ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО

ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ГОСТ Р 71988— 2025

СОСУДЫ И АППАРАТЫ

Металлографические исследования сварных соединений

Издание официальное

Москва
Российский институт стандартизации
2025

gost.e-ecolog.ru

Предисловие

1 РАЗРАБОТАН Акционерным обществом «Научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт нефтяного машиностроения «ВНИИНЕФТЕМАШ» (АО «ВНИИНЕФТЕМАШ»), Автономной некоммерческой организацией «Институт нефтегазовых технологических инициатив» (АНО «ИНТИ»), Федеральным государственным бюджетным учреждением «Российский институт стандартизации» (ФГБУ «Институт стандартизации»)

2 ВНЕСЕН Техническим комитетом по стандартизации ТК 270 «Сосуды и аппараты, работающие под давлением»

3 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 2 апреля 2025 г. № 247-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», 2025

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

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

СОСУДЫ И АППАРАТЫ

Металлографические исследования сварных соединений

Vessels and apparatus. Metallographic control of welded joints

Дата введения — 2025—09—01

1 Область применения

Настоящий стандарт устанавливает требования и рекомендации по проведению металлографических исследований сварных соединений и наплавок сосудов и аппаратов (далее — сосудов), изготавливаемых по ГОСТ 34347, ГОСТ 31842, ГОСТ 31838, ГОСТ ISO 13706, ГОСТ Р 51364, ГОСТ Р 54803.

2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы нормативные ссылки на следующие стандарты:

ГОСТ 162 Штангенглубиномеры. Технические условия

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

ГОСТ 427 Линейки измерительные металлические. Технические условия

ГОСТ 1763 (ИСО 3887—77) Сталь. Методы определения глубины обезуглероженного слоя

ГОСТ 1778 Металлопродукция из сталей и сплавов. Металлографические методы определения неметаллических включений

ГОСТ 5556 Вата медицинская гигроскопическая. Технические условия

ГОСТ 5632 Нержавеющие стали и сплавы коррозионно-стойкие, жаростойкие и жаропрочные. Марки

ГОСТ 5639 Стали и сплавы. Методы выявления и определения величины зерна

ГОСТ 5640—2020 Сталь. Металлографический метод оценки микроструктуры проката стального плоского

ГОСТ 6032 (ISO 3651-1:1998, ISO 3651-2:1998) Стали и сплавы коррозионно-стойкие. Методы испытаний на стойкость против межкристаллитной коррозии

ГОСТ 6456 Шкурка шлифовальная бумажная. Технические условия

ГОСТ 7564—97 Прокат. Общие правила отбора проб, заготовок и образцов для механических и технологических испытаний

ГОСТ 8233 Сталь. Эталоны микроструктуры

ГОСТ 10054 Шкурка шлифовальная бумажная водостойкая. Технические условия

ГОСТ 10243 Сталь. Методы испытаний и оценки макроструктуры

ГОСТ 12026 Бумага фильтровальная лабораторная. Технические условия

ГОСТ 22838 Сплавы жаропрочные. Методы контроля и оценки макроструктуры

ГОСТ 25593 Пасты алмазные. Технические условия

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

ГОСТ 31838 Аппараты колонные. Технические требования

ГОСТ 31842 (ISO 16812:2007) Нефтяная и газовая промышленность. Теплообменники кожухотрубчатые. Технические требования

ГОСТ 34347—2017 Сосуды и аппараты стальные сварные. Общие технические условия

Издание официальное

ГОСТ 34951 (EN 10020:2000) Сталь. Определение и классификация по химическому составу и классам качества

ГОСТ ISO 13706 Аппараты с воздушным охлаждением. Общие технические требования

ГОСТ Р 51364—99 (ИСО 6758—80) Аппараты воздушного охлаждения. Общие технические условия

ГОСТ Р 52381 (ИСО 8486-1:1996, ИСО 6344-2:1998, ИСО 9138:1993, ИСО 9284:1992) Материалы абразивные. Зернистость и зерновой состав шлифовальных порошков. Контроль зернового состава

ГОСТ Р 54803 Сосуды стальные сварные высокого давления. Общие технические требования

ГОСТ Р 57180—2016 Соединения сварные. Методы определения механических свойств, макроструктуры и микроструктуры

ГОСТ Р ИСО 643 Сталь. Металлографическое определение наблюдаемого размера зерна

ГОСТ Р ИСО 4967 Сталь. Определение содержания неметаллических включений. Металлографический метод с использованием эталонных шкал

ГОСТ Р ИСО 6520-1 Сварка и родственные процессы. Классификация дефектов геометрии и сплошности в металлических материалах. Часть 1. Сварка плавлением

ГОСТ Р ИСО 14250 Сталь. Металлографическая оценка дуплексного размера зерна и его распределения

Примечание — При пользовании настоящим стандартом целесообразно проверить действие ссылочных стандартов в информационной системе общего пользования — на официальном сайте федерального органа исполнительной власти в сфере стандартизации в сети Интернет или по ежегодно издаваемому информационному указателю «Национальные стандарты», который опубликован по состоянию на 1 января текущего года, и по выпускам ежемесячно издаваемого информационного указателя «Национальные стандарты» за текущий год. Если заменен ссылочный стандарт, на который дана недатированная ссылка, то рекомендуется использовать действующую версию этого стандарта с учетом всех внесенных в данную версию изменений. Если заменен ссылочный стандарт, на который дана датированная ссылка, то рекомендуется использовать версию этого стандарта с указанным выше годом утверждения (принятия). Если после утверждения настоящего стандарта в ссылочный стандарт, на который дана датированная ссылка, внесено изменение, затрагивающее положение, на которое дана ссылка, то это положение рекомендуется применять без учета данного изменения. Если ссылочный стандарт отменен без замены, то положение, в котором дана ссылка на него, рекомендуется применять в части, не затрагивающей эту ссылку.

3 Термины и определения

В настоящем стандарте применены термины по ГОСТ 1778, ГОСТ 5632, ГОСТ 5639, ГОСТ 34951, ГОСТ Р ИСО 643, ГОСТ Р ИСО 6520-1.

4 Общие требования

4.1 Металлографические исследования, как правило, проводят при испытаниях сварных соединений и наплавок на образцах, отобранных от производственных контрольных сварных соединений в соответствии с ГОСТ 34347—2017 (подраздел 7.5 с учетом пункта 7.1.5).

Примечание — Контрольными сварными соединениями считают сварные соединения и наплавки, выполненные в производственных условиях, являющиеся идентичными по отношению к производственным сварным соединениям или наплавкам, предназначенные для проведения неразрушающего контроля и разрушающих испытаний.

Металлографические исследования сварных соединений и наплавок могут быть проведены по требованию заказчика или при наличии указаний в конструкторской документации на сварной сосуд.

Также металлографические исследования сварных соединений и наплавок могут проходить:

- при разработке и аттестации технологии сварки (наплавки) сосуда;
- при разработке технологии исправления дефектов в сварных соединениях сосуда;
- при разработке и аттестации сварочных материалов;
- при аттестации и переаттестации сварщиков;
- при применении новых технологий сварки (наплавки) и/или новых сварочных материалов;
- при исследовании причин разрушений сварных соединений сосуда, произошедших в процессе эксплуатации.

4.2 Металлографические исследования подразделяют:

- на исследования макроструктуры образца (макрошлифа), подготовленного без травления и/или с травлением, без применения увеличительных вспомогательных средств или с помощью увеличительных вспомогательных средств при небольших увеличениях (до 30×);
- на исследования микроструктуры образца (микрошлифа), подготовленного без травления и/или с травлением, с помощью оптических микроскопов, при необходимости — электронных микроскопов.

4.3 При металлографических исследованиях макроструктуры сварных соединений проводят:

- выявление отклонений формы и размеров сварного шва (в том числе оценку выпуклости, толщины и ширины сварного шва, глубины проплавления, катета углового шва, количества слоев и др.) в соответствии с требованиями стандартов или конструкторской, технологической документации, устанавливающими конструктивные элементы и размеры сварных соединений;
- выявление дефектов сплошности сварных швов (трещины, полости, твердые включения, несплавление, непровар и прочие дефекты) в соответствии с ГОСТ Р ИСО 6520-1.

Примечание — При металлографических исследованиях сварных соединений из плакированного проката (двухслойной стали) может быть выявлена некачественная сборка под сварку, в том числе наличие наплавки для выравнивания смещения кромок, наличие загрязнений по кромкам, отслоение плакирующего слоя, не выявленное при контроле кромок и/или раскрывшееся при сварке и пр.

4.4 При металлографических исследованиях микроструктуры сварных соединений проводят:

- оценку микроструктуры металла шва, зоны термического влияния, основного металла, выявление дефектов микроструктуры;
- выявление возможных внутренних дефектов сварных соединений (микротрещин, несплавлений и непроваров, пор, свищей, шлаковых и других включений, оксидных пленок);
- выявление коррозионных повреждений образцов сварных швов после испытаний на стойкость против межкристаллитной коррозии и других видов коррозии.

4.5 По согласованию заказчика с исполнителем при металлографических исследованиях сварных соединений могут быть оценены дополнительные показатели при согласовании норм и методов их оценки.

5 Отбор образцов и изготовление шлифов

5.1 Отбор образцов

5.1.1 Металлографические исследования, как правило, проводят на одном образце от каждого контрольного сварного соединения.

5.1.2 Образцы для проведения металлографических исследований вырезают таким образом, чтобы они содержали дефекты, выявленные по результатам неразрушающего контроля контрольного сварного соединения в целях выяснения причин их образования.

5.1.3 Образцы вырезают механизированной или термической резкой с последующей механической обработкой. При этом должны быть соблюдены меры, обеспечивающие защиту образцов от нагрева и наклепа, которые могут привести к изменению структуры и свойств металла образца.

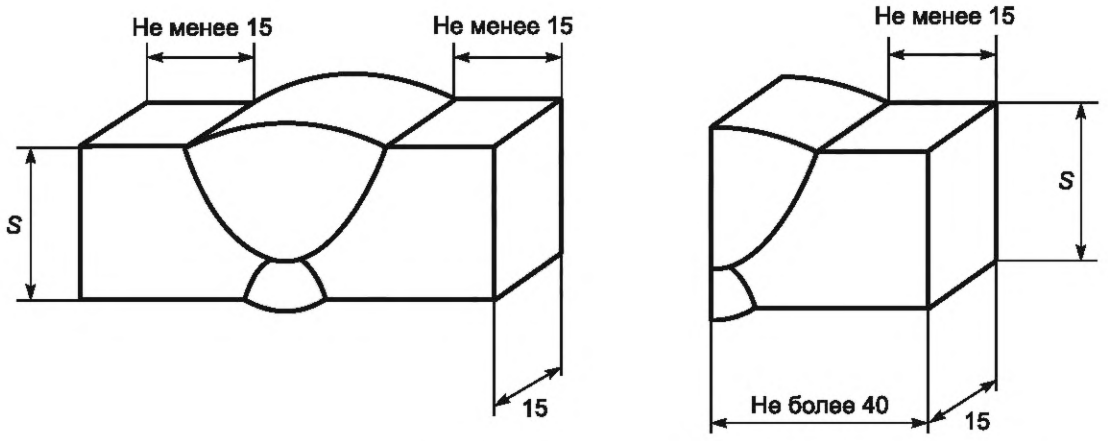
5.1.4 Для охлаждения образцов при резке на металлорежущих станках, как правило, используют смазочно-охлаждающие жидкости.

5.1.5 При вырезке образцов предусматривают припуск от линии реза до края образца в соответствии с ГОСТ 7564—97 (пункт 4.4, таблица 1), при вырезке образцов термической резкой рекомендуется припуск от 20 до 25 мм на каждую сторону от линии реза.

5.1.6 Образцы должны быть вырезаны на расстоянии не менее 25 мм от концевых участков сварного шва, соответствующих нестабильному режиму сварки, перпендикулярно к сварному шву через все сечение.

5.1.7 Образцы должны включать все зоны сварного соединения: металл шва, зону термического влияния, основной металл, не подвергшийся термическому воздействию при сварке.

5.1.8 Образцы для исследований макроструктуры сварных соединений в зависимости от толщины металла изготавливают как показано на рисунке 1. При толщине металла до 30 мм следует вырезать образцы, включающие полное поперечное сечение сварного шва, при толщине свыше 30 мм — часть поперечного сечения сварного шва. Допускается разрезать образец по высоте сварного шва параллельно поверхности основного металла.



а — при толщине металла *S* до 30 мм

б — при толщине металла *S* свыше 30 мм

Рисунок 1 — Размеры образцов для металлографических исследований макроструктуры сварных соединений

5.1.9 Образцы для исследований микроструктуры сварных соединений изготавливают из частей образцов для исследований макроструктуры. Площадь поверхности образца должна быть в пределах от 100 до 1600 мм^2. При толщине металла менее 8 мм допускается изготовление образца с площадью поверхности менее 100 мм^2. Рекомендуемая высота образца не более 15 мм.

5.1.10 Для изготовления образцов значительно меньшего размера, например имеющих толщину металла менее 6 мм, образцов сложной конфигурации или имеющих низкую прочность, применяют различные приспособления: держатели, зажимы, оправки с последующей заливкой легкоплавким веществом, пластмассой или запрессовкой в нее.

5.1.11 Каждый образец должен иметь четкую маркировку, которая обеспечивает их идентификацию и прослеживаемость. Как правило, ведут журнал учета образцов. Способ нанесения маркировки выбирает изготовитель образцов. Если маркировку невозможно сохранить в процессе изготовления шлифа, то ее следует перенести до удаления.

5.2 Подготовка образцов

5.2.1 Подготовка образцов для металлографических исследований включает шлифование, полирование и травление.

5.2.2 Подготовку образцов исследований микроструктуры допускается проводить по нижеприведенной технологии или в соответствии с ГОСТ 5640—2020 (приложение А).

5.3 Шлифование

5.3.1 Шлифование поверхности образцов для металлографических исследований после удаления припуска на механическую обработку проводят на плоскошлифовальном станке шлифовальными кругами с зернистостью от 160 до 200 мкм с обязательным охлаждением эмульсией, после чего на шлифовальных шкурках с зернистостью 50 мкм и меньше на шлифовальных станках со скоростью вращения диска до 1400 мин$^{-1}$ или вручную с обязательным охлаждением водой.

5.3.2 После такого шлифования шероховатость поверхности образца для исследований макроструктуры (макрошлифа) должна быть *Ra* не более 20 мкм.

5.3.3 Для шлифования поверхности образцов для исследований микроструктуры (микрошлифов) используют шлифовальные материалы с зернистостью от М50 до М7 или от Р280 до Р2000, потом алмазные пасты с зернистостью АСМ 14/10 НОМ, АСМ 7/5 НОМ, АСМ 5/3 НОМ, АСМ 3/2 НОМ, которые наносят на бумагу или сукно.

5.3.4 Шлифование образцов проводят ручным или автоматизированным способом.

5.3.5 При шлифовании необходимо проводить охлаждение образца, чтобы не допустить прижога поверхности.

5.3.6 При ручном способе работы проводят на шлифовальных станках или шлифовальных шкурках.

5.3.7 При автоматизированном способе используют шлифовально-полировальные станки с автоматическими головками для фиксации образцов, регулируемой скоростью вращения, регулируемым направлением движения шлифовального круга и/или держателя образцов, с прижимным держателем образцов, с автоматической подачей охлаждающей жидкости. Скорость вращения диска шлифовального станка должна быть до 1400 мин$^{-1}$.

5.3.8 Образцы для автоматизированного способа шлифования, как правило, запрессовывают в пробы «горячим» или «холодным» способом с помощью специальных смол.

5.3.9 Операции шлифования при любом способе подготовки шлифов повторяют неоднократно, используя шлифовальные материалы с последовательным уменьшением зернистости, при этом каждый раз изменяя направление шлифования на угол 90° для того, чтобы полностью удалить риски на поверхности шлифа после предыдущей операции шлифования. При каждой смене шлифовального материала для удаления остатков абразива с поверхности шлифа его промывают водой или протирают ватным тампоном, пропитанным спиртом.

5.3.10 Не допускается сразу после крупнозернистого шлифовального материала использование самого мелкозернистого шлифовального материала, так как грубые риски забиваются мелкими абразивными частицами и металлической пылью, что дает ложный эффект качественного шлифования.

5.3.11 После окончания шлифования поверхность шлифа промывают водой для удаления остатков абразива и загрязнений, протирают ватным тампоном, пропитанным спиртом, просушивают фильтровальной бумагой и под струей сухого теплого воздуха.

5.3.12 Для промежуточной промывки образцов после применения алмазных паст используют керосин.

5.3.13 Шлифовальные материалы разной зернистости необходимо хранить в отдельных упаковках, так как попадание крупных абразивных частиц на мелкозернистые материалы приводит к появлению грубых рисок на поверхности шлифов.

5.4 Полирование

5.4.1 Полирование микрошлифа проводят механическим (ручным или автоматическим) и/или электролитическим способом для устранения имеющихся после шлифования рисок и неровностей поверхности без деформирования металла. Полирование следует проводить в течение непродолжительного времени (от 3 до 5 мин) в связи с различной твердостью, следовательно, неодинаковой способностью к полированию структурных составляющих металла для исключения образования на поверхности шлифа микрорельефа, глубина которого влияет на качество изображения при проведении исследований микроструктуры, особенно при больших увеличениях.

5.4.2 Полирование поверхности микрошлифа механическим способом проводят на мягкой плотной ткани типа сукна или фетра, туго натянутой на металлический диск полировального станка и пропитанной полирующей жидкостью. Рекомендуемая частота вращения диска полировального станка — до 1000 мин$^{-1}$.

5.4.3 Перед полированием и в ходе полирования ткань необходимо тщательно промывать чистой горячей водой.

5.4.4 В ходе полирования необходимо постоянно смачивать ткань полирующей жидкостью — готовой к применению алмазной суспензией или приготовленной суспензией на основе частиц оксида хрома (Cr_2O) или оксида алюминия (Al_2O_3). Для приготовления такой суспензии в 1 л дистиллированной воды растворяют порошок оксида хрома (Cr_2O) или оксида алюминия (Al_2O_3) в количестве от 10 до 20 г, дают отстояться не менее 1 ч. Рекомендуемое время отстаивания такой суспензии составляет 6 ч и более, в этом случае она имеет наиболее равномерную зернистость.

5.4.5 В ходе полирования ручным механическим способом образец необходимо держать в таком положении, при котором направление движения полировального диска перпендикулярно к направлению рисок от последней операции шлифования, кроме шлифов из плакированного проката (двухслойной стали). Шлиф к полировальному диску нужно прижимать с небольшим усилием, чтобы не допустить прижога поверхности.

Для автоматического механического полирования используют полировальные станки с насадкой с центральным и/или индивидуальным прижимом образцов в держателях, возможностью регулировать нагрузку на образцы, системой подвода и отвода воды, автоматической подачи суспензии, оснащенные сменными дисками с сукном или полировальной тканью.

5.4.6 Полирование заканчивают после получения зеркальной поверхности шлифа без рисок, видимых при увеличении 100^{x}.

5.4.7 После окончания полирования механическим способом поверхность микрошлифа промывают водой для удаления остатков полирующей жидкости и загрязнений, протирают без нажима ватным тампоном, пропитанным спиртом, просушивают фильтровальной бумагой и под струей сухого теплого воздуха.

5.4.8 Электролитическое полирование представляет собой процесс анодного растворения обрабатываемой поверхности микрошлифа, во время которого происходит быстрое растворение выступов микрорельефа, во впадинах происходит растворение в замедленном режиме. Шероховатая поверхность микрошлифа становится гладкой из-за несбалансированной скорости растворения, при этом полностью устраняется слой наклепанного металла.

5.4.9 Электролитическое полирование используют, если механическое полирование не дает удовлетворительных результатов или остается наклепанный поверхностный слой после шлифования.

5.4.10 Универсальным электролитом является реактив № 20 согласно приложению А. Допускается использовать другие электролиты. Для сталей разных структурных классов можно использовать электролит одного состава при разных режимах полирования.

5.5 Применяемые материалы

5.5.1 Для шлифования и полирования применяют следующие материалы:

- бумажные шлифовальные шкурки по ГОСТ 6456;
- водостойкие шлифовальные шкурки по ГОСТ 10054, ГОСТ Р 52381;
- алмазные пасты по ГОСТ 25593;
- вату по ГОСТ 5556;
- фильтровальную бумагу по ГОСТ 12026.

5.5.2 Допускается применение материалов аналогичного назначения со схожими характеристиками.

5.6 Травление

5.6.1 Травление макрошлифов проводят химическим способом в соответствующем реактиве до четкого выявления макроструктуры металла шва и линии сплавления.

5.6.2 Реактив для травления макрошлифа необходимо выбирать в зависимости от материала сварного соединения. При глубоком травлении раствором кислоты высокой концентрации происходит растравливание дефектов, нарушающих сплошность металла — они становятся видимыми невооруженным глазом. Рекомендуемые составы реактивов, режимы травления и область их применения приведены в приложении А. Допускается применение других реактивов.

5.6.3 Макрошлиф погружают в реактив для травления или протирают его поверхность ватным тампоном, пропитанным реактивом. Для нейтрализации и удаления остатков реактива макрошлиф тщательно промывают 10 %-ным водным раствором кальцинированной соды, затем водой, протирают ватным тампоном, пропитанным спиртом, просушивают фильтровальной бумагой и под струей сухого теплого воздуха.

5.6.4 Травление микрошлифов проводят химическим или электролитическим способом в соответствующем реактиве до четкого выявления микроструктуры металла шва, зоны термического влияния и основного металла.

5.6.5 Реактив для травления микрошлифа следует выбирать в зависимости от материала сварного соединения и поставленной задачи металлографического исследования. Рекомендуемые составы реактивов, режимы травления и область их применения приведены в приложении А. Допускается применение других реактивов.

5.6.6 При выявлении микроструктуры химическим способом микрошлиф погружают в реактив для травления либо протирают его поверхность ватным тампоном, пропитанным реактивом, либо наносят реактив на поверхность шлифа из капельницы или пипетки.

5.6.7 При кратковременном травлении микрошлиф погружают в емкость с реактивом полированной поверхностью вниз, не касаясь дна емкости, и выдерживают в течение необходимого времени, при этом следует обратить внимание, чтобы не осталось пузырьков воздуха на погруженной поверхности.

5.6.8 При длительном травлении микрошлиф погружают в емкость с реактивом полированной поверхностью вверх так, чтобы полированная поверхность была полностью покрыта реактивом во избежание окисления воздухом, при этом толщина слоя раствора над полированной поверхностью микро-

шлифа должна быть не менее 5 мм. В процессе травления рекомендуется слегка покачивать емкость с реактивом для удаления продуктов травления с поверхности микрошлифа. Потравленный микрошлиф вынимают щипцами из емкости, промывают водой, просушивают фильтровальной бумагой, промывают спиртом или протирают без нажима ватным тампоном, обильно пропитанным спиртом, просушивают фильтровальной бумагой и под струей сухого теплого воздуха.

5.6.9 Травление микрошлифа с помощью ватного тампона, пропитанного реактивом, применяют, если при травлении на полированной поверхности образуются пленки, препятствующие дальнейшему выявлению структуры. В этом случае полированную поверхность микрошлифа протирают с небольшим нажимом ватным тампоном, обильно пропитанным реактивом. Механическое воздействие способствует удалению образующихся пленок. Продолжительность травления составляет несколько секунд. После чего потравленный микрошлиф промывают водой, просушивают фильтровальной бумагой, промывают спиртом или протирают без нажима ватным тампоном, обильно пропитанным спиртом, просушивают фильтровальной бумагой и под струей сухого теплого воздуха.

5.6.10 Травление микрошлифа путем нанесения на его поверхность реактива из капельницы или пипетки применяют:

- если при травлении погружением очень быстро выявляется структура;
- если травление погружением невозможно из-за больших размеров микрошлифа;
- если микрошлиф выполнен на поверхности изделия.

5.6.11 В этом случае на полированную поверхность микрошлифа наносят реактив каплями так, чтобы была покрыта вся необходимая поверхность. Продолжительность травления составляет несколько секунд. После чего потравленный микрошлиф промывают водой, просушивают фильтровальной бумагой, промывают спиртом или протирают без нажима ватным тампоном, обильно пропитанным спиртом, просушивают фильтровальной бумагой и под струей сухого теплого воздуха.

5.6.12 Травление микрошлифа электролитическим способом, как правило, применяют для высоколегированных сталей. Катодом служит металлическая пластинка из нержавеющей стали, меди, свинца и других материалов.

5.6.13 Травление микрошлифов сварных соединений из плакированного проката (двухслойной стали) или металла разнородных сварных соединений необходимо проводить последовательно: сначала проводят травление с полированием основного слоя или металла из нелегированной (углеродистой), легированной марганцевокремнистой (низколегированной) стали до получения четкой структуры, затем проводят травление электролитическим способом плакирующего слоя или металла из нержавеющей (высоколегированной) стали и металла шва. После чего потравленный микрошлиф промывают водой, просушивают фильтровальной бумагой, промывают спиртом или протирают без нажима ватным тампоном, обильно пропитанным спиртом, просушивают фильтровальной бумагой и под струей сухого теплого воздуха.

5.6.14 Для получения четкой структуры рекомендуется проводить травление 2—4 раза с проведением полирования перед каждым травлением.

5.6.15 Выявление структуры при травлении следует контролировать с помощью микроскопа, причем контроль выявляемой структуры необходимо проводить при том же увеличении, при котором будет проведено металлографическое исследование.

5.7 Хранение шлифов

5.7.1 Шлифы следует хранить при температуре от 15 °С до 25 °С и относительной влажности не более 50 %.

5.7.2 Если после изготовления и травления шлифов металлографические исследования проводят не сразу, то подготовленную поверхность необходимо предохранять от возможного окисления.

5.7.3 Шлифы после подготовки и тщательной просушки помещают в эксикатор, представляющий собой прозрачный стеклянный сосуд, плотно закрывающийся крышкой, в нижнюю часть которого помещают гигроскопическое вещество, хорошо поглощающее влагу, которое необходимо предварительно прокаливать для полного удаления влаги.

5.7.4 Допускается хранить шлифы в стеклянных бюксах или других плотно закрывающихся емкостях, укладывая подготовленной поверхностью на вату, помещенную на дно емкости.

5.7.5 При необходимости длительного хранения шлифы обрабатывают 10 %-ным спиртовым раствором нашатырного спирта или промывают спиртом, покрывают бесцветным лаком или тонким слоем раствора кедрового масла (от 0,1 до 0,2 $см^3$) в серном эфире (100 $см^3$). Образующаяся пленка прозрачна и не препятствует проведению исследований микрошлифа.

6 Проведение исследований и оценка результатов

6.1 Исследование макроструктуры проводят на подготовленных макрошлифах визуально без применения увеличительных вспомогательных средств и/или с помощью лупы по ГОСТ 25706 с увеличением до 30$^{\times}$, стереоскопического микроскопа с увеличением от 16$^{\times}$. Макроструктуру оценивают с учетом положений ГОСТ 10243, ГОСТ 22838, ГОСТ Р 57180.

6.2 Размеры зоны металла шва и зоны термического влияния сварного соединения на макрошлифе измеряют с помощью измерительной металлической линейки по ГОСТ 427, штангенглубиномера по ГОСТ 162, штангенциркуля по ГОСТ 166, измерительных микроскопов или систем анализа изображения. Допускается применение других средств измерений, обеспечиваемых требуемую точность.

6.3 Характер и дисперсность первичной структуры сварного шва (размер и морфология кристаллитов, угол их наклона относительно оси шва) зависят от режимов сварки, теплофизических условий кристаллизации и оказывают существенное влияние на механические свойства сварного шва. При отработке технологии сварки тип макроструктуры сварного шва можно определить путем сравнительной оценки с типами структур, представленными в ГОСТ Р 57180—2016 (приложение В).

6.4 Исследование микроструктуры проводят на подготовленных микрошлифах в два этапа с помощью оптических и/или электронных микроскопов. Качественную и количественную оценку фазовых и структурных составляющих микроструктуры проводят путем сравнения с эталонными шкалами или с помощью программных средств обработки и анализа изображений. При выявлении дефектов применяют небольшие увеличения, позволяющие получить общее представление об их расположении и размерах, и большие увеличения, позволяющие детально изучить их морфологию.

6.5 На первом этапе проводят исследование нетравленых микрошлифов при увеличениях, как правило, от 50$^{\times}$ до 200$^{\times}$, при этом выявляют наличие микродефектов (микротрещин, микропор и др.), оценивают природу и загрязненность неметаллическими включениями по ГОСТ 1778, ГОСТ Р ИСО 4967 (если требуется).

6.6 На втором этапе проводят исследование травленных микрошлифов при увеличениях, как правило, от 100$^{\times}$ до 2000$^{\times}$ для выявления микродефектов, оценки структурных составляющих, их размеров, распределения и количественного соотношения, глубины обезуглероженного слоя, выявления межкристаллитной коррозии, других параметров и дефектов по ГОСТ 8233, ГОСТ 5639, ГОСТ 1763, ГОСТ 6032, ГОСТ Р ИСО 14250, ГОСТ Р ИСО 643.

6.7 Результаты металлографических исследований сварных соединений должны быть оформлены документально. Рекомендуемая форма протокола металлографических исследований сварных соединений приведена в приложении Б.

6.8 К протоколу металлографических исследований сварных соединений могут быть приложены цифровые изображения (фотографии) макроструктуры, микроструктуры сварного соединения, подтверждающие выявленные дефекты, обнаруженные структуры, а также при необходимости или по требованию заказчика копии свидетельства об аккредитации испытательной лаборатории, документов о квалификации специалистов, проводивших металлографические исследования, свидетельств о поверке средств измерений, паспорта или руководства по эксплуатации микроскопа.

7 Требования безопасности и охраны окружающей среды

7.1 В целях обеспечения безопасности и предупреждения нанесения вреда окружающей среде и здоровью человека проведение металлографических исследований необходимо осуществлять с учетом положений настоящего стандарта и в соответствии с руководствами по эксплуатации оборудования (станков, микроскопов), технологической и документацией организации, проводящей исследования.

7.2 При подготовке и проведении металлографических исследований необходимо соблюдать требования настоящего стандарта, пожарной безопасности, электробезопасности, охраны труда, установленные в инструкции по проведению металлографических исследований организацией, проводящей исследования.

7.3 При механическом способе шлифования и полирования шлиф необходимо слегка прижимать к вращающемуся диску во избежание вырывания шлифа, при этом он должен быть расположен так, чтобы вращение диска по шлифу шло от человека.

7.4 При механическом способе шлифования и полирования шлифов не допускается работать одновременно двумя руками на одном станке, шлифовать и полировать несколько образцов одновременно без использования струбцин или зажимов.

7.5 При шлифовании, полировании, травлении должна работать вытяжная вентиляция.

7.6 Обезжиривание поверхности шлифов необходимо проводить керосином или растворителем (спиртом, ацетоном и др.) вдали от открытого пламени и электронагревательных приборов.

7.7 Использование химической посуды или стеклотары для пищи и питья не допускается.

7.8 Все химические реактивы должны иметь четкую идентификационную маркировку — этикетки с наименованиями, предписывающие знаки или надписи.

7.9 Все химические реактивы необходимо хранить в закрытых стеклянных сосудах с герметично закрывающимися пробками или крышками в специальном шкафу.

7.10 Кислоты необходимо хранить в вытяжном шкафу в закрытых сосудах с герметично закрывающимися пробками в поддонах. Плавиковую кислоту необходимо хранить в полиэтиленовом сосуде.

7.11 Количество кислоты (азотной, серной, соляной и др.), хранимой в лаборатории, не должно превышать десятидневной потребности или 1 л.

7.12 При работе с едкими щелочами и концентрированными кислотами необходимо использовать средства индивидуальной защиты такие, как очки, халат, резиновые перчатки, резиновые сапоги.

7.13 При разбавлении кислот, особенно серной кислоты, необходимо подливать кислоту в воду или спирт небольшими порциями по стеклянной палочке, постоянно помешивая.

7.14 Кислоту, растворы щелочи и цианистых солей необходимо набирать в пипетку только с помощью резиновой груши. Всасывать ртом в пипетку не допускается. При переливании кислоты необходимо использовать сифон с грушей.

7.15 Щелочь в твердом виде необходимо брать только щипцами. Раствор щелочи следует готовить в фарфоровом стакане.

7.16 На рабочем месте, где хранят, готовят и используют реактивы для травления, должны находиться нейтрализующие растворы: 2 %-ный раствор питьевой соды, 1 %-ный (по объему) раствор соляной кислоты, 2 %-ный раствор марганцовокислого калия, насыщенный раствор борной кислоты.

7.17 При травлении макрошлифов в подогретых растворах уровень раствора в ванне должен быть не выше 2/3 ее высоты в целях предупреждения возможности переливания раствора через край при вскипании.

7.18 Погружать и извлекать из раствора шлифы необходимо только с помощью щипцов.

7.19 В случае проливания кислот или их растворов необходимо засыпать песком данный участок, собрать образовавшуюся массу металлическим совком в эмалированное ведро, облитый участок вымыть раствором соды и водой.

7.20 При попадании кислоты или щелочи на поверхность тела пораженное место необходимо тщательно промыть водой, затем, в случае попадания кислоты нейтрализовать 2 %-ным раствором питьевой соды, щелочи — 1 %-ным раствором соляной кислоты.

7.21 В случае появления после ожога красноты промыть пораженное место 2 %-ным раствором марганцовокислого калия.

7.22 В случае попадания кислоты в глаза или полость рта промыть (прополоскать) насыщенным раствором борной кислоты.

7.23 После оказания первой помощи следует обратиться за медицинской помощью.

7.24 Легколетучие, воспламеняющиеся и взрывоопасные вещества (бензин, бензол, спирт, ацетон, масло, уксусную кислоту и др.) можно нагревать только на водяной бане на плитах с закрытой спиралью в вытяжном шкафу.

7.25 По окончании работ с кислотами и щелочами рабочее место необходимо привести в порядок, а руки тщательно вымыть.

7.26 При работе с электроприборами необходимо строго следить за исправностью изоляции проводов и состоянием розеток, вилок и рубильников.

7.27 Корпуса выпрямителей установок электролитического полирования и травления, станки и микроскопы должны быть заземлены.

7.28 При работе на установках электролитического полирования и травления необходимо обращать внимание на исправность контактов в рукоятках зажимных пинцетов. Неисправности должны быть устранены немедленно.

7.29 По окончании электролитического полирования и травления выпрямитель должен быть выключен.

7.30 При работе на установках электролитического полирования и травления необходимо пользоваться резиновыми ковриками. Прикасаться руками к токоведущим частям приспособления при включенной установке не допускается.

7.31 При работе на микроскопах необходимо соблюдать меры предосторожности, предусмотренные при работе с электроосветительными приборами, следить за исправностью розеток, вилок и токоведущей проводки.

7.32 По окончанию работ в лаборатории следует отключить от сети станки, вентиляторы вытяжных шкафов, электроприборы.

7.33 К проведению металлографических исследований допускается персонал, имеющий документ о соответствующей квалификации и прошедший инструктаж по работе с оборудованием испытательной лаборатории.

Приложение А
(рекомендуемое)

Реактивы и режимы травления

Характеристики компонентов реактивов и рекомендуемые составы реактивов, режимы травления и область их применения приведены в таблицах А.1—А.3.

Таблица А.1 — Характеристики компонентов реактивов

Наименование и обозначение компонента	Плотность, г/см^3	Концентрация, %	Гидрат соли *x*-водный
Соляная кислота HCl	1,15—1,19	35—38	—
Азотная кислота HNO_3	1,40	65	—
Серная кислота H_2SO_4	1,84	98	—
Плавиковая кислота HF	1,13	40	—
Пероксид водорода H_2O_2	—	6 (объемные)	—
Ортофосфорная кислота H_3PO_4	1,70	85	—
Уксусная кислота CH_3COOH («ледяная»)	1,05	99,1	—
Хлорная кислота $HClO_4$	1,62—1,65	70	—
Щавелевая кислота $C_2H_2O_4$	—	—	2
Хлорид железа (III) $FeCl_3$	—	—	6
Хлорид меди (II) $CuCl_2$	—	—	2
Хлорид магния $MgCl_2$	—	—	6
Нитрат железа (III) $Fe(NO_3)_3$	—	—	9
Пероксодисульфат аммония $(NH_4)_2S_2O_8$	1,982	—	—
Бихромат калия $K_2Cr_2O_7$	2,676	—	—
Пикриновая кислота $(C_6H_2(NO_2)_3OH$	1,813	—	—
Хромовый ангидрид CrO_3	2,8	1	—
Медный купорос $CuSO_4$	2,5	—	—
Едкий натр NaOH	2,13	—	—
Красная кровяная соль $K_3(FeCN_6)$	1,845	—	—

Таблица А.2 — Реактивы и режимы травления для выявления макроструктуры

Номер реактива	Состав реактива	Режим травления	Область применения
1	100 мл соляной кислоты (HCl), 100 мл воды (H_2O)	Травить в подогретом до 70 °С реактиве до четкого выявления структуры с последующим осветлением в 5 %-ном спиртовом растворе азотной кислоты	Для нелегированной (углеродистой) и легированной (низколегированной, среднелегированной) стали

Окончание таблицы А.2

Номер реактива	Состав реактива	Режим травления	Область применения
2	10 %-ный водный раствор пероксодисульфата аммония $(NH_4)_2S_2O_8$	Травить, протирая поверхность шлифа ватным тампоном, пропитанным подогретым от 40 °С до 70 °С свежеприготовленным реактивом, до четкого выявления структуры с последующим осветлением в 30 %-ном водном растворе азотной кислоты	Для легированной (низколегированной) стали
3	100 мл соляной кислоты (HCl), 10 мл азотной кислоты (HNO_3), 25 г дихромата калия ($K_2Cr_2O_7$), 100 мл воды (H_2O)	Травить, протирая поверхность шлифа ватным тампоном, пропитанным реактивом, до четкого выявления структуры	Для легированной (низколегированной) стали
4	200 г хлорида железа (III) ($FeCl_3$), 300 мл азотной кислоты (HNO_3), 100 мл воды (H_2O)	Травить в подогретом от 60 °С до 70 °С реактиве до четкого выявления структуры с последующим осветлением в 30 %-ном водном растворе азотной кислоты	Для легированной (низколегированной, среднелегированной) стали
5	100 мл азотной кислоты (HNO_3), 300 мл соляной кислоты (HCl)	Травить в подогретом от 60 °С до 70 °С реактиве или протирать поверхность шлифа ватным тампоном, пропитанным реактивом, до четкого выявления структуры	Для нержавеющей (высоколегированной) стали
6	50 мл соляной кислоты (HCl), 70 мл серной кислоты (H_2SO_4), 180 мл воды (H_2O)	Травить в кипящем реактиве до четкого выявления структуры	Для нержавеющей (высоколегированной) стали

Таблица А.3 — Реактивы и режимы травления для выявления микроструктуры

Номер реактива	Состав реактива	Режим травления	Область применения
1	2—4 %-ный раствор азотной кислоты (HNO_3) в этиловом спирте (C_2H_5OH)	Травить, погружая шлиф в реактив. Продолжительность травления от нескольких секунд до одной минуты	Для выявления границ зерен нелегированной (углеродистой) и легированной (низколегированной, среднелегированной) стали
2	4 %-ный раствор пикриновой кислоты ($C_6H_2(NO_2)_3OH$) в этиловом спирте (C_2H_5OH)	Травить, погружая шлиф в реактив или протирая ватным тампоном, пропитанным реактиве	Для выявления границ зерен нелегированной (углеродистой) и легированной (низколегированной, среднелегированной) стали

Продолжение таблицы А.3

Номер реактива	Состав реактива	Режим травления	Область применения
3	1—25 г хлорида железа (III) ($FeCl_3$), 50 мл соляной кислоты (HCl), 120 мл воды (H_2O)	Травить, погружая шлиф в реактив или протирая ватным тампоном, пропитанным реактивом	Для выявления границ зерен, ликвации и карбидов, сегрегаций фосфора и других деталей структуры хромистой, хромоникелевой и другой нержавеющей (высоколегированной) стали аустенитного или ферритного класса
4	10 %-ный водный раствор щавелевой кислоты ($C_2H_2O_4$)	Электролитическое травление: напряжение от 3 до 6 В; плотность тока от 0,4 до 0,8 А/см^2; продолжительность травления от 5 до 30 с	Для нержавеющей (высоколегированной) стали аустенитного или аустенито-ферритного класса
5	10—15 %-ный водный раствор хромового ангидрида (CrO_3)	Электролитическое травление: напряжение от 1,5 до 2,0 В; плотность тока от 1,0 до 1,5 А/см^2; продолжительность травления от 5 до 30 с	Для нержавеющей (высоколегированной) стали аустенитного класса
6	4 г медного купороса ($CuSO_4$), 20 мл соляной кислоты (HCl), 20 мл воды (H_2O)	Травить, погружая шлиф в реактиве. Продолжительность травления от 10 до 15 с	Для выявления мартенсита в аустенитных сварных швах
7	10 %-ный водный раствор едкого натра (NaOH)	Электролитическое травление: напряжение от 1,5 до 2,0 В; плотность тока от 1,0 до 1,5 А/см^2; продолжительность травления от 20 до 30 с	Для выявления α-фазы в металле шва, зоне термического влияния и основном металле нержавеющей (высоколегированной) стали аустенитного или аустенитно-ферритного класса
8	5 %-ный раствор соляной кислоты (HCl) в этиловом спирте (C_2H_5OH)	Электролитическое травление: напряжение от 1,5 до 2,0 В; плотность тока от 1,0 до 1,5 А/см^2; продолжительность травления от 20 до 30 с	
9	10 г красной кровяной соли ($K_3(FeCN_6)$, 100 г едкого натра (NaOH), 100 мл воды (H_2O)	Травить, погружая шлиф в кипящий реактив. Продолжительность травления от 2,0 до 2,5 мин	Для выявления α-фазы в металле шва, зоне термического влияния и основном металле нержавеющей (высоколегированной) стали аустенитного или аустенитно-ферритного класса
10	Азотная кислота (HNO_3)	Электролитическое травление: напряжение 3 В; продолжительность травления 10 с	
11	0,5 %-ный водный раствор плавиковой кислоты (HF)	Травить, погружая шлиф в реактив или протирая ватным тампоном, пропитанным реактивом. Продолжительность травления от 10 до 20 с	
12	0,5 мл азотной кислоты (HNO_3), 30 мл соляной кислоты (HCl), 70 мл уксусной кислоты (CH_3COOH)	Травить, погружая шлиф в реактив. Продолжительность травления от 10 до 15 с	Для никеля и сплавов на никелевой основе

Окончание таблицы А.3

Номер реактива	Состав реактива	Режим травления	Область применения
13	10 мл азотной кислоты (HNO_3), 100 мл соляной кислоты (HCl), 100 мл воды (H_2O)	Травить, погружая шлиф в кипящий реактив. Для получения лучшего результата необходимо двух-, трехкратное полирование	Для никеля
14	2 мл азотной кислоты (HNO_3), 15 мл соляной кислоты (HCl), 100 мл этилового спирта (C_2H_5OH)	Электролитическое травление: напряжение от 1,5 до 2,0 В; продолжительность травления от 5 до 30 с	Для никеля и сплавов на никелевой основе
15	10 г медного купороса ($CuSO_4$), 50 мл соляной кислоты (HCl), 50 мл воды (H_2O)	Травить, погружая шлиф в реактив. Продолжительность травления от 10 до 15 с	Для никеля и сплавов на никелевой основе
16	1 г пикриновой кислоты ($C_6H_2(NO_2)_3OH$), 5 мл соляной кислоты (HCl), 100 мл этилового спирта (C_2H_5OH)	Травить, погружая шлиф в реактив или протирая ватным тампоном, пропитанным реактивом	Для хромоникелевой нержавеющей (высоколегированной) стали
17	3 мл азотной кислоты (HNO_3), 10 мл соляной кислоты (HCl), 90 мл этилового спирта (C_2H_5OH)	Электролитическое травление: плотность тока от 15 А/см^2; продолжительность травления 7 с	Для сварных соединений из плакированного проката (двухслойной стали)
18	1,6 мл азотной кислоты (HNO_3), 2 мл соляной кислоты (HCl), 100 мл этилового спирта	Электролитическое травление: напряжение 10 В; продолжительность травления от 5 до 10 с; материал катода — медь	Для выявления мартенсита
19	3 мл азотной кислоты (HNO_3), 5 мл серной кислоты (H_2SO_4), 92 мл соляной кислоты (HCl)	Травить, погружая шлиф в подогретый реактив	Для выявления дефектов после испытаний на стойкость против межкристаллитной коррозии
20	900 мл уксусной кислоты (CH_3COOH), 100 мл хлорной кислоты ($HClO_4$)	Электролитическое травление: плотность тока от 1 до 5 А/см^2; продолжительность травления 2 с	Универсальный электролит. Для нержавеющей (высоколегированной) стали аустенитного класса

Приложение Б
(рекомендуемое)

Форма протокола металлографических исследований

Протокол металлографических исследований сварных соединений

№ _____ от «___» _____ 20___ г.

Обозначение сварного соединения, тип, стандарт	
Свариваемые материалы, марка, плавка, партия	
Документ о качестве на свариваемые материалы (номер и дата)	
Вид сварочного процесса	
Сварочные материалы, вид, тип, марка, плавка, партия	
Документ о качестве на сварочные материалы (номер и дата)	
Послесварочная термическая обработка (номер документа и дата проведения, режим)	
Реактивы	
Испытательное оборудование	

1 Металлографическое исследование макроструктуры сварного соединения



Рисунок 1 — Изображение макроструктуры сварного соединения (тип соединения), (увеличение)

Заключение: _____

2 Металлографическое исследование микроструктуры сварного соединения



а — металл шва б — зона термического влияния в — основной металл

Рисунок 2 — Изображения микроструктуры сварного соединения (тип соединения), (увеличение)

Заключение: _____

Исполнитель:

_____	_____	_____
(Должность)	(Подпись)	(Фамилия и инициалы)

Документ о квалификации

Руководитель:

_____	_____	_____
(Должность)	(Подпись)	(Фамилия и инициалы)

Документ о квалификации

УДК 669.01.539.215.2:006.354

ОКС 71.120.01
25.160.40

Ключевые слова: металлографические исследования, сосуд, аппарат, сварное соединение

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

Сдано в набор 04.04.2025. Подписано в печать 07.04.2025. Формат 60×84⅛. Гарнитура Ариал.
Усл. печ. л. 2,32. Уч.-изд. л. 1,90.

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

gost.e-ecolog.ru