



СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
SIBERIAN FEDERAL UNIVERSITY

# МЕТОДЫ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ

**УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ**



**ИНСТИТУТ НЕФТИ И ГАЗА**

УДК 620.178.15(07)  
ББК 34.2я73  
М545

**Р е ц е н з е н т ы:**

Н. М. Коновалов, кандидат технических наук, начальник Красноярского районного нефтепроводного управления АО «Транснефть – Западная Сибирь»;

А. В. Головков, кандидат технических наук, инженер по метрологии ООО «РН-Красноярскнефтепродукт»

**М545      Методы неразрушающего контроля : учеб. пособие / О. Н. Петров, А. Н. Сокольников, В. И. Верещагин, Д. В. Агровиченко. – Красноярск : Сиб. федер. ун-т, 2021. – 132 с.  
ISBN 978-5-7638-4317-0**

Рассмотрены основные виды неразрушающего физического контроля, а также визуальный и измерительный контроль, применяемые при техническом диагностировании объектов трубопроводного транспорта углеводородной продукции на основе нормативных документов, регламентирующих определения, классификацию, заложенный физический принцип, технологию проведения того или иного метода контроля.

Предназначено для студентов, обучающихся по направлению подготовки 23.03.03 «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов», профили 23.03.03.07 «Сервис транспортных и транспортно-технологических машин и оборудования (трубопроводный транспорт нефти и газа)» и 23.03.03.09 «Эксплуатация и обслуживание объектов транспорта, хранения и распределения нефти, нефтепродуктов и газа».

**Электронный вариант издания см.:**  
**<http://catalog.sfu-kras.ru>**

**УДК 620.178.15(07)**  
**ББК 34.2я73**

ISBN 978-5-7638-4317-0

© Сибирский федеральный университет, 2021

## || ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
Глава 1. ВИДЫ КОНТРОЛЯ ОПАСНЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОБЪЕКТОВ. ПОНЯТИЕ О ДЕФЕКТАХ .....	6
Глава 2. СВАРНОЙ ШОВ. ГЕОМЕТРИЯ И ДЕФЕКТЫ СВАРНЫХ ШВОВ .....	12
Глава 3. ВИЗУАЛЬНЫЙ И ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ КОНТРОЛЬ .....	19
Глава 4. МЕТОДЫ ОПТИЧЕСКОГО ВИДА НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ.....	28
Глава 5. КОНТРОЛЬ ПРОНИКАЮЩИМИ ВЕЩЕСТВАМИ .....	33
5.1. Течеискание.....	33
5.2. Капиллярный метод.....	36
Глава 6. МЕТОДЫ МАГНИТНОГО ВИДА НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ.....	40
Глава 7. МЕТОДЫ ВИХРЕТОКОВОГО, ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО И РАДИОВОЛНОВОГО ВИДОВ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ.....	48
7.1. Методы вихретокового вида неразрушающего контроля .....	48
7.2. Методы электрического неразрушающего контроля .....	51
7.3. Методы радиоволнового неразрушающего контроля .....	54
Глава 8. МЕТОДЫ РАДИАЦИОННОГО ВИДА НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ.....	58
Глава 9. МЕТОДЫ АКУСТИЧЕСКОГО НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ.....	76

Г л а в а 10. ОТБРАКОВКА ВЫЯВЛЕННЫХ ДЕФЕКТОВ.....	81
Г л а в а 11. ОСНОВЫ ТЕХНИЧЕСКОГО ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ОБЪЕКТОВ ТРУБОПРОВОДНОГО ТРАНСПОРТА.....	89
11.1. Внутритрубная диагностика.....	90
11.2. Наружное диагностирование методами неразрушающего контроля.....	93
11.3. Электрометрическое диагностирование.....	94
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	97
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	98
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	101
<i>Приложение А.</i> Операционная технологическая карта визуального и измерительного контроля сварных соединений.....	102
<i>Приложение Б.</i> Операционная технологическая карта капиллярного контроля сварных соединений.....	105
<i>Приложение В.</i> Операционная технологическая карта магнитопорошкового контроля сварных соединений ....	108
<i>Приложение Г.</i> Операционная технологическая карта радиографического контроля сварных соединений.....	110
<i>Приложение Д.</i> Операционная технологическая карта ультразвукового контроля сварных соединений.....	115
<i>Приложение Е.</i> Примеры изображения дефектов сварных швов на радиографических снимках.....	120

## || ВВЕДЕНИЕ

В процессе сооружения и эксплуатации объектов магистральных трубопроводов возникает необходимость контроля их соответствия установленным техническим требованиям. Согласно системе государственных испытаний продукции [1], методы контроля можно разделить на методы разрушающего и неразрушающего контроля; при этом только при неразрушающем контроле сохраняется пригодность объекта к применению.

Согласно стандарту [2], определяющему классификацию видов и методов неразрушающего физического контроля, в зависимости от физических явлений, положенных в его основу, все методы сгруппированы в девять видов, за исключением визуального и измерительного контроля. При этом самих методов неразрушающего физического контроля насчитывается около ста и многие из них могут осуществляться различными способами.

Необходимость контроля и широкий спектр возможных методов и способов его проведения требует некоторой систематизации правил применения определенных принципов и средств неразрушающего контроля к объектам трубопроводного транспорта углеводородного сырья.

Цель учебного пособия – анализ видов и методов неразрушающего контроля и определение применимости их при техническом диагностировании объектов трубопроводного транспорта.

В пособии рассмотрены основные виды неразрушающего физического контроля, а также визуальный и измерительный контроль, применяемые при техническом диагностировании объектов магистрального транспорта углеводородной продукции на основе нормативных документов, регламентирующих определения, классификацию, заложенный физический принцип, технологию проведения того или иного метода контроля.

Учебное пособие соответствует образовательным программам обучения студентов по направлению подготовки 23.03.03 «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов», профили 23.03.03.07 «Сервис транспортных и транспортно-технологических машин и оборудования (трубопроводный транспорт нефти и газа)» и 23.03.03.09 «Эксплуатация и обслуживание объектов транспорта, хранения и распределения нефти, нефтепродуктов и газа».

## Глава 1 || ВИДЫ КОНТРОЛЯ ОПАСНЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОБЪЕКТОВ. ПОНЯТИЕ О ДЕФЕКТАХ

В руководящем документе с шифром РД 03-16–2006 [3] дано определение опасного производственного объекта как предприятия или его цеха, участка, площадки, а также иного производственного объекта, обладающего одним или более признаками опасности, указанными в прил. 1 к Федеральному закону «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» [4]. При детальном изучении указанного приложения можно сделать вывод, что к категории опасных производственных объектов относятся объекты, на которых получают, используются, перерабатываются, образуются, хранятся, транспортируются, уничтожаются жидкости, газы, способные самовозгораться, а также возгораться от источника зажигания и самостоятельно гореть после его удаления, используется оборудование, работающее под избыточным давлением более 0,07 МПа.

Таким образом, объекты трубопроводного транспорта углеводородного сырья относятся к опасным производственным объектам и подлежат техническому контролю.

В п. 2 ГОСТ 16504–81 [1] термин «технический контроль» определен как проверка соответствия объекта установленным техническим требованиям.

Для проверки соответствия объекта требованиям его подвергают испытаниям той или иной категории, т. е. экспериментальному определению количественных и/или качественных характеристик и свойств объекта испытания (см п. 1. ГОСТ 16504–81). Категория испытаний – это вид испытаний, характеризуемый организационным признаком их проведения и принятием решений по результатам оценки объекта в целом.

В ГОСТ 16504–81 [1] указано, что все испытания можно разделить на две категории: неразрушающие и разрушающие с применением методов неразрушающего или разрушающего контроля соответственно; при этом под методом контроля следует понимать правила применения определенных принципов и средств контроля. Методы разрушающего контроля – это такие, при которых возможно нарушение пригодности объекта к применению. Методы неразрушающего контроля – это методы контроля, при которых не допускается нарушение пригодности объекта к применению.

К методам разрушающего контроля относят, согласно работе А. Ю. Смолина с соавторами [5]:

- лабораторный химический анализ материала объекта, например для определения процентного содержания углерода, кремния, марганца и фосфора. Для этого производят насверловку металла;

- металлографический анализ – это исследование структуры металла. Для этого необходимо вырезать шлиф. Шлиф металлографический – это образец исследуемого металла, отполированный до зеркальной поверхности. В лабораториях шлиф подвергается травлению – воздействию специальными реактивами, позволяющими проявить структуру металла;

- лабораторные механические испытания материала на растяжение, сжатие, изгиб, удар. Для этого необходима вырезка темплета. Темплет – плоский образец, вырез из металлического изделия, выполненный согласно ГОСТ 10243–75 [6]. Часто из темплета вырезают шлиф.

Кроме того, к разрушающему контролю относят еще и повреждающий контроль. Повреждающий контроль – это контроль, при котором объект сохраняет работоспособность, но в местах контроля остаются следы, не препятствующие эксплуатации.

К методам повреждающего контроля относятся:

- твердометрия – вдавливание индекторов в испытуемый материал, при этом на поверхности остается след в виде углубления, повторяющего форму индектора. Индектор – элемент прибора, вдавливаемый в образец, например шарик или пирамидка из баббита или алмаза;

- стилоскопирование – оценка марки стали по составу оптического спектра вольтовой дуги, создаваемой между электродом стилоскопа и поверхностью исследуемого объекта, при этом на поверхности остается след в виде прижога.

Поскольку объекты трубопроводного транспорта не допускают нарушение целостности изделий, подлежащих контролю, то в данном случае возможно применение только методов неразрушающего контроля, если это не предусматривается программой технического диагностирования.

Методы неразрушающего контроля регламентируются ГОСТ 18353–79 [2], при этом все методы контроля по определенному признаку группируются в виды контроля.

В ГОСТ 18353–79 [2] различаются понятия «неразрушающий контроль» и «неразрушающий физический контроль». Это следует из п. 1 ГОСТа. Здесь указано, что данный стандарт определяет классификацию методов неразрушающего контроля по виду физического процесса, заложенного в основу контроля, с момента взаимодействия физического поля или вещества с объектом контроля до получения первичной информации. Однако известно, что существует визуальный и измерительный контроль [1], который является неразрушающим, но не относится к неразрушающему физическому контролю, что следует из п. 3 РД 03-606–03 [7].

Следовательно, к неразрушающему контролю относятся неразрушающий физический контроль, а также визуальный и измерительный контроль. Визуальный и измерительный контроль частично может относиться к неразрушающему физическому контролю, так как применяемые в наборе визуального и измерительного контроля измерительные лупы являются простыми оптическими системами, относящимися к оптическому, т. е. физическому, виду неразрушающего контроля.

Из п. 2 ГОСТ 18353–79 [2] следует, что неразрушающий контроль в зависимости от физических явлений, положенных в его основу, подразделяется на виды:

- 1) магнитный;
- 2) электрический;
- 3) вихретоковый;
- 4) радиоволновой;
- 5) тепловой;
- 6) оптический;
- 7) радиационный;
- 8) акустический;
- 9) проникающими веществами.

Всего, по ГОСТ 18353–79 [2], среди указанных девяти видов неразрушающего физического контроля выделено около 100 методов.

В труде А. Ю. Смолина с соавторами [5] методы неразрушающего физического контроля классифицируются на две категории:

- поверхностные – методы, которые позволяют обнаруживать только дефекты, имеющие выход на поверхность;
- объемные – методы, которые позволяют обнаружить внутренние дефекты, а поверхностные дефекты – только в том случае, когда они крупные.

В табл. 1 приведено соотношение вида контроля и категории.

На рис. 1 приведена схема полного технического диагностирования объектов контроля согласно работе [5].

Вначале проводят визуальный и измерительный контроль, так как если имеются очевидные повреждения объекта, то нет смысла проводить другие, более трудоемкие и дорогостоящие, виды контроля.

Далее следует провести твердомерию ультразвуковыми или динамическими твердомерами, если это допускается программой технического диагностирования. Данные приборы выполнены портативными. Такие приборы могут оставлять следы на объекте контроля при проведении испытания; поэтому нельзя считать такие испытания неразрушающими. Если по показаниям приборов-твердомеров определены недопустимые отклонения, объект контроля относят к категории «не годен» и дальнейший контроль проводить не имеет смысла.



Таблица 1

**Виды и категории неразрушающего физического контроля**

Вид контроля	Категория	Требования к материалу
Оптический*	Для оптически прозрачных материалов – объемный, непрозрачных – поверхностный	Любой твердый или жидкий
Проникающими веществами	Поверхностный	Любой твердый
Магнитный	Поверхностный**	Ферромагнитные металлы
Вихретоковый	Поверхностный**	Любые металлы
Электрический	Поверхностный**	Любые металлы
Радиоволновой	Объемный	Любые неметаллы
Радиационный	Объемный	Любой твердый
Акустический	Объемный	Любой твердый или жидкий
Тепловой	Объемный	Любой твердый или жидкий

**П р и м е ч а н и я:**

\* оптический вид контроля частично входит в состав визуального и измерительного контроля, когда речь идет о применении специальных увеличительных средств;

\*\* эти методы позволяют обнаруживать не только поверхностные, но и подповерхностные дефекты, залегающие на глубине до 2 мм.

Одновременно с твердометрией рекомендуется провести толщинометрию в тех же точках, в которых была проведена твердометрия. Если значение толщины выходит за допустимые пределы, то объект контроля относят к категории «не годен», и дальнейший контроль проводить также не имеет смысла.

Если по результатам указанных выше испытаний объект контроля был отнесен к категории «годен», то проводят контроль разрушающими методами, если это предусмотрено программой технической диагностики. Если результаты удовлетворительные, то далее приступают к проведению методов неразрушающего контроля. При этом места отбора проб также будут подвержены методам неразрушающего контроля. Поэтому методы неразрушающего контроля используют в последнюю очередь.

В процедуру проведения контроля неразрушающими методами входят как минимум два метода – один поверхностный и один объемный. Так как поверхностные методы более просты в исполнении, то их применяют перед объемными.

В паспортах на изделия указываются предельные отклонения параметров изделия от их номинальных значений. При этих предельных значениях изделие выполняет свои функции без снижения надежности.

Отклонение является допустимым, если значение параметров изделия находится в пределах, указанных в паспорте. Если значение параметра находится за пределами, указанными в паспорте, то это свидетельствует о наличии дефекта.

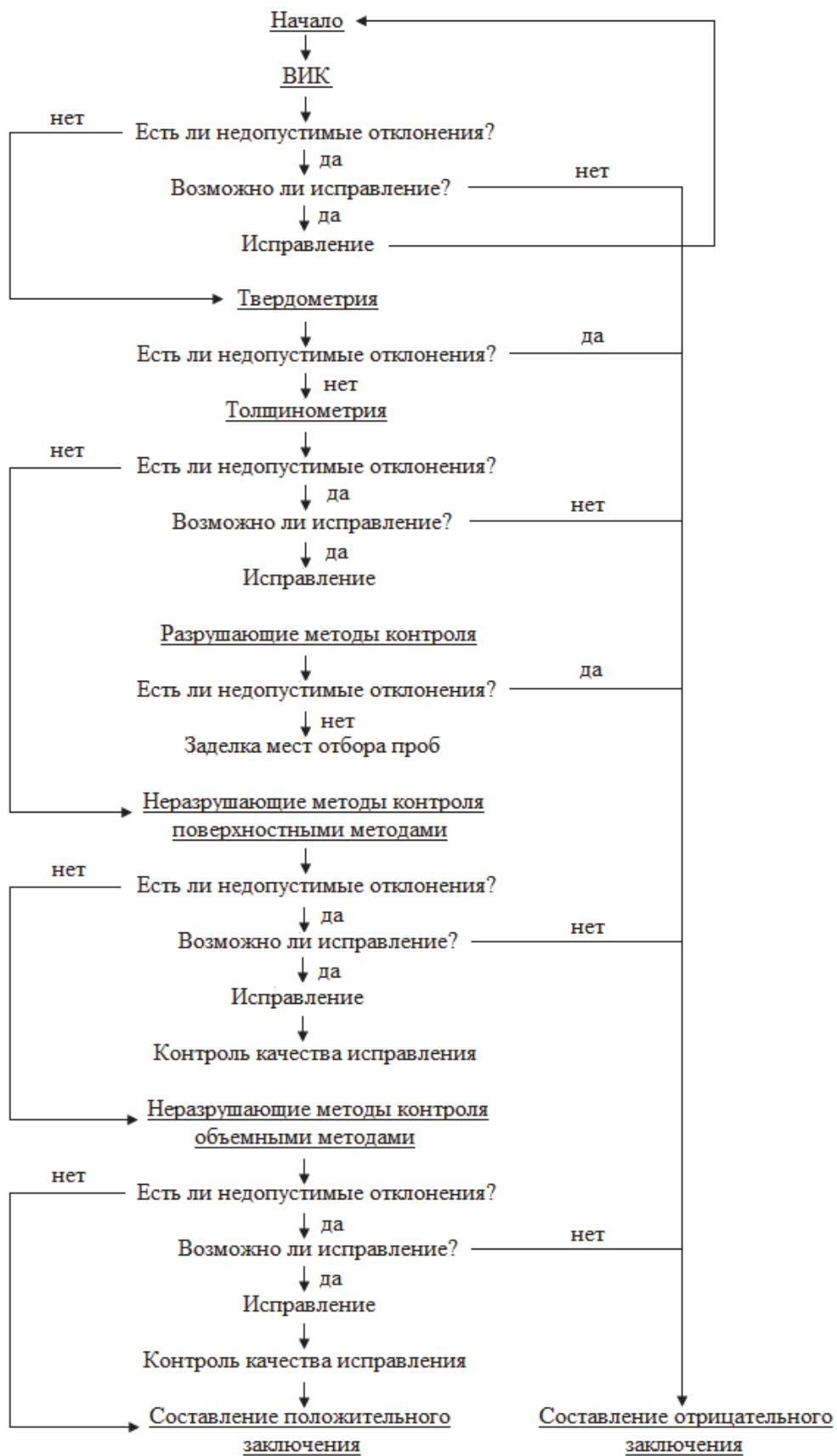


Рис. 1. Схема технической диагностики

В прил. А «Термины и определения основных понятий» РД 03-606–03 [7] дано определение дефекта как несоответствия продукции требованиям, которые установлены нормативной документацией. При этом объект контроля, содержащий недопустимый дефект, называется браком.

Дефекты могут быть явными и скрытыми. К явным дефектам относятся дефекты, заметные невооруженным глазом, а для выявления скрытого дефекта необходимо использование определенных приборов и видов испытаний. Кроме того, дефекты бывают исправимыми и неисправимыми [5]. Исправимый дефект – это дефект, устранение которого экономически целесообразно и технически возможно. Неисправимый дефект – это дефект, устранение которого связано с большими материальными и трудовыми затратами. Изделие, имеющее хотя бы один дефект, называется некондией.

Отклонения параметров от норм классифицируются следующим образом [5]:

- критические отклонения – это отклонения, при которых недопустимо использовать продукцию по назначению, так как она перестала отвечать требованиям безопасности;
- значительные отклонения – это отклонения, которые оказывают влияние на использование продукции по назначению и ее долговечность, но при этом не являются критическими;
- малозначительные отклонения – это отклонения, которые не влияют на использование продукции по назначению.

По происхождению дефекты можно разделить на [5]:

- конструктивные – это дефекты, возникшие из-за ошибок конструктора;
- производственно-технологические – это дефекты, возникшие при получении сырья, заготовки или изготовлении самого изделия;
- эксплуатационные – дефекты, возникшие в результате работы изделия (усталость, коррозия, износ, неправильное обслуживание и эксплуатация).

### **Контрольные вопросы и задания**

1. Соотнесите виды неразрушающего физического контроля с категориями поверхностных и объемных методов.
2. Какова последовательность проведения полного технического диагностирования опасных производственных объектов?
3. Назовите виды неразрушающего контроля.
4. Как определяются приоритеты при проведении технического контроля состояния объекта?
5. Назовите основные типы и виды дефектов.
6. Назовите нормативные документы, определяющие виды неразрушающего контроля.
7. Назовите основные методы разрушающего контроля.

## Глава 2 || СВАРНОЙ ШОВ. ГЕОМЕТРИЯ И ДЕФЕКТЫ СВАРНЫХ ШВОВ

При строительстве, эксплуатации и ремонте магистральных трубопроводов основной объем неразрушающего контроля приходится на сварные соединения линейной части магистральных трубопроводов, трубопроводов технологической обвязки и вспомогательных трубопроводов перекачивающих станций.

В прил. А «Термины и определения основных понятий» РД 03-606–03 [7] приведено определение сварного соединения как неразъемного соединения деталей сваркой, включающего в себя шов и зону термического влияния. Зона термического влияния – участок основного металла от линии сплавления до зоны, в которой происходит изменение структуры и свойств металла в результате нагрева при сварке. Здесь под основным металлом понимается металл деталей, соединяемых сваркой, а сварной шов – участок сварного соединения, образовавшийся в результате отвердевания расплавленного металла или в результате пластической деформации при сварке давлением.

В документе [7] определены пять видов сварных соединений: стыковое, угловое, нахлесточное, тавровое и торцевое. На магистральных трубопроводах используется стыковое сварное соединение.

Стыковое соединение (рис. 2) – сварное соединение элементов, примыкающих друг к другу торцевыми поверхностями.

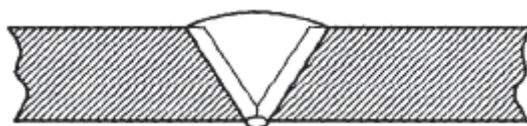


Рис. 2. Стыковое соединение

Этим же РД [7] установлены следующие виды сварных швов:

- точечный – сварной шов, выполненный сварными точками;
- непрерывный – сварной шов без промежутков по длине;
- прерывистый – сварной шов с промежутками по длине.

Для трубопроводов применим только непрерывный сварной шов.

В РД 03-606–03 [7] рассмотрено несколько элементов сварных швов, среди которых, применительно к трубопроводам, можно выделить следующие.

1. Корень шва (рис. 3) – часть сварного шва, наиболее удаленная от его лицевой поверхности.

2. Валик – металл сварного шва, наплавленный за один проход.
3. Прихватка – короткий сварной шов для фиксации взаимного расположения деталей, подлежащих сварке.

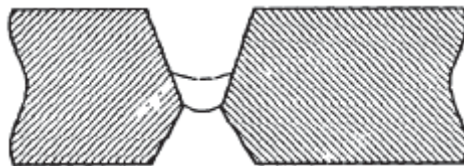


Рис. 3. Корень шва

4. Выпуклость сварного шва (рис. 4) – максимальное расстояние между плоскостью, проходящей через границы сварного шва с основным металлом, и поверхностью сварного шва.

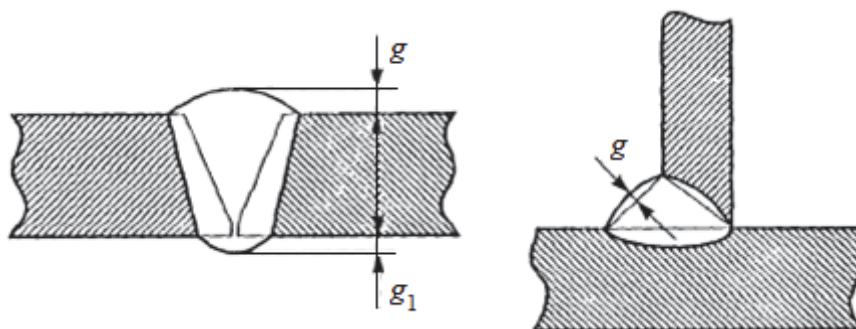


Рис. 4. Выпуклость сварного шва

5. Вогнутость сварного шва (рис. 5) – максимальное расстояние между плоскостью, проходящей через границы сварного шва с основным металлом, и поверхностью шва.

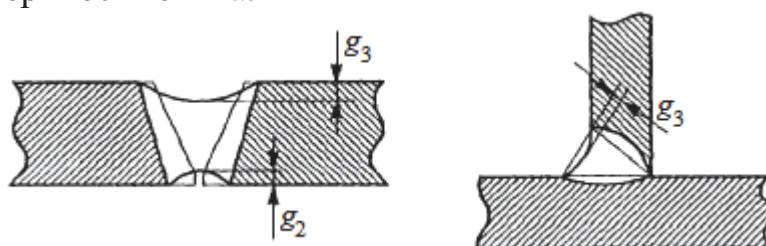


Рис. 5. Вогнутость сварного шва

8. Ширина сварного шва (рис. 6) – расстояние между линиями сплавления на лицевой стороне сварного шва в одном поперечном сечении.

9. Разделка кромки – придание необходимой формы кромкам деталей, подлежащих сварке. При этом выделяют следующие определения: