не более максимальных, установленных в НД на ремонт или техническое обслуживание конкретных деталей. При наличии износов более установленных максимальных размеров предназначенные для ЛН поверхности деталей предварительно следует подвергнуть восстановительной сварке в соответствии с НД для получения слоя с показателями по твердости, приближенными к показателям твердости основного металла, и механической обработке до необходимых размеров.

4.5.6 Детали, восстановленные после эксплуатации, не должны иметь газотермических, гальванических и других покрытий (цементацию, азотирование, хромирование и другие виды химико-термической обработки) или других упрочняющих наплавок на подготовленных к ЛН поверхностях.

4.6 Требования к производственному персоналу

К работе на лазерном технологическом оборудовании допускаются лица не моложе 18 лет, прошедшие обучение, практическую подготовку и аттестацию в соответствии с требованиями НД, имеющие допуск на проведение ТП ЛН.

4.7 Требования безопасности

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

4.7.2 Требования безопасности к конструкции и эксплуатации лазерного технологического оборудования — по ГОСТ 31581, ГОСТ ЕН 12626, ГОСТ 12.1.040 и в соответствии с [1].

4.7.3 Требования безопасности к размещению лазерного технологического оборудования и к помещениям для данного оборудования — по ГОСТ 31581.

4.7.4 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].

4.7.5 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, — не более 0,1 Ом по ГОСТ 12.1.019 и в соответствии с [2].

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

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

4.7.8 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.

4.7.9 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.

4.7.10 Работники, задействованные в ТП ЛН, должны быть обеспечены специальной одеждой, обувью и средствами индивидуальной защиты в соответствии с требованиями НД.

4.7.11 Подъем и перемещение тяжестей (детали массой более 16 кг) следует выполнять с применением подъемных механизмов.

4.7.12 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.

5 Контроль качества

5.1 Общие требования

5.1.1 Контроль качества осуществляют в течение всего ТП ЛН на всех его этапах, включая:
- подготовку деталей к проведению ЛН;
- установку деталей под ЛН;
- реализацию процесса ЛН;
- проверку качества наплавленного слоя;
- процесс устранения выявленных дефектов наплавленных поверхностей.

5.1.2 Контролю подвергают наплавочные материалы, технологическое оборудование и оснастку, качество подготовки поверхностей детали к ЛН, качество полученного наплавленного слоя.

5.1.3 Перед проведением любых методов контроля контролируемая поверхность должна быть подготовлена в соответствии с ТД.

5.1.4 Контроль размеров выполняют с применением специальных шаблонов или измерительного инструмента.

5.1.5 Виды, методы и объем контроля качества должны быть установлены в КД и ТД. Объем проведения неразрушающего контроля (сплошной или выборочный) — в соответствии с КД и ТД. Сплошной контроль проводят по всей протяженности каждого наплавленного слоя. Вне зависимости от объема выборочного контроля подвергают контролю все участки пересечения и сопряжения наплавленных слоев.

5.1.6 Требования к контрольному образцу и образцам-свидетелям должны быть установлены в КД и ТД.

5.1.7 Для обнаружения внутренних и поверхностных дефектов, определения размеров применяют следующие методы контроля.
- визуальные по ГОСТ Р ИСО 17637;
- капиллярные по ГОСТ 18442;
- ультразвуковые по ГОСТ Р 55724;
- магнитопорошковые по ГОСТ Р 56512;
- металлографические по ГОСТ Р 57180.

5.1.8 Контроль металлографическими методами соответствия характеристик наплавленного слоя требованиям КД и измерение твердости следует проводить при выборе и контроле режимов ЛН. Периодичность контроля режима ЛН должна быть установлена в ТД.

5.1.9 Результаты контроля качества регистрируют в протоколе.

5.2 Качество наплавленных поверхностей

5.2.1 Качество наплавленных поверхностей деталей должно соответствовать требованиям КД.

5.2.2 Основные виды дефектов наплавленных поверхностей:
- трещины;
- поры;
- несплавления между валиками и в зоне перехода от основного металла к наплавленному металлу;
- занижения по высоте наплавленного слоя;
- отклонения по твердости;
- незаплавленные участки поверхности при замыкании валиков;
- волнистость поверхности;
- кратеры;
- прожоги.

5.2.3 На границе зоны сплавления наплавленного и основного металлов для всех способов ЛН не допускаются трещины, несплавления валиков, поры и иные дефекты в соответствии с требованиями КД и ТД.

5.2.4 Причинами возникновения дефектов в наплавленном слое являются:
- наличие литейных дефектов деталей;
- некачественная подготовка поверхности детали;
- несоблюдение технологии или режима ЛН;

- низкое качество применяемых для ЛН материалов.

5.3 Контроль качества на этапе подготовки к лазерной наплавке

5.3.1 Перед ЛН ОТК контролирует:

- соответствие размеров и качества подготовки поверхностей требованиям ТП ЛН;
- наличие КД и ТД на ЛН и термическую обработку;
- исправность измерительных приборов и соответствие их установленным требованиям;
- соответствие наплавочных материалов ТУ.

5.3.2 Поверхности деталей должны быть подвергнуты визуальному контролю по ГОСТ Р ИСО 17637 в соответствии с требованиями КД на предмет отсутствия дефектов, указанных в 4.5.2. Визуальный контроль выполняют без применения или с применением лупы увеличением до 10 крат. Выявленные дефекты поверхностей деталей должны быть удалены и исправлены по ТД изготовителя.

5.3.3 Контроль шероховатости поверхности осуществляют путем сравнения с эталонами шероховатости или измерением параметров шероховатости профилографом-профилометром по ГОСТ 19300.

5.3.4 Контроль качества наплавочных материалов и подготовку к ЛН проводят в соответствии с ТУ.

5.4 Контроль качества на этапе реализации лазерной наплавки

5.4.1 Контролю внешним осмотром подвергают все наплавленные поверхности с целью выявления внешних дефектов.

5.4.2 В процессе ЛН выполняют ВИК качества каждого наплавленного слоя после очистки. Результаты ВИК качества каждого наплавленного слоя с указанием размеров толщины регистрируют в протоколе или акте контроля ВИК.

5.5 Контроль качества наплавленных поверхностей

5.5.1 Контроль проводят с целью проверки соответствия качества наплавленной поверхности (форма, геометрические размеры, наличие или отсутствие дефектов) требованиям, установленным в КД.

5.5.2 Контролю внешним осмотром подвергают все наплавленные поверхности с целью выявления дефектов, указанных в 5.2.

5.5.3 Последовательность проведения контроля различными методами устанавливают в КД и ТД, при этом ВИК должен предшествовать контролю всеми другими методами.

5.5.4 При проведении визуального контроля в протоколе регистрируют все дефекты (нормированные и не указанные в ТД). В случаях, допускающих неоднозначность определения наличия дефектов в наплавленном слое, выполняют контрольную проверку лупой увеличением от 7 до 10 крат.

5.5.5 Для выявления трещин в наплавленном слое детали (если установлено в КД) проводят капиллярный контроль в соответствии с ГОСТ 18442. Допускается проведение капиллярной дефектоскопии на поверхности наплавленного металла с припуском 0,5 мм.

5.5.6 Контроль качества наплавленных поверхностей проводят следующим образом:

- определяют геометрические размеры поверхностных дефектов и сопоставляют их с допускаемыми;
- проверяют отклонения геометрической формы наплавляемой поверхности от овальности, параллельности, плоскостности, перпендикулярности;
- определяют деформации и сравнивают их с допускаемыми (предварительной и окончательной стрел прогиба и т. п.);
- измеряют микротвердость по ГОСТ 9450;
- проверяют соответствие характеристик наплавленного слоя требованиям КД на образцах-свидетелях металлографическими методами.

5.5.7 Для контроля толщины наплавленного слоя применяют ВИК. В случаях, допускающих неоднозначность толкования результатов ВИК, определяющими являются результаты испытаний металлографическими методами.

5.5.8 При необходимости допускается проводить дополнительный неразрушающий контроль и разрушающие испытания.

6 Подготовка поверхностей деталей к лазерной наплавке

6.1 Подготовленные к ЛН поверхности деталей должны отвечать требованиям КД изготовителя.

6.2 Поверхности деталей очищают от органических и неорганических загрязнений (жировых и окисных пленок, ржавчины, окалины и других загрязнений) и обезжиривают.

Очистку поверхностей деталей выполняют механизированными способами с применением специального инструмента, армированных абразивных кругов, стальных проволочных щеток, устройств ударного типа и других инструментов.

6.3 Подготовку поверхностей деталей под ЛН рекомендуется выполнять механической обработкой (строжкой, фрезерованием, расточкой и т. п.).

6.4 При необходимости выполняют предварительную механическую обработку поверхностей деталей с целью придания изношенным участкам правильной геометрической формы, устранения дефектов, образовавшихся в процессе эксплуатации, и обеспечения требуемой толщины наплавленного слоя. При выполнении предварительной механической обработки необходимо обеспечить плавные переходы от одного размера к другому за счет выполнения радиусов и притупления острых кромок. Раковины, трещины и другие поверхностные дефекты должны быть предварительно разделаны таким образом, чтобы наносимый материал заполнил углубления без образования пустот.

7 Требования к технологическому процессу лазерной наплавки

7.1 Общие требования

7.1.1 ТП ЛН выполняют по ТД, разработанной на основании рабочих чертежей и настоящего стандарта.

7.1.2 В КД и ТД должен быть установлен технологический режим ЛН — совокупность параметров ТП ЛН. Значения параметров ТП ЛН должны быть установлены в ТД. Перечень параметров ТП ЛН приведен в приложении Б, требования к стабильности параметров ТП ЛН — в приложении В.

Технологический режим ЛН каждого слоя рекомендуется выбирать с учетом обеспечения минимального значения коэффициента перемешивания.

7.1.3 ТП ЛН осуществляют с применением источника энергии со следующими видами излучения:

- импульсное лазерное излучение;
- непрерывное лазерное излучение;
- квазинепрерывное лазерное излучение;
- излучение гибридного источника энергии.

Выбор параметров источника энергии определяют в соответствии с требованиями к производительности ТП ЛН, значениям величины зоны термического влияния и зоны перемешивания, сохранению геометрических размеров наплавляемой детали в поле допуска, к твердости наплавленного слоя.

7.1.4 В ТД на ТП ЛН должны быть указаны:

- методы и объем контроля наплавленного металла на контрольных образцах или образцах-свидетелях (при необходимости);
- эскиз заготовки детали под ЛН;
- твердость наплавленного слоя;
- параметры наплавленного металла (см. приложение Б);
- применяемые способы ЛН;
- квалификация оператора лазерного оборудования;
- используемое оборудование;
- марка основного металла детали;
- марка применяемого наплавочного материала;
- необходимость предварительного и сопутствующего подогревов;
- режим ЛН;
- условия охлаждения деталей после ЛН или условия их пребывания до начала термической обработки;
- режимы термической обработки после ЛН (при их необходимости);
- методы и объем контроля наплавленных поверхностей.

7.1.5 В процессе ЛН ОТК осуществляет постоянный контроль за соблюдением требований к параметрам ТП.

7.1.6 На однотипные детали рекомендуется разрабатывать типовые ТП.

7.1.7 Прилегающие к наплавке поверхности, не подлежащие последующей механической обработке, должны быть защищены от попадания брызг наплавляемого металла.

7.1.8 Необходимость и температура предварительного и сопутствующего подогревов деталей при ЛН, число наплавляемых слоев устанавливают в ТД в зависимости от марки применяемых наплавочных материалов, основного металла, способа наплавки и массогабаритных показателей наплавляемой детали. Значение температуры подогрева уточняют при отработке режимов технологии ЛН и указывают в ТД, или операционных технологических картах, или НД предприятия.

7.1.9 В случае перерыва в работе или при охлаждении детали в процессе ЛН выполняют ее подогрев повторно, поместив деталь в печь.

7.2 Требования к технологическому режиму

7.2.1 В КД и ТД должен быть установлен режим ЛН в соответствии со следующими требованиями к ТП:

- сохранение геометрических размеров наплавляемой детали в поле допуска;
- получение заданных эксплуатационных свойств наплавленного слоя;
- получение наплавленного слоя без дефектов;
- обеспечение минимального припуска на последующую механическую обработку;
- обеспечение высокой технологической прочности наплавленного слоя;
- обеспечение наибольшей производительности ТП.

7.2.2 В КД и ТД устанавливают параметры лазерного излучения и электрической дуги в соответствии со следующими требованиями к ТП:

- обеспечение ЛН в режиме теплопроводности;
- минимальная глубина проплавления основного металла или подслоя;
- минимальный коэффициент перемешивания;
- производительность ЛН,
- обеспечение баз.

7.2.3 В КД и ТД устанавливают скорость ЛН в соответствии со следующими требованиями к ТП:

- обеспечение выполнения ТП при минимальных значениях лазерного излучения;
- обеспечение заданных геометрических параметров наплавленного валика;
- обеспечение стабильности горения дуги.

7.2.4 В КД и ТД устанавливают скорость подачи проволоки в соответствии со следующими требованиями к ТП:

- обеспечение заданной производительности ТП ЛН;
- обеспечение заданных геометрических параметров наплавленного валика.

7.2.5 В КД и ТД устанавливают коэффициент перекрытия в соответствии со следующими требованиями к ТП:

- обеспечение заданной высоты наплавленного слоя;
- обеспечение минимального припуска на последующую механическую обработку.

7.3 Требования к лазерной наплавке

7.3.1 При ЛДГН деталь должна быть надежно заземлена.

7.3.2 Если в КД предусмотрено, то перед ЛН на деталь наносят подслой. Толщина подслоя — от 0,5 до 1,0 мм; твердость подслоя под твердую наплавку — не более 300 НВ.

7.3.3 ЛН первого слоя выполняют с применением технологических режимов, обеспечивающих минимизацию проплавления основного металла или подслоя. При ЛН твердых материалов с целью исключения образования дефектов допускается увеличивать глубину проплавления основного металла либо подслоя.

7.3.4 Коэффициент перекрытия валиков при ЛН — от 0,3 до 0,6.

7.3.5 ЛН цилиндрических деталей выполняют по спирали или с применением других алгоритмов, обеспечивающих полное перекрытие обрабатываемой зоны.

7.3.6 ЛДГН выполняют с применением электрической дуги мощностью, равной мощности луча лазера.

7.3.7 После наплавки каждого слоя (в том числе и подслоя) выполняют очистку поверхности детали от окисных пленок, сварочных брызг, сажи в соответствии с технологической инструкцией предпри-

ятия. Очистку слоя выполняют металлическими щетками или другими способами до металлического блеска. После очистки слоя проводят ВИК качества.

7.3.8 После окончания ЛН оборудование выключают, деталь выводят из-под оптической наплавочной головки, снимают с рабочего стола манипулятора и укладывают на сухой поддон.

7.3.9 Проводят ВИК качества наплавленной детали. При неудовлетворительных результатах ВИК выполняют повторную наплавку с соблюдением требований настоящего стандарта. При удовлетворительных результатах ВИК деталь передают для выполнения последующих термической и механической обработок.

8 Требования к термической обработке

8.1 Для обеспечения заданной твердости и снятия внутренних напряжений наплавленного металла выполняют термическую обработку (при необходимости).

8.2 Необходимость проведения и режимы термической обработки наплавленных деталей определяют в зависимости от марок основного и наплавленного металлов. Режимы термической обработки наплавленных деталей должны быть установлены в ТД с учетом ее влияния на свойства основного и наплавленного металлов.

8.3 Каждую партию термически обработанных наплавленных деталей предъявляют ОТК вместе с диаграммой записи проведенной термической обработки.

8.4 При обнаружении дефектов в наплавленном металле после термической обработки необходимость повторной (дополнительной) наплавки и термической обработки должна быть установлена в ТД.

9 Требования к механической обработке

Механическую обработку после ЛН выполняют в соответствии с требованиями КД и ТД.

Примечание — Способы механической обработки и размеры снимаемого наплавленного слоя определяют после проведения металлографического анализа наплавленного контрольного образца (образца-свидетеля) или неразрушающего контроля наплавленного слоя.

10 Устранение выявленных дефектов наплавленных поверхностей

10.1 Устранение дефектов наплавленного слоя, указанных в 5.2.2, выполняют в соответствии с ТД и КД.

10.2 Устранение дефектов наплавленного слоя выполняют в следующем порядке:

- удаляют дефектный металл и контролируют полноту его удаления;
- выбирают способ наплавки и марку наплавочных материалов;
- зачищают и обезжиривают поверхности под ЛН;
- выполняют ЛН, при необходимости термообработку и контроль исправленных дефектов.

10.3 Исправление наплавленного слоя допускается не более двух раз.

11 Маркировка и клеймение

После проведения ЛН на детали ударным, лазерным и другими способами в местах, указанных в КД, наносят следующую маркировку:

- букву «У» (упрочненная);
- личный номер работника, выполнявшего ЛН;
- товарный знак предприятия (при наличии);
- месяц и две последние цифры года проведения ЛН.

Пример нанесения маркировки:

«У» 01.***.02.21.

12 Гарантия

Срок гарантии по качеству наплавленного слоя устанавливают в соответствии с требованиями законов и нормативных актов, согласованных с национальным органом по безопасности.

Приложение А
(рекомендуемое)

Параметры технологического оборудования

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

Таблица А.1

Наименование параметра		Значение
Оптические параметры:		
- нестабильность мощности, %, не более	за 2 ч	±2,0
	за 8 ч	±2,5
Данные о подключении:		
- напряжение питания, В		380 (три фазы)
- частота питающего напряжения, Гц		50
Внешние входы (с защитными блокировками):		
- напряжение цифрового входа, В		24
- диапазон входного аналогового напряжения, В		0—10
Условия эксплуатации:		
- рабочий диапазон температуры воздуха, °С		От 5 до 45
- диапазон температуры воздуха при хранении, °С		От –40 до +75
- верхний предел относительной влажности* воздуха при температуре 40 °С, %, не более		95
Степень защиты по ГОСТ 14254		IP54
Класс безопасности лазера по ГОСТ IEC 60825-1		4
Опции:		
- интерфейс		Ethernet, RS232
- оптика		Лазерная
Прочее		Телесервис, пилотный лазер, пирометр, ПЗС-камера, программное обеспечение для ПК
* Конденсация влаги недопустима.		

Приложение Б
(обязательное)

Перечень параметров технологического процесса лазерной наплавки

Параметры ТП ЛН приведены в таблице Б.1.

Таблица Б.1

Наименование параметра	Обозначение
1 Параметры лазерного излучения:	
- длина волны лазерного излучения, мкм	λ
- непрерывное лазерное излучение	—
- импульсное лазерное излучение	—
- расходимость(направленность) лазерного излучения, мрад	θ
- качество пучка лазерного излучения, мм·мрад	BPP
- мощность непрерывного лазерного излучения, Вт	$P_л$
- плотность мощности лазерного излучения, Вт/см^2	$W_р$
- энергия импульса лазерного излучения, Дж	$E_и$
- длительность импульса лазерного излучения, мс	$\tau_{и\,i}$
- частота следования импульсов, Гц	f_i
- форма импульса*	Задает оператор
- распределение плотности мощности лазерного излучения по пятну на обрабатываемой поверхности для обоих режимов работы лазера	Близкое к равномерному распределению
- распределение плотности мощности лазерного излучения по пятну на обрабатываемой поверхности	Близкое к распределению Гаусса или к равномерному распределению
2 Оптические параметры:	
- фокусное расстояние, мм	F
- дефокусировка луча лазера, мм	ΔF
- длина перетяжки луча лазера, мм	ΔZ
- диаметр сфокусированного луча лазера в фокальной плоскости, мм	d_f
- диаметр пятна лазерного излучения (на обрабатываемой поверхности), мм	$d_п$
- частота сканирования луча лазера, Гц	f

Продолжение таблицы Б.1

Наименование параметра	Обозначение
- амплитуда сканирования луча лазера, мм	A
- траектория (схема) сканирования луча лазера	—
3 Параметры производительности:	
- скорость наплавки, м/с	$V_н$
- скорость подачи проволоки, м/с	$V_{п.пр}$
- коэффициент наплавки. (производительность наплавки приходящейся на единицу мощности), кг/час·кВт	$П_0$
- производительность наплавки, кг/ч	П
- коэффициент использования материала (КИМ), %	β
- скорость перемещения детали с плоской поверхностью или фокусирующей оптической головки, мм/с	$V_п$
- скорость продольного перемещения цилиндрической детали или фокусирующей оптической головки, мм/с	$V_{п.п}$
- угловая скорость перемещения цилиндрической детали, 1/с	ω
4 Геометрические параметры технологического процесса:	
- угол наклона луча лазера, град	α
- угол наклона наплавочной головки вдоль оси X, град	$\beta_г$
- угол наклона присадочной проволоки вдоль оси X, град	$\beta_п$
- расстояние от торца присадочной проволоки до наплавляемой поверхности, мм	L_1
- вылет присадочной проволоки, мм	L_2
5 Параметры электрической дуги:	
- напряжение, В	$U_д$
- ток, А	$I_д$
- мощность, кВт	$P_д$
6 Защитные газы:	
- вид защитного газа или смеси газов	—
- расход защитных газов, л/мин	Q

Окончание таблицы Б.1

Наименование параметра	Обозначение
7 Наплавляемые материалы:	
- марка стали или сплава наплавляемой детали	—
- марка сварочной проволоки или порошка для наплавки подслоя	—
- марка сварочной проволоки или порошка для наплавленного слоя	—
- диаметр сварочной проволоки, мм	D
- дисперсность наплавочного порошка, мкм	b
- коэффициент потерь при наплавке (коэффициент использования присадочного металла)	—
8 Параметры наплавленного слоя	
- толщина наплавленного подслоя, мм	$h_{н.п}$
- толщина наплавленного слоя (с учетом толщины подслоя), мм	$h_{н.с}$
- твердость подслоя	HB
- твердость наплавленного слоя	HR
- распределение твердости по толщине наплавленного слоя	—
- толщина зоны термического влияния, мм	$h_{з}$
- глубина зоны перемешивания с основным материалом, мм	$h_{з.пр}$
- глубина зоны перемешивания с подслоем, мм	$h_{п.п}$
- коэффициент перемешивания наплавленного подслоя	$K_{пн.п}$
- высота наплавленного валика, мм	$h_{в}$
- ширина наплавленного валика, мм	d
- коэффициент формы валика	$K_{ф}$
- коэффициент перекрытия наплавляемых валиков	$K_{п.в}$
- припуск на последующую механическую обработку, мм	Δh
- толщина наплавленного слоя после механической обработки, мм	H
* Если предусмотрено источником питания и системой управления.	

Приложение В
(обязательное)

Требования к стабильности параметров технологического процесса лазерной наплавки

Требования к стабильности параметров ТП ЛН приведены в таблице В.1.

Таблица В.1

Наименование параметра	Нестабильность, %, не более
Мощность лазерного излучения:	
- за 2 ч	±2,0
- за 8 ч	±2,5
Скорость для плоских поверхностей:	
- перемещения детали или фокусирующей оптической головки за 8 ч	±1,0
Скорость для цилиндрических поверхностей:	
- вращения детали за 8 ч	±1,0
- продольного перемещения детали или фокусирующей оптической головки за 8 ч	±1,0

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 621.785:006.85:006.354 ОКС 25.200

Ключевые слова: оптика и фотоника, лазерная наплавка металлическими материалами, технологический процесс

Редактор *Л.С. Зимилова*
Технический редактор *И.Е. Черепкова*
Корректор *Р.А. Ментова*
Компьютерная верстка *А.Н. Золотаревой*

Сдано в набор 13.10.2021. Подписано в печать 25.10.2021. Формат 60×84⅛. Гарнитура Ариал.
Усл. печ. л. 2,32. Уч.-изд. л. 2,10.

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.
gost.e-ecolog.ru gost.e-ecolog.ru

gost.e-ecolog.ru