ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО

ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**ГОСТ Р 72454— 2025**

# ОКСИДИРОВАНИЕ ТЕРМИЧЕСКОЕ ДЕТАЛЕЙ СУДОВОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ ИЗ ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ

## Общие технические требования

**Издание официальное**

**Москва**
**Российский институт стандартизации**
**2026**

gost.e-ecolog.ru

## Предисловие

1 РАЗРАБОТАН Федеральным государственным унитарным предприятием «Центральный научно-исследовательский институт конструкционных материалов «Прометей» имени И.В. Горынина Национального исследовательского центра «Курчатовский институт» (НИЦ «Курчатовский институт» — ЦНИИ КМ «Прометей»)

2 ВНЕСЕН Техническим комитетом по стандартизации ТК 005 «Судостроение»

3 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 12 декабря 2025 г. № 1713-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 «Институт стандартизации», 2026

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 . . . . . 2
4 Общие требования . . . . . 2
5 Требования к оксидируемым деталям . . . . . 3
6 Типовой технологический процесс оксидирования . . . . . 6
7 Методы контроля процесса оксидирования и его качества . . . . . 8
8 Дефекты оксидирования и степень их допустимости . . . . . 10
9 Требования безопасности и охраны окружающей среды . . . . . 13
Приложение А (справочное) Методика измерения подповерхностной микротвердости и глубины слоя на образцах-свидетелях оксидированных сплавов . . . . . 15
Библиография . . . . . 17

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

# ОКСИДИРОВАНИЕ ТЕРМИЧЕСКОЕ ДЕТАЛЕЙ СУДОВОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ ИЗ ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ

**Общие технические требования**

Thermal oxidation of parts of marine and power engineering made of titanium alloys. General technical requirements

**Дата введения — 2026—04—01**

## 1 Область применения

Настоящий стандарт устанавливает технические требования к технологии оксидирования титановых сплавов, подготовительным операциям, контролю процесса и качества оксидирования, исправлению дефектов.

Настоящий стандарт распространяется на поверхностную обработку насыщением кислородом деталей судового машиностроения с целью:

- повышения антифрикционных свойств трущихся поверхностей деталей из титановых сплавов, работающих в условиях трения скольжения и трения качения (антифрикционное оксидирование);
- получения на поверхности деталей из титановых сплавов защитного слоя с электроизолирующими свойствами (защитное оксидирование).

## 2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы нормативные ссылки на следующие документы:

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 12.3.004 Система стандартов безопасности труда. Термическая обработка металлов. Общие требования безопасности

ГОСТ 12.3.009 Система стандартов безопасности труда. Работы погрузочно-разгрузочные. Общие требования безопасности

ГОСТ 12.4.009 Система стандартов безопасности труда. Пожарная техника для защиты объектов. Основные виды. Размещение и обслуживание

ГОСТ 12.4.021 Система стандартов безопасности труда. Системы вентиляционные. Общие требования

ГОСТ 1759.2 Болты, винты и шпильки. Дефекты поверхности и методы контроля

ГОСТ 2850 Картон хризолитовый. Технические условия

ГОСТ 5279 Графит кристаллический литейный. Технические условия

ГОСТ 8295 Графит смазочный. Технические условия

ГОСТ 9450 Измерение микротвердости вдавливанием алмазных наконечников

ГОСТ 16272 Пленка поливинилхлоридная пластифицированная техническая. Технические условия

ГОСТ 17299 Спирт этиловый технический. Технические условия

ГОСТ 27265—87 Проволока сварочная из титана и титановых сплавов. Технические условия

ГОСТ 28818 Материалы шлифовальные из электрокорунда. Технические условия

**Издание официальное**

ГОСТ 29298—2005 Ткани хлопчатобумажные и смешанные бытовые. Общие технические условия

ГОСТ Р 71448 Оптика и фотоника. Шероховатость поверхности. Параметры и типы направлений неровностей поверхности

ГОСТ Р ЕН 13018 Контроль визуальный. Общие положения

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

Примечание — При пользовании настоящим стандартом целесообразно проверить действие ссылочных стандартов (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 В настоящем стандарте применены следующие термины с соответствующими определениями:

3.1.1 **оксидирование:** Процесс насыщения поверхности деталей кислородом.

3.1.2 **высокотемпературное оксидирование:** Окисление на воздухе при температуре от 835 °С до 865 °С, завершающееся охлаждением деталей в воде.

3.1.3 **низкотемпературное оксидирование:** Окисление при температурах от 730 °С до 760 °С и от 780 °С до 810 °С, завершающееся медленным охлаждением деталей в печи.

3.1.4 **оксидирование в графите:** Окисление деталей, упакованных в графит, при температуре от 785 °С до 815 °С.

3.1.5 **двойное оксидирование:** Процесс, состоящий из двух последовательных видов оксидирования: высокотемпературного и затем низкотемпературного.

3.1.6 **защитное оксидирование:** Оксидирование при температуре от 720 °С до 750 °С и от 780 °С до 810 °С, завершающееся охлаждением деталей в печи.

3.2 В настоящем стандарте применены следующие сокращения:

КД — конструкторская документация;

ЛВЖ — легковоспламеняющаяся жидкость;

ОТК — отдел технического контроля;

ППД — поверхностно-пластическое деформирование;

ТД — технологическая документация.

## 4 Общие требования

4.1 Выбор вида оксидирования для каждого конкретного сплава следует проводить по таблице 1 с учетом его оксидируемости по различным режимам, условий работы детали и технологических факторов, влияющих на выбор режимов.

Таблица 1 — Виды оксидирования

| Вид оксидирования | Марка сплава | Оксидируемые детали и технологические особенности |
|---|---|---|
| Низкотемпературное оксидирование на воздухе, Н/о | ПТ-1М (ВТ1-0, ВТ1-00), 3М, ТЛ3, ПТ-7М, 19 | Детали простой и сложной конфигурации, детали с наибольшим отношением длины к диаметру, равным 50, выполненные с допусками на размеры не выше 6-го квалитета.<br>Не рекомендуются для деталей из сплавов марки ПТ-1М (ВТ1-0, ВТ1-00) с шероховатостью поверхности по параметру *Ra* не более 0,63 мкм по ГОСТ Р 71448 |

*Окончание таблицы 1*

| Вид оксидирования | Марка сплава | Оксидируемые детали и технологические особенности |
|---|---|---|
| Оксидирование в графите (Огр) | 3М, ПТ-3В, 19, 40, 37 | Детали простой и сложной конфигурации, детали с наибольшим отношением длины к диаметру, равным 50, выполненные с допусками на размеры не выше 6-го квалитета.<br>Не рекомендуются для деталей из сплавов марки ПТ-1М (ВТ1-0, ВТ1-00) с шероховатостью поверхности по параметру *Ra* не более 0,63 мкм по ГОСТ Р 71448 |
| Высокотемпературное оксидирование на воздухе (Вто) | ПТ-1М (ВТ1-0, ВТ1-00), 3М, ПТ-7М | Детали простой конфигурации, не склонные к поводкам, имеющие отверстия диаметром более 30 мм, с отношением длины к диаметру менее 10, выполнены с допусками на размер грубее 11-го квалитета |
| Двойное оксидирование (Дво) | 3М | Детали простой конфигурации, не склонные к поводкам, имеющие отверстия диаметром более 30 мм, с отношением длины к диаметру менее 10, выполнены с допусками на размер грубее 11-го квалитета |
| Защитное оксидирование (Зо) | ПТ-1М (ВТ1-0, ВТ1-00), 3М, ТЛ5, ПТ-7М, 19, ТЛ3, 5В, 40, ПТ-3В | Детали простой и сложной конфигурации, детали с бóльшим отношением длины к диаметру, выполненные с допусками на размеры не выше 6-го квалитета |

4.2 Сплав марки ПТ-3В в узлах трения работает хуже, чем сплав марки 3М и другие оксидируемые сплавы. Например, при трении оксидированных в графите сплавов марок 3М и ПТ-3В в паре с бронзой марки ОФ10-1 в воде (удельная нагрузка = 40 МПа, скорость перемещения = 0,2 м/с) работоспособность сплава марки 3М в два раза выше, чем у сплава марки ПТ-3В.

4.3 В технических требованиях чертежей деталей должны быть указаны вид оксидирования и поверхности, подлежащие контролю после оксидирования.

Например: «Оксидирование (низкотемпературное, в графите, защитное, …) согласно ГОСТ Р... . Контроль качества оксидирования осуществлять по поверхностям …».

При этом поверхности, дополнительная обработка которых (со снятием слоя металла) чертежом не предусмотрена, контролю качества не подлежат.

4.4 Сварные детали, прошедшие термическую обработку, не подлежат высокотемпературному оксидированию.

4.5 Высокотемпературное оксидирование деталей с глухими отверстиями и сквозными отверстиями диаметром менее 30 мм не назначают.

4.6 Оксидированный слой, образованный при низкотемпературном, высокотемпературном и двойном оксидировании, обладает электроизолирующими свойствами.

## 5 Требования к оксидируемым деталям

5.1 Механическую обработку поверхности деталей с допусками на размеры больше 9-го квалитета, подлежащих оксидированию, следует проводить до чертежных размеров без специальных припусков на оксидирование.

5.2 Участки деталей, подлежащие защитному оксидированию, после механической обработки должны иметь шероховатость поверхности по параметру *Ra* не более 12,5 мкм по ГОСТ Р 71448.

5.3 Участки оксидируемых деталей, подвергающиеся трению, должны иметь шероховатость по параметру *Ra* не более 2,5 мкм, а для работы с резиной и углеграфитами — в диапазоне 0,2—0,63 мкм.

Для резьбовых поверхностей допускается шероховатость по параметру *Ra* не более 3,2 мм.

Оксидируемые детали следует полировать пастой ПХЗ (типа ГОИ) или аналогичного типа. Применять сапфировую и алмазную пасты не допускается.

Допускается обработка оксидируемых деталей методом ППД многороликовыми раскатами планетарного типа.

5.4 После оксидирования рабочие трущиеся поверхности деталей механической обработке не подвергают.

Исключение составляют уплотнительные поверхности арматуры, которые притираются до и после оксидирования. Поверхности, работающие в паре с резиной (уплотнение) и углеграфитами, полируют после оксидирования со съемом металла (окисной пленки) на глубину не более 5 мкм до появления пленки низших окислов черно-серого цвета. Допускается разнотонность цвета и появление отдельных пятен с металлическим блеском.

Полировку осуществляют пастами ПХЗ (типа ГОИ) на войлоке. Допускается механическая обработка неконтролируемых деталей после оксидирования.

5.5 Защитное оксидирование участков трубопроводов следует выполнять после проведения трубогибочных и сварочных работ.

5.6 Для деталей с размерами, выполняемыми с допусками по квалитетам 6—9, в случае необходимости предусматривают припуски или уменьшение размеров детали по 5.16.

5.7 На подлежащих оксидированию рабочих поверхностях деталей недопустимо наличие задиров, выбоин и нагартованных участков (следы от кулачков, люнетов и других приспособлений) во избежание при последующем оксидировании возникновения язв, шелушения и оплавления на местах вмятин, задиров и натиров от стального инструмента.

5.8 На оксидируемых деталях не допускается наличие острых кромок, глубоких царапин, рисок, подрезов и заусенцев (особенно на резьбе, на заходах резьбы штуцеров). Все выточки, радиусы и острые кромки должны быть скруглены.

5.9 При оксидировании деталей сложной конфигурации и с большим отношением длины к диаметру (более 10), кроме связанного с поверхностным насыщением изменения размеров деталей, возможны деформации (поводки), величина которых зависит от жесткости детали, режима оксидирования, а также от интенсивности остаточных напряжений, обусловленных предшествующей обработкой.

5.10 Для стабилизации размеров деталей сложной конфигурации с большим отношением длины к диаметру перед оксидированием необходимо произвести отжиг, снижающий внутренние напряжения, возникающие при механической обработке. Детали перед отжигом должны быть обработаны с припуском от 1 до 5 мм на сторону.

Отжиг следует осуществлять в электрических печах при температуре на 10 °С — 20 °С выше температуры оксидирования.

5.11 Для свариваемых деталей допускается совмещение отжига после сварки и отжига, стабилизирующего размеры, в единый отжиг, выполняемый при температуре на 10 °С — 20 °С выше, чем температура последующего оксидирования.

5.12 Для оксидирования сварных деталей простой конфигурации, для изготовления которых не требуется проведение отжига, стабилизирующего размеры, допускается совмещение отжига после сварки с последующим оксидированием.

5.13 Для особенно точных деталей перед оксидированием предусматривают два или более последовательных отжига, чередующихся с механической обработкой с постепенно уменьшающимся припуском.

5.14 Детали, свариваемые после оксидирования, должны иметь на поверхностях, подлежащих сварке, припуск для удаления оксидированного слоя механической обработкой перед сваркой. Оксидированный слой должен быть удален на глубину:

- не менее 100 мкм — при антифрикционном оксидировании. Контроль полноты выполняют путем измерения геометрических размеров;
- до металлического блеска — при защитном оксидировании. Контроль полноты удаления выполняют визуально.

Ширина удаления слоя должна превышать ширину сварного шва не менее чем на 20 мм.

5.15 Термообработку для снятия сварочных напряжений деталей, подлежащих защитному оксидированию, не проводят (например, трубы).

5.16 Изменение размеров при низкотемпературном оксидировании на воздухе сплавов марок ПТ-1М (ВТ1-0, ВТ1-00), 3М, ТЛ3, ПТ-7М, 19 и при оксидировании в графите сплавов марок 3М, ПТ-3В, 19, 40 находится в диапазоне 0,005—0,007 мм, а сплава 37 — в диапазоне 0,003—0,005 мм (увеличение тела основного металла) на сторону независимо от размера детали.

При высокотемпературном оксидировании сплавов марок ПТ-1М, 3М и ПТ-7М изменение размеров должно находиться в диапазоне минус 0,012—0,014 мм (убыль тела основного металла) на сторону независимо от размера детали.

При двойном оксидировании деталей из сплава марки 3М изменение размеров находится в диапазоне 0,007—0,009 мм (убыль тела детали).

Изменение размеров деталей из сплавов марок ПТ-1М, 3М, ПТ-7М, 19,40, ПТ-3В, ТЛ3, ТЛ5, 5В при защитном оксидировании находится в диапазоне 0,003—0,005 мм (увеличение тела основного металла).

Необходимо учитывать, что изменение среднего диаметра резьбы $\Delta d$ может быть значительнее изменения других размеров детали на сторону по нормали к поверхности, поскольку изменение среднего диаметра $\Delta d$, мм, вычисляют по формуле

$$\Delta d = \frac{2\Delta h}{\sin \alpha/2}, \quad (1)$$

где $\Delta h$ — изменение размера по нормали к поверхности, мм;

$\alpha$ — угол при вершине резьбы, град.

Таким образом, при $\alpha/2 = 30°$ величина $\Delta d$ оказывается в четыре раза больше величины $\Delta h$.

Следовательно, максимальные изменения среднего диаметра для метрической резьбы деталей из сплавов типа ПТ-3В находятся в диапазоне:

- до 0,020 мм (прирост среднего диаметра наружной резьбы детали и уменьшение среднего диаметра внутренней резьбы) — при низкотемпературном оксидировании;
- 0,048—0,056 мм (убыль среднего диаметра наружной резьбы детали и увеличение среднего диаметра внутренней резьбы) — при высокотемпературном оксидировании.

Изменение размеров резьбы следует учитывать при проектировании, ограничивая его в чертежах.

При оксидировании деталей со шлицевым эвольвентным зацеплением, шестерен, зубчатых колес и червяков изменение среднего диаметра может быть подсчитано аналогично в зависимости от его угла зацепления.

Примечание — В сопряжениях деталей, допуски на изготовление которых лежат в диапазоне изменений размеров при оксидировании, указанных в настоящем пункте, с разрешения главного конструктора завода допускается изменение предельных размеров деталей на величину до ± 0,030 мм при условии сохранения посадок.

5.17 Шероховатость поверхности деталей по параметру *Ra* до 0,16 мкм включительно по ГОСТ Р 71448 при оксидировании не нарушается. На грубых поверхностях с шероховатостью по параметру *Ra* в диапазоне 80—200 мкм (обдирка) после оксидирования возможно шелушение окисной пленки, которое не является браковочным признаком.

5.18 При проектировании оксидируемых деталей особому рассмотрению подлежит вопрос о правильном размещении на поверхности детали окисленного слоя с определением мест, на которых сохранение слоя недопустимо в связи с падением предела выносливости и длительной прочности деталей в результате оксидирования.

Оксидирование в режимах настоящего стандарта не опасно для стандартных механических свойств сплавов марок ПТ-1М, 3М, ПТ-3В, ТЛ3, ТЛ5, ПТ-7М, 19, 40, 37 и 5В. Предел выносливости на базе $10^7$ циклов этих сплавов под влиянием оксидирования понижается на 25 % — 50 % в зависимости от габаритов детали, концентраторов напряжений, вида нагружения и наличия агрессивной среды. Длительная прочность при испытаниях на воздухе оксидированных сплавов на 7 % — 10 % ниже, чем у неоксидированных. Под влиянием морской воды и концентратора напряжений длительная прочность оксидированного сплава 19 падает на 50 % — 60 %.

Поверхности деталей, оксидирование которых недопустимо, должны быть указаны в чертеже. Эти поверхности необходимо защищать от насыщения назначением специальных припусков не менее 0,5 мм на сторону, удаляемых после оксидирования путем механической обработки резанием.

5.19 Детали перед оксидированием следует тщательно обезжирить во избежание неоднородного насыщения поверхности при оксидировании или местного нарушения прочности связи окисной пленки с металлом.

Проявитель (каолин) после проведения цветной дефектоскопии сварных швов должен быть смыт непосредственно после контроля перед обезжириванием.

При любом обезжиривании окончательной операцией должна быть протирка деталей сухой чистой бязью по ГОСТ 29298. Обезжиренные детали брать без применения защитных средств запрещается. Упаковку обезжиренных деталей и укладку их перед оксидированием следует выполнять в чистых бязевых перчатках.

При обезжиривании полированных деталей с шероховатостью поверхности по параметру *Ra* не менее 0,32 мкм по ГОСТ Р 71448 допускается применять спирт по ГОСТ 17299 из расчета 0,0002 л на 1 $см^2$ площади поверхности.

При транспортировании из цеха в цех обезжиренные детали должны тщательно упаковываться в чистую бязь или полиэтилен по ГОСТ 16272.

5.20 Крепеж следует оксидировать в состоянии поставки, после оксидирования — контролировать поверхность резьбы.

5.21 Кернение и маркирование деталей, подлежащих оксидированию, следует осуществлять до оксидирования.

5.22 Клеймо ОТК, свидетельствующее о выполнении всех требований чертежа и технических условий, допускается наносить после оксидирования на нерабочие поверхности детали. При этом осыпание окалины (окисной пленки) в месте клеймения не является браковочным признаком. Для увеличения клейм рекомендуется предварительная зачистка наждачным кругом мест под клеймение.

5.23 При оксидировании конструкций недопустимо наличие в них деталей, изготовленных из стали, бронзы и других материалов, кроме титановых сплавов.

5.24 Допускается подвергать защитному оксидированию трубы с приваренными к ним фланцами и другими деталями, ранее оксидированными по низкотемпературному режиму или в графите.

5.25 Наличие сварных швов на оксидируемых поверхностях трения недопустимо. Исключение составляют отдельные детали, по условиям изготовления которых необходимо применение сварки, или крупногабаритные детали с распространенными поверхностями трения, которые не могут быть изготовлены из одной заготовки. Для сварки указанных деталей в качестве присадки следует применять сварочную проволоку марок ВТ1-00 св. и ПТ-7М св. по ГОСТ 27265—87. Чертежи таких крупногабаритных деталей рекомендуется согласовывать с головной материаловедческой организацией в судостроении.

Механическая зачистка сварных швов для удаления оксидированного слоя не обязательна. В местах заварки дефектов после оксидирования допускается разнотонность.

5.26 Допускается подвергать защитному оксидированию сварные детали с расположением сварного шва на контролируемой поверхности.

5.27 Если антифрикционному оксидированию подлежит одна из двух или нескольких в последующем свариваемых деталей, оксидирование соответствующих деталей производят до сварки, при этом в области разделки под сварку оксидированный слой должен быть полностью удален до сварки в соответствии с требованиями 5.14.

## 6 Типовой технологический процесс оксидирования

6.1 Оксидирование следует осуществлять в электрических, муфельных, камерных или шахтных печах в атмосфере воздуха. В рабочей зоне печного пространства перепад температур не должен превышать 30 °С (разница между максимальным и минимальным значениями температур в печи). Применение для оксидирования печей с силитовыми нагревателями недопустимо.

6.2 Оксидируемые детали следует укладывать на поддоны из нержавеющей стали с прокладками из асбеста по ГОСТ 2850, прокаленного при температуре от 800 °С до 900 °С в течение не менее 1 ч с охлаждением на воздухе. Допускается неоднократное использование асбеста с его прокаливанием перед оксидированием деталей.

Контролируемые поверхности деталей не должны соприкасаться между собой и с оснасткой. Инструмент и оснастка, необходимые для загрузки и выгрузки деталей, должны быть изготовлены из сплавов марок ПТ-1М или 3М, а инструмент из нержавеющей стали должен быть изолирован асбестом в местах соприкосновения с деталями.

6.3 Оксидируемые в графите детали должны быть упакованы в контейнеры с графитом. Для упаковки деталей в графит следует применять контейнеры из жаростойкой стали без крышек. Детали засыпают смазочным графитом марок ГС-1, ГС-2, ГС-3 по ГОСТ 8295—73 или графитом марок ГЛ-1 и ГЛ-2 по ГОСТ 5279—74.

6.4 Графит, в который закладывают детали, не должен иметь посторонних примесей. Перед проведением процесса оксидирования графит следует прокалить в любой электрической печи при температуре от 900 °С до 950 °С не менее 12 ч. Верхний слой сгоревшего графита следует удалить.

6.5 Графит допускается использовать многократно. Если промежутки между обработкой партий деталей будут более 3 сут, графит необходимо снова прокалить в течение 5—6 ч при температуре от 900 °С до 950 °С.

6.6 Детали следует закладывать в графит на расстояние от 15 до 20 мм друг от друга, от стенок и от дна контейнера. Верхний слой графита должен быть толщиной от 100 до 300 мм. Насыпать графит следует свободно, без утрамбовки.

6.7 Детали, поддоны и контейнеры с деталями загружают в тщательно очищенную от песка и окалины холодную печь или нагретую не выше температуры оксидирования.

6.8 Время выдержки при оксидировании на воздухе следует отсчитывать с момента полного прогрева садки до заданной температуры по печному термопреобразователю. Детали выдерживают при этой температуре заданное время.

При оксидировании в графите для каждого ящика рекомендуется установить время прогрева с помощью контрольного термопреобразователя, зачеканенного в образец-свидетель. Прогрев ящика следует заканчивать при достижении температуры от 780 °С до 790 °С по показаниям контрольного термопреобразователя.

6.9 Загрузку деталей ажурной конфигурации, подверженных короблению и деформации, рекомендуется осуществлять в печь, нагретую до температуры не выше 500 °С. Нагрев до температуры оксидирования следует проводить со скоростью не более 100 °С /ч. Детали с большим отношением длины к диаметру (более 10), склонные к короблению, рекомендуется оксидировать в вертикальном (подвешенном) состоянии.

6.10 Для деталей, подлежащих низкотемпературному оксидированию, нагрев и выдержка должны осуществляться:

- для сплавов ПТ-1М, 3М, ТЛ3, ВТ3-1 — при температуре от 780 °С до 810 °С в течение 55—60 мин;
- для сплава 19 — при температуре от 730 °С до 760 °С в течение 10—12 ч;
- для сплава ПТ-7М — при температуре от 780 °С до 810 °С в течение 5—6 ч.

6.11 В целях повышения прочности связи пленки окислов с основным металлом или снижения величины изменения размеров точных деталей (квалитеты 6—9) низкотемпературное оксидирование сплавов марок ПТ-1М, 3М, ТЛ3 разрешается осуществлять при температуре от 730 °С до 760 °С с выдержкой 8—10 ч.

6.12 Охлаждение после низкотемпературного оксидирования должно производится с печью до температуры от 300 °С до 400 °С, дальнейшее охлаждение разрешается вести на воздухе. Можно ускорить охлаждение, приоткрывая дверцу печи на 20—30 мм, начиная с температуры 600 °С.

Ускоренное охлаждение для тонкостенных и длинномерных конструкций недопустимо.

6.13 Оксидирование в графите сплавов марок 3М, ПТ-3В, 19, ВТ3-1, 37 и 40 должно осуществляться при температуре от 785 °С до 815 °С с выдержкой не менее 3 ч. По окончании выдержки коробки вынимают из печи и охлаждают вместе с деталями на воздухе. Из коробок детали следует вынимать при температуре не выше 50 °С.

После оксидирования детали следует очистить от пригоревшего графита жесткими волосяными щетками.

6.14 Для деталей из сплавов марок ПТ-1М, 3М и ПТ-7М, подлежащих высокотемпературному оксидированию, нагрев и выдержка должны осуществляться при температуре от 835 °С до 865 °С в течение 5—6 ч.

6.15 Для удаления белесо-желтой окалины, образующейся при высокотемпературном оксидировании, детали по окончании выдержки необходимо замачивать в воде с температурой не выше 30 °С. При этом не следует допускать подстуживания деталей перед замачиванием в воде. Рекомендуется для предохранения деталей от подстуживания при высокотемпературном оксидировании за 10—15 мин до окончания выдержки повысить температуру нагрева на 10 °С — 20 °С.

Детали после замачивания в случае необходимости следует очищать металлическими щетками или другими средствами до полного удаления белесой или желтоватой окалины без повреждения оксидированного слоя.

6.16 Защитное оксидирование деталей из сплавов марок ПТ-1М, 3М, ПТ-7М, 19, 40, ТЛ3 и ТЛ5 должно осуществляться при температуре от 720 °С до 750 °С с выдержкой не менее 3 ч, а сплава 5В — при температуре от 780 °С до 810 °С с выдержкой 1 ч. Охлаждение деталей следует проводить с печью до температуры от 200 °С до 350 °С, затем — на воздухе.

6.17 Участки труб сложной конфигурации после холодной гибки, для которых недопустимы изменения углов погибов, должны быть загружены в печь для оксидирования в зафиксированном состоянии.

В качестве материала для крепежной оснастки разрешается использовать углеродистые и нержавеющие стали с прокладками из отожженного асбеста, а также из сплавов типа 3М.

6.18 Детали с наплавкой присадочными материалами марок В-32 и ВМ-40 и окисленным сплавом ПТ-7М допускается оксидировать по низкотемпературному режиму в графите. Режим оксидирования выбирают по материалу детали.

На сварных деталях, изготовленных из сплавов марок ЗМ и ПТ-3В, после низкотемпературного оксидирования допускается наличие рыжевато-коричневого оттенка на контролируемых поверхностях части детали из сплава ЗМ.

6.19 Сварные детали в сборе из сплавов марок ПТ-7М (резьба) и ЗМ (ТЛ3 и др.) или ПТ-1М следует оксидировать по низкотемпературному режиму при температуре от 730 °С до 760 °С в течение 7—10 ч или при температуре от 780 °С до 810 °С в течение 55—60 мин.

Сплавы марок ПТ-1М, ПТ-7М, ЗМ и ПТ-3В могут использоваться в сварной детали в различных сочетаниях, но при условии применения хотя бы одного сплава, указанного в таблице 1 для данного режима.

Допускается оксидирование в графите только для случая, когда необходимо обеспечивать повышенный ресурс какой-либо поверхности сварной детали (как правило, из сплавов марок ЗМ и 19).

## 7 Методы контроля процесса оксидирования и его качества

7.1 Печное оборудование должно обеспечивать требуемые перепады температурного поля в рабочем пространстве печи и возможность строгого соблюдения и контроля заданных режимов оксидирования.

7.2 Печи для оксидирования следует подвергать проверке равномерности распределения температуры в рабочем пространстве печи с установлением рабочей зоны не реже, чем один раз в полгода, а также после каждой замены (ремонта) нагревателей в печи. Результаты проверки следует фиксировать актами.

7.3 Непрерывный контроль и запись температуры в рабочем пространстве печи следует выполнять с помощью термоэлектрических преобразователей, расположенных в рабочей зоне печного пространства, и автоматических регулирующих и регистрирующих потенциометров класса не ниже 0,5.

7.4 Используемые для проверки печей и контроля процессов оксидирования термоэлектрические преобразователи и потенциометры должны быть поверены в соответствии с утвержденным порядком [1].

7.5 Термический режим оксидирования должен быть зарегистрирован в журнале и на диаграммной ленте или диаграммном диске регистрирующего прибора. При приемке деталей ОТК следует проверять правильность выполнения температурного режима по регистрационному журналу и по диаграммной ленте регистрирующего прибора.

7.6 Контроль качества оксидирования следует выполнять визуально путем осмотра поверхности оксидированной детали в соответствии с ГОСТ Р ЕН 13018.

7.7 Кроме визуального осмотра необходимо проводить дополнительный контроль процесса оксидирования на образцах-свидетелях, оксидируемых совместно с каждой партией деталей. Образцы-свидетели в виде брусков 10 × 10 × (20—30) мм или цилиндрических образцов диаметром 10—30 мм, с шероховатостью поверхности по параметру *Ra* в диапазоне 1,25—0,60 мкм по ГОСТ Р 71448 изготавливают из сплава той же марки, что и оксидируемые детали.

При одинаковом режиме оксидирования допускается применение образцов-свидетелей из сплава марки ЗМ независимо от марки сплава оксидируемых деталей. При двойном оксидировании высокотемпературное и низкотемпературное оксидирование следует контролировать раздельно, каждый процесс на своей партии образцов-свидетелей. При оксидировании деталей, сваренных из сплавов разных марок, образцы-свидетели следует выполнять из сплава, из которого изготовлена трущаяся деталь.

7.8 Образцы-свидетели должны иметь чистую поверхность без черновин по всем граням, включая и торцевые грани. Количество образцов-свидетелей на садку устанавливают в зависимости от размера партии оксидируемых деталей из такого расчета, чтобы на малую садку было не менее трех, а на большие садки от 5 до 7 образцов-свидетелей. Образцы-свидетели должны иметь клеймо с порядковым номером.

7.9 Подготовку образцов-свидетелей перед оксидированием следует выполнять так же, как и подготовку деталей данной партии (механическая обработка, обезжиривание поверхности и т. п.).

7.10 По результатам измерений и взвешиваний образцов-свидетелей до и после оксидирования на весах с дискретностью 0,001 г необходимо определять удельное приращение массы оксидированных деталей на единицу площади поверхности в килограммах на квадратный метр.

После определения удельных приращений массы допускается использовать образцы-свидетели для изготовления поперечных микрошлифов и определения на них максимальной микротвердости и глубины слоя на микротвердомере типа Durascan G50 или аналогичного типа.

Допускается не проводить инструментальный контроль глубины и микротвердости оксидированного слоя при положительных результатах основных видов контроля (визуальный, проверка термического цикла, удельное приращение массы, отсутствие недопустимых дефектов оксидированного слоя на контролируемых поверхностях) по решению предприятия-изготовителя.

7.11 Методика измерения глубины слоя на микротвердомере типа Durascan G50 или аналогичного типа изложена в приложении А. При правильном проведении процессов оксидирования результаты исследований образцов-свидетелей должны отвечать данным таблиц 2—4. Отклонение характеристик слоя на 20 % (в обе стороны) от норм таблиц 2—4 допускается и браковочным признаком не является.

Таблица 2 — Характеристика слоя после низкотемпературного оксидирования сплавов марок ПТ-1М, 3М, ТЛ3, ПТ-7М, 19

| Характеристика слоя | Марка сплава | | | |
|---|---|---|---|---|
| | ПТ-1М | 3М, ТЛ3 | ПТ-7М | 19 |
| Удельное приращение массы, кг/м$^2$ · 10$^{-3}$ | 10—16 | 6—16 | 10—15 | 3—6 |
| Микротвердость на расстоянии 0,010—0,015 мм от края поперечного шлифа, Н/мм$^2$ | 6100—8700 | 6100—8700 | 7200—9500 | 7200—7900 |
| Глубина слоя, мкм | 40—50 | 30—50 | 50—70 | 30—40 |
| Цвет поверхности оксидированной детали | Светло-серый | Тускло-серый | Тускло-серый | Голубовато-серый |
| Примечание — Микротвердость измеряется на микротвердомере типа Durascan G50 при нагрузке 0,20 Н в соответствии с методикой (см. приложение А). | | | | |

Таблица 3 — Характеристика слоя после оксидирования в графите сплавов марок 3М, ПТ-3В, 19, 40 и 37

| Характеристика слоя | Марка сплава | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 3М | ПТ-3В | 19 | 40 | 37 |
| Удельное приращение массы, кг/м$^2$ · 10$^{-3}$ | 7—20 | 7—20 | 5—12 | 7—12 | 6—15 |
| Микротвердость на расстоянии 0,010—0,015 мм от края поперечного шлифа, Н/мм$^2$ | 8000—9000 | 7000—9000 | 7000—10 000 | 7000—9000 | 7200—11 000 |
| Глубина слоя, мкм | 40—80 | 40—60 | 40—60 | 40—50 | 35—60 |
| Цвет поверхности оксидированной детали | От темного до светло-серого | От светлого до темного серо-коричневого | Серый с желтым оттенком | От светлого до темного серо-коричневого | От темного до светло-серого |

Таблица 4 — Характеристика слоя после высокотемпературного оксидирования сплавов марок ПТ-1М, 3М и ПТ-7М

| Характеристика слоя | Марка сплава | | |
|---|---|---|---|
| | ПТ-1М | 3М | ПТ-7М |
| Удельное приращение массы, кг/м$^2$ · 10$^{-3}$ | – (30—40) | – (30—50) | – (30—40) |
| Микротвердость на расстоянии 0,010—0,015 мм от края поперечного шлифа, Н/мм$^2$ | 8700—9500 | 9500—10 300 | 10 300—11 600 |

*Окончание таблицы 4*

| Характеристика слоя | Марка сплава | | |
|---|---|---|---|
| | ПТ-1М | ЗМ | ПТ-7М |
| Глубина слоя, мкм | 60—80 | 60—90 | 60—100 |
| Цвет поверхности оксидированной детали | Черный или темно-коричневый, отдающий в синеву | Черный или темно-коричневый, отдающий в синеву | Черный или темно-коричневый, отдающий в синеву |

7.12 Контроль качества защитного оксидирования следует выполнять по удельному изменению массы образцов-свидетелей, оксидируемых с каждой партией деталей.

7.13 При правильном проведении процесса защитного оксидирования среднее арифметическое значение удельного приращения массы всех образцов-свидетелей должно быть не менее приведенного в таблице 5.

Таблица 5 — Значение удельного приращения массы образцов-свидетелей

| Марка сплава | Удельное приращение массы, кг/м$^2$ · 10$^{-3}$ (не менее) |
|---|---|
| ЗМ | 3,0 |
| ТЛ3 | 3,0 |
| 19 | 1,5 |
| ПТ-1М | 4,0 |
| ПТ-7М | 2,0 |
| ПТ-3В | 2,5 |
| ТЛ5 | 2,5 |
| 5В | 6,0 |

7.14 При защитном оксидировании визуальному контролю подлежат только поверхности, которые в процессе эксплуатации имеют контакт с инородными металлами. На них не допускается наличие царапин, механических повреждений окисного слоя, наличие участков с отслоением окисного слоя. Цвет детали при защитном оксидировании браковочным признаком не является.

На поверхностях, не имеющих контакта с инородными материалами, допускаются отдельные дефекты на расстоянии не менее трех диаметров труб от места контакта, т. к. они незначительно влияют на величину контактной коррозии. Размеры, количество и допустимость дефектов должны быть указаны в КД и ТД.

7.15 Контроль внутренних участков трубопроводов диаметром более 10 мм, подвергнутых защитному оксидированию, следует проводить прибором смотровым типа РВП, внутреннюю поверхность труб диаметром 10 мм и менее не контролируют.

Внутренние поверхности труб диаметром более 10 мм допускается контролировать визуально на длину трех диаметров трубы от торца и рабочей плоскости фланца до уплотнительной поверхности.

## 8 Дефекты оксидирования и степень их допустимости

8.1 В результате невыполнения требований настоящего стандарта при оксидировании могут возникнуть дефекты, приведенные в таблице 6.

8.2 Повторное оксидирование при низкотемпературном режиме и при оксидировании в графите требует промежуточной пескоструйной или механической обработки и допускается не более двух раз.

Для абразивно-струйной обработки следует применять электрокорунд марок 13А, 14А по ГОСТ 28818—90.

8.3 При высокотемпературном режиме повторное оксидирование разрешается производить не более одного раза, причем промежуточную пескоструйную или механическую обработку при этом не проводят.

Таблица 6 — Дефекты оксидирования

| Вид оксидирования | Вид дефекта | Причина получения дефекта | Степень допустимости дефекта | Способ исправления |
|---|---|---|---|---|
| Низкотемпературное оксидирование или оксидирование в графите | Отслаивание окисной пленки | Перегрев или плохое обезжиривание | Допустимо только на нерабочих поверхностях при условии зачистки этих поверхностей до пленки низких окислов | Повторное оксидирование после предварительной механической обработки или пескоструйной обработки |
| | Возникновение на рабочих поверхностях деталей белых и темно-серых пятен, на неотслаивающихся и не дающих изъязвлений поверхностях | Плохое обезжиривание | Допустимо | Ужесточение контроля обезжиривания |
| | Неравномерность окраски поверхности — разнотонность от светло-серых до темно-серых тонов с различными оттенками от зеленоватого до коричневатого, не изменяющая шероховатости поверхности | 1 Неравномерный нагрев.<br>2 Различная высота залегания деталей в графите.<br>3 Недостаточно тщательное обезжиривание.<br>4 Заварка дефектов присадочным материалом марки 2В.<br>5 Натиры от тупого инструмента, в том числе на резьбе.<br>6 Шаржирование поверхности при притирке.<br>7 Литейные дефекты | Допустимо | — |
| | Наличие рыжевато-коричневого оттенка | Дробеструйная обработка металлической дробью | Допустимо только на нетрущихся поверхностях | — |
| Высокотемпературное оксидирование | Единичные сколы на вершинах резьбы | Интенсивная зачистка | Допустимо по ГОСТ 1759.2 | — |
| | Сохранение плотной окалины, не отделяющейся от поверхности деталей | Недогрев при оксидировании или подстуживание перед охлаждением в воде | Недопустимо | Повторное высокотемпературное оксидирование с выдержкой в течение 0,5—1,0 ч |
| Низкотемпературное, высокотемпературное оксидирование, оксидирование в графите | Изъязвление поверхности | Перегрев или многократное высокотемпературное оксидирование, контакт детали с железной окалиной | Недопустимо | Неисправимо, детали бракуются |

*Окончание таблицы 6*

| Вид оксидирования | Вид дефекта | Причина получения дефекта | Степень допустимости дефекта | Способ исправления |
|---|---|---|---|---|
| Защитное оксидирование | Отслаивание и шелушение окисленного слоя на поверхности, контактирующей с инородными сплавами | Плохое обезжиривание | Недопустимо | Повторное защитное оксидирование |
| Все виды антифрикционного оксидирования | Коробление точных деталей | 1 Оксидирование без промежуточного отжига, стабилизирующего размеры.<br>2 Неравномерный нагрев.<br>3 Неправильное расположение детали в печи (горизонтальное вместо вертикального).<br>4 Невыполнение требований 5.6 | Недопустимо | Может быть устранено правкой вхолодную на прессе или другом оборудовании без применения ударов.<br>Приспособление для правки следует изготовлять из меди или бронзы |
| Защитное оксидирование | Коробление участков трубопроводов до 10° | Оксидирование без фиксирования (без заневоливания) | Недопустимо | Может быть устранено правкой вхолодную |
| | Коробление участков трубопроводов более 10° | Оксидирование без фиксирования (без заневоливания) | Недопустимо | Правка вхолодную с последующим повторным оксидированием с применением фиксирования |
| Все виды антифрикционного оксидирования | Нарушение размеров деталей:<br>в сторону увеличения вследствие образования избыточного упрочненного слоя;<br>в сторону уменьшения в случае отслоения упрочненного слоя | Перегрев или увеличение времени выдержки | Недопустимо | Неисправимо, детали бракуются |
| Защитное оксидирование | Получение заниженного прирашения массы образцов-свидетелей | Недогрев или уменьшение времени выдержки | Недопустимо | Повторное оксидирование |
| Низкотемпературное оксидирование, оксидирование в графите | Получение заниженного прирашения массы образцов-свидетелей | Недогрев или уменьшение времени выдержки | Недопустимо | Повторное оксидирование |

8.4 При защитном оксидировании повторное оксидирование для исправления дефектов и при получении заниженного приращения массы допускается производить один раз без удаления первого окисленного слоя. Исправление брака после повторного защитного оксидирования требует промежуточной пескоструйной или механической обработки и оксидирования (третьего и последнего) по полному режиму.

8.5 При низкотемпературном оксидировании и оксидировании в графите при получении заниженных удельных привесов массы образцов-свидетелей и цвета поверхности, свидетельствующего о недостаточном нагреве деталей, разрешается детали повторно оксидировать без промежуточной пескоструйной обработки. Режим повторного оксидирования должен назначать технолог (мастер) цеха или отдела главного металлурга в зависимости от полученной величины удельного привеса, фактической рабочей температуры в печи и времени выдержки при ранее проводившемся процессе.

При назначении режима повторного оксидирования температура процесса может быть повышена на 10 °С — 20 °С при сокращении времени выдержки в случаях, когда выявляется, что температура в рабочей зоне печи была ниже установленной настоящим стандартом. Контроль оксидирования следует проводить по удельному привесу образцов-свидетелей, прошедших повторное оксидирование вместе с деталями.

8.6 При нарушении размеров и наличии дефектов деталей, оксидированных по низкотемпературному режиму или в графите, исправление размеров может быть достигнуто за счет повторного оксидирования, а также за счет повторного высокотемпературного оксидирования с охлаждением деталей в воде при согласовании с проектантом — разработчиком чертежа.

При нарушении размеров деталей, оксидированных по высокотемпературному режиму, исправление размеров в некоторых пределах может быть достигнуто за счет повторного низкотемпературного оксидирования.

8.7 В случае когда при повторном оксидировании изменения необходимых размеров деталей не обеспечиваются, детали бракуются.

8.8 Шелушение пленки окалины на контролируемой поверхности гаек и других деталей, прошедших ранее низкотемпературное оксидирование, после защитного оксидирования в сборе с трубой или другим изделием не является браковочным признаком.

8.9 Возможное коробление до 10° участков трубопроводов, защитное оксидирование которых проведено без фиксирования, может быть устранено правкой в холодном состоянии. Если угол коробления превышает 10°, участок трубопровода следует выправить, процесс оксидирования повторить с применением фиксирования, выполнив все подготовительные операции.

Приспособление для холодной правки оксидированных труб, угол коробления которых менее 10°, следует изготавливать из алюминия, меди или их сплавов.

При правке труб недопустимо нарушение окисленного слоя на поверхности, находящейся при эксплуатации в контакте с деталями из инородного металла.

8.10 При транспортировании оксидированных деталей необходимо для исключения возможности образования забоин и сколов оксидированного слоя применять меры — использовать заглушки, чехлы.

8.11 Во избежание появления на поверхности оксидированных деталей следов ржавчины недопустимо обезжиривание их в одной ванне со стальными, а также совместное хранение стальных и оксидированных деталей из сплавов типа ПТ-3В в помещениях, относительная влажность которых превышает 75 %.

8.12 В местах соприкосновения оксидированной детали с технологической оснасткой при дальнейшей механической обработке, сборке, разметке, контроле и т. п. допускается потемнение оксидированной поверхности вследствие истирания поверхностного тончайшего слоя.

## 9 Требования безопасности и охраны окружающей среды

9.1 Производственные помещения должны быть оборудованы системами вентиляции, соответствующими требованиям ГОСТ 12.1.005.

9.2 Рабочие места для обезжиривания должны быть оборудованы местной вытяжной вентиляцией во взрывобезопасном исполнении. В случае использования при очистке (обезжиривании) деталей ЛВЖ их количество на рабочем месте не должно превышать сменной потребности. Запрещается проводить работы с применением ЛВЖ при отключенной или неисправной системе вентиляции. Сбор промасленной ветоши и загрязненных ЛВЖ после очистки (обезжиривания) деталей следует осуществлять

в герметично закрывающиеся металлические емкости, расположенные за пределами участков с нагревательным оборудованием со своевременным их вывозом к местам утилизации согласно [2].

9.3 Устройство и эксплуатация вентиляционных систем должны отвечать требованиям ГОСТ 12.4.021 и СП 60.13330. Система фильтрации и очистки вентилируемого воздуха должна обеспечивать концентрацию выбросов загрязняющих веществ, не превышающую установленных для предприятия нормативов предельно допустимых выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух.

9.4 При организации и выполнении работ по термическому оксидированию следует соблюдать общие требования безопасности при термической обработке металлов согласно ГОСТ 12.3.004, а также общие требования пожарной безопасности согласно ГОСТ 12.1.004.

9.5 Эксплуатацию термических электрических печей следует осуществлять согласно правилам, утвержденным приказом [3].

9.6 Работы по загрузке и выгрузке деталей из печей следует выполнять в соответствии с требованиями ГОСТ 12.3.009.

9.7 Производственные помещения должны быть оборудованы средствами пожаротушения по ГОСТ 12.4.009.

9.8 К выполнению работ по термическому оксидированию и к эксплуатации термических печей допускается персонал, имеющий специальную профессиональную подготовку и соответствующую квалификацию, прошедший обучение по охране труда и не имеющий медицинских противопоказаний к работе с вредными и опасными производственными факторами в соответствии с порядком, утвержденным приказом [4].

9.9 Для защиты от воздействия вредных и опасных производственных факторов рабочий персонал должен быть обеспечен средствами индивидуальной защиты в соответствии с типовыми нормами, утвержденными приказом [5].

**Приложение А**
**(справочное)**

## Методика измерения подповерхностной микротвердости и глубины слоя на образцах-свидетелях оксидированных сплавов

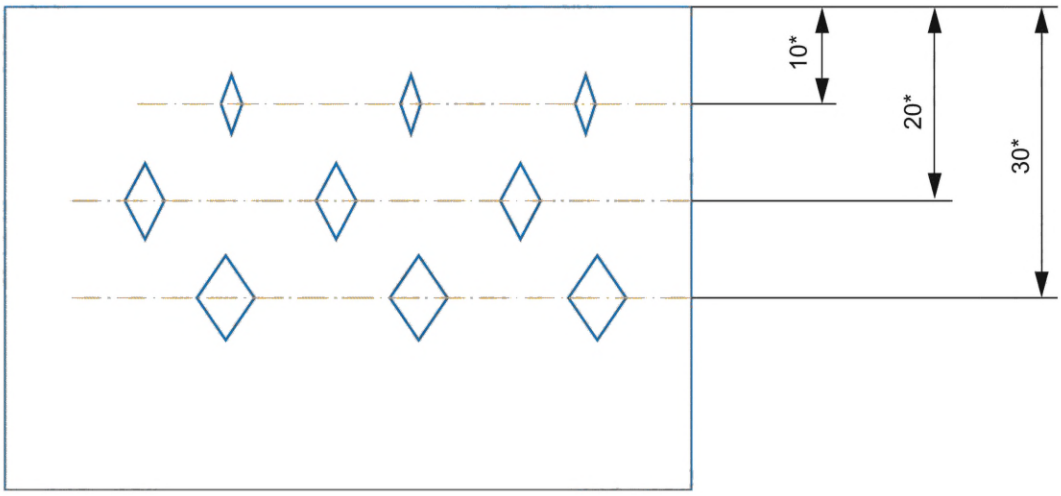
Упрочненный слой, полученный в результате низкотемпературного оксидирования на воздухе или оксидирования в графите, состоит из твердого раствора кислорода в металле (диффузионный слой) глубиной 40—80 мкм и плотно прилегающей к нему окалины (рутил–$TiO_2$) толщиной 5—7 мкм в зависимости от марки сплава и режима оксидирования. При высокотемпературном оксидировании упрочненный слой состоит из твердого раствора кислорода в металле глубиной 60—100 мкм и очень тонкой (1 мкм) пленки черного цвета. Рутиловая пленка толщиной 5—7 мкм в этом случае удаляется при охлаждении деталей в воде после выдержки при температуре от 835 °С до 865 °С.

Диффузионный слой под микроскопом не обнаруживается, поскольку систематического перехода в структуре от слоя к сердцевине нет. Наличие диффузионного слоя и его глубину можно определить методом микротвердости, поскольку насыщение металла кислородом сопровождается повышением его твердости.

Твердость по глубине слоя характеризуется наличием градиента — она максимальна у поверхности и снижается по глубине слоя до твердости сердцевины.

Микротвердость измеряется вдавливанием алмазных наконечников по методу восстановленного отпечатка в соответствии с ГОСТ 9450.

Из образцов-свидетелей изготавливают поперечные шлифы. Окалина, микротвердость которой достигает 20 000 Н/мм$^2$, как правило, отваливается при изготовлении шлифа. На поперечном шлифе на микротвердомере типа Durascan G50 или аналогичного типа при нагрузке 0,20 Н сначала измеряют микротвердость сердцевины, затем подповерхностную микротвердость на расстоянии 10—15 мкм от края шлифа и далее через каждые 10—15 мкм измеряют микротвердость не менее чем в трех точках (см. рисунок А.1). Расстояние от края шлифа с твердостью, превышающей твердость сердцевины на 500—600 HV 0.02 (Н/мм$^2$), является условной глубиной слоя (см. рисунок А.2).




* Ориентировочный шаг измерения.

◇ — отпечаток после измерения микротвердости

Рисунок А.1 — Пример измерения глубины окисленного слоя в мкм на поперечном шлифе из сплава типа ПТ-3В методом микротвердости

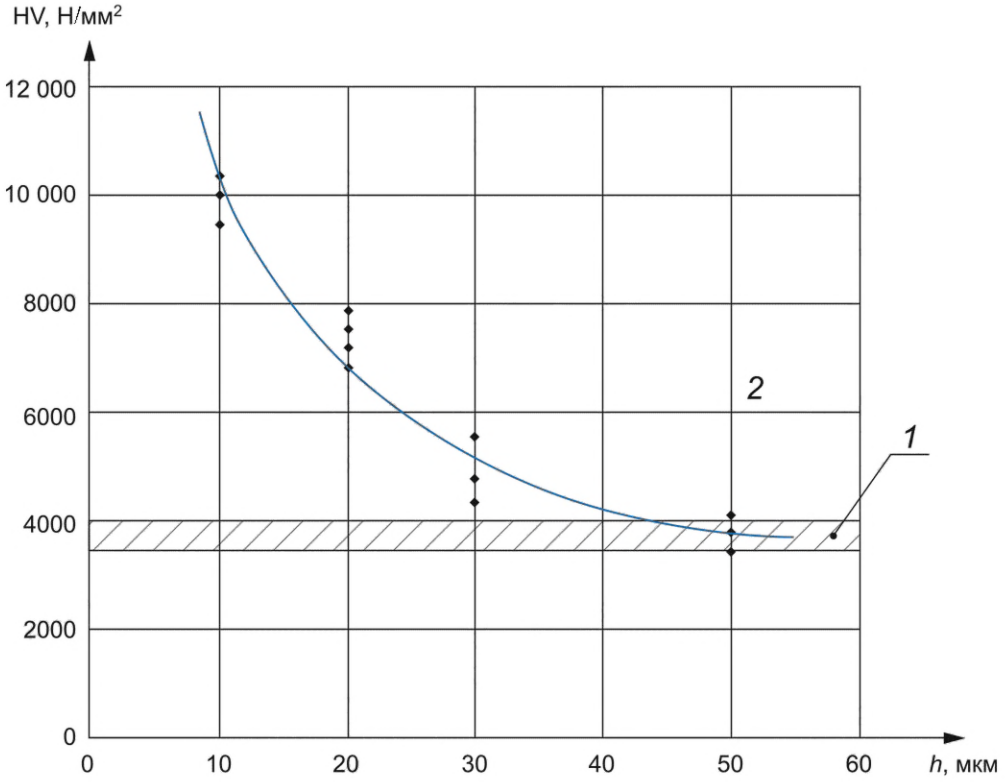



Рисунок А.2 — Распределение микротвердости HV, Н/мм$^2$, по глубине диффузионного слоя *h*, мкм, сплавов типа ПТ-3В

## Библиография

[1] Приказ Минпромторга России от 31 июля 2020 г. № 2510 «Об утверждении порядка проведения поверки средств измерений, требований к знаку поверки и содержанию свидетельства о поверке»

[2] Постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 28 января 2021 г. № 3 «Об утверждении санитарных правил и норм СанПиН 2.1.3684-21 «Санитарно-эпидемиологические требования к содержанию территорий городских и сельских поселений, к водным объектам, питьевой воде и питьевому водоснабжению, атмосферному воздуху, почвам, жилым помещениям, эксплуатации производственных, общественных помещений, организации и проведению санитарно-противоэпидемических мероприятий»

[3] Приказ Минтруда России от 15 декабря 2020 г. № 903н «Об утверждении Правил по охране труда при эксплуатации электроустановок»

[4] Приказ Минздрава России от 28 января 2021 г. № 29н «Об утверждении Порядка проведения обязательных предварительных и периодических медицинских осмотров работников, предусмотренных частью четвертой статьи 213 Трудового кодекса Российской Федерации, перечня медицинских противопоказаний к осуществлению работ с вредными и (или) опасными производственными факторами, а также работам, при выполнении которых проводятся обязательные предварительные и периодические медицинские осмотры»

[5] Приказ Минтруда России от 29 октября 2021 г. № 767н «Об утверждении единых типовых норм выдачи средств индивидуальной защиты и смывающих средств»

УДК 621.785.5:006.354 ОКС 47.020.01

Ключевые слова: оксидирование термическое, детали судового машиностроения, титановые сплавы

Редактор *Н.В. Таланова*
Технический редактор *В.Н. Прусакова*
Корректор *М.И. Першина*
Компьютерная верстка *А.Н. Золотаревой*

Сдано в набор 16.12.2025. Подписано в печать 28.01.2026. Формат 60×84⅛. Гарнитура Ариал.
Усл. печ. л. 2,79. Уч.-изд. л. 2,12.

Подготовлено на основе электронной версии, предоставленной разработчиком стандарта

Создано в единичном исполнении в ФГБУ «Институт стандартизации»
для комплектования Федерального информационного фонда стандартов, 117418 Москва, Нахимовский пр-т, д. 31, к. 2.
gost.e-ecolog.ru gost.e-ecolog.ru