

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

---

**Н.П. Калиниченко, М.А. Васильева, А.Ю. Радостев**

# **АТЛАС ДЕФЕКТОВ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ И ОСНОВНОГО МЕТАЛЛА**

*Рекомендовано Учебно-методическим объединением вузов  
Российской Федерации по образованию  
в области приборостроения и оптоэлектроники для студентов высших учебных заведений,  
обучающихся по направлению подготовки 200100 «Приборостроение»*

Издательство  
Томского политехнического университета  
2011

УДК 621.791.05(075.8)  
ББК 34.441я73  
К17

**Калиниченко Н.П.**

К17 Атлас дефектов сварных соединений и основного металла: учебное пособие / Н.П. Калиниченко, М.А. Васильева, А.Ю. Радостев; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2011. – 71 с.

ISBN 978-5-98298-908-6

Атлас дефектов сварных соединений и основного металла включает варианты графического представления дефектов сварных соединений, фотографии и микроструктуры дефектов основного металла. Приведена информация о причинах образования дефектов, путях их предотвращения и способах устранения. Данная работа развивает раздел «Дефекты поверхности основного металла» РД 03-606-03.

Предназначено для студентов, обучающихся по специальности 200102 «Физические методы и приборы контроля качества и диагностики» направления 200100 «Приборостроение», а также может быть полезно для персонала, сертифицирующегося на I и II уровень квалификации по визуальному и измерительному контролю.

УДК 621.791.05(075.8)  
ББК 34.441я73

*Рецензенты*

Кандидат технических наук  
директор ООО «АРЦ НК»  
*М.М. Коротков*

Кандидат технических наук  
директор ООО «Дикон»  
*В.А. Забродский*

ISBN 978-5-98298-908-6

© ГОУ ВПО НИ ТПУ, 2011  
© Калиниченко Н.П., Васильева М.А.,  
Радостев А.Ю., 2011  
© Оформление. Издательство Томского  
политехнического университета, 2011

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение .....	4
1. ДЕФЕКТЫ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ПРИ ВИЗУАЛЬНОМ И ИЗМЕРИТЕЛЬНОМ КОНТРОЛЕ .....	5
1.1. Общие сведения .....	5
1.2. Классификация дефектов сварных соединений .....	7
2. ДЕФЕКТЫ ПОВЕРХНОСТИ ОСНОВНОГО МЕТАЛЛА .....	31
2.1. Дефекты поверхности, обусловленные качеством слитка и литой заготовки .....	31
2.2. Дефекты поверхности, образовавшиеся в процессе деформации .....	42
2.3. Дефекты поверхности, образовавшиеся при отделочных операциях .....	59
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ .....	66
ПРИЛОЖЕНИЕ .....	67

## ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время для выявления дефектов используют различные виды неразрушающего контроля, и среди них важное место занимает визуальный и измерительный контроль (ВИК), который проводится, как правило, первым среди других методов контроля. Визуальный и измерительный контроль выполняется на стадиях входного контроля основного материала (полуфабрикатов, заготовок, деталей) и сварных соединений, изготовления (ремонта, монтажа) деталей, сборочных единиц и изделий, а также при техническом диагностировании состояния материала. При этом крупные дефекты могут быть выявлены без применения вспомогательных средств. Мелкие дефекты и подозрительные места, выявленные визуально, более детально исследуются другими методами НК.

Основополагающим документом по ВИК является «Инструкция по визуальному и измерительному контролю», которая была переиздана в 2003 году (РД 03-606). В данном документе представлен перечень дефектов сварных соединений, их определения и графические изображения большинства из них. Дополнительно введён новый раздел: дефекты основного металла.

Значительным недостатком новой инструкции является отсутствие графического представления дефектов поверхности основного металла, информации о причинах образования этих дефектов, путях их предотвращения и способах устранения.

Специалистам же, проводящим неразрушающий контроль, приходится сталкиваться со многими аспектами проблем поиска дефектов. Эти работники часто не получают соответствующих знаний в институтах или других учебных заведениях. В итоге им приходится постигать основы визуального и измерительного контроля в процессе своей трудовой деятельности.

Независимый орган по аттестации персонала в области неразрушающего контроля ФГНУ «НИИ Интроскопии» проводит сертификацию персонала по различным методам контроля, в том числе по визуальному и измерительному методу. При сдаче практического экзамена по ВИК специалисты должны показать свои умения по выявлению различного рода дефектов в предлагаемых образцах. Такая же задача стоит и перед студентами кафедры ФМПК Томского политехнического университета при изучении этого метода.

Вышеуказанные недостатки РД 03-606-03 затрудняют приобретение практических навыков по выявлению дефектов при сертификации персонала и обучении студентов.

Таким образом, целью данной работы является разработка атласа дефектов сварных соединений и основного металла, содержащего более полное их графическое представление, причины образования и методы предотвращения и устранения.

# 1. ДЕФЕКТЫ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ПРИ ВИЗУАЛЬНОМ И ИЗМЕРИТЕЛЬНОМ КОНТРОЛЕ

## 1.1. Общие сведения

Под дефектом понимают каждое отдельное несоответствие продукции установленным в НТД требованиям. Если продукция имеет дефект, то это означает, что хотя бы один из показателей качества вышел за предельные значения, установленные НТД.

Все многочисленные виды сварки разделяют на две группы: сварку плавлением и давлением. В первом случае свариваемые заготовки располагают на некотором расстоянии друг от друга и осуществляют расплавление кромок заготовок и заполнение разделки присадочным (обычно из электрода) или оплавленным основным металлом. Во втором случае также возможно расплавление кромок, но сварку осуществляют при сдавливании свариваемых заготовок.

В процессе образования сварного соединения в металле шва, зонах термического влияния могут возникать дефекты, приводящие к снижению прочности, эксплуатационной надежности, точности, а также ухудшающие внешний вид изделия. Дефекты оказывают большое влияние на прочность сварных соединений и могут явиться причиной преждевременного разрушения сварных конструкций. Особенно опасны трещиноподобные дефекты (трещины, непровары), резко снижающие прочность, особенно при циклических перегрузках.

Дефекты сварных соединений по месту их расположения делятся на внутренние и наружные.

К дефектам, связанным с металлургическими и тепловыми явлениями, происходящими в процессе формирования и кристаллизации сварочной ванны и остывания металла, относятся: горячие и холодные трещины в металле шва и околошовной зоне, шлаковые включения.

К дефектам, связанным с нарушением режимов сварки, неправильной подготовкой и сборкой элементов конструкции под сварку, неисправностью оборудования, небрежностью и низкой квалификацией сварщика, относят: несоответствие швов расчетным размерам, непровары, подрезы, прожоги, наплывы, несваренные кратеры и др.

Каждому виду сварки свойственны свои характерные дефекты. Особенно сильно отличаются дефекты сварки плавлением и давлением. Для сварки плавлением свойственны некоторые дефекты, характерные для литого металла: усадочные раковины, поры (иногда поры располагаются цепочками, группами), включения (шлаковые, флюсовые, оксидные, сульфидные, металлические).

Специфическими дефектами сварки являются:

- непровар — местное несоединение вследствие неполного расплавления кромок основного металла или поверхности ранее выполненных валиков;
- вогнутость или превышение проплавления корня сварного шва;
- подрез — углубление в основном металле вдоль линии сплавления;
- большое превышение верхней выпуклости шва;
- смещение кромок сварного шва из-за недоброкачественной сборки;
- прожог в виде сквозного отверстия, образующегося в результате вытекания сварочной ванны.

Особенно опасными дефектами являются сварочные трещины, возникающие обычно в процессе остывания сварного соединения. Они могут появиться не только в наплавленном металле, но также в основном металле соединения в зоне влияния на него сварочного процесса (в зоне термического влияния).

Причинами возникновения перечисленных дефектов могут быть: неправильный состав сварочных материалов (электродов, флюсов); неправильная подготовка к сварке (неверная форма разделки; неверно выбрано расстояние между свариваемыми заготовками); нарушение режима сварки.

Трещины могут возникать также в результате неправильной конструкции сварного изделия, неправильного термического режима сварки, наличие включений, расслоений и других дефектов в основном металле.

Дефекты формирования сварного шва (смещения кромок, подрезы, неправильная форма выпуклостей) проверяют визуально или с помощью шаблонов.

В сварке давлением встречаются некоторые дефекты, характерные для сварки плавлением, например поры, смещение кромок и другие. Специфическим дефектом сварки давлением является слипание. Это хрупкое и непрочное соединение свариваемых заготовок, окисленное в большей или меньшей степени. Оно возникает при недостаточно хорошей очистке свариваемых поверхностей, недостаточном расплавлении металла кромок.

Визуальный контроль в процессе сварки соединения выполняется с целью подтверждения отсутствия недопустимых поверхностных дефектов (трещин, пор, включений, прожогов, свищей, усадочных раковин, несплавлений, грубой чешуйчатости, западаний между валиками, наплывов) в каждом слое (валике) шва.

В выполненном сварном соединении (наплавке) визуально следует контролировать:

- отсутствие (наличие) поверхностных трещин всех видов и направлений;
- отсутствие (наличие) на поверхности сварных соединений и наплавов дефектов (пор, включений, скоплений пор и включений, отслоений, прожогов, свищей, наплывов, усадочных раковин, подрезов, непроваров, брызг расплавленного металла, западаний между валиками, грубой чешуйчатости, прожогов металла, а также мест касания сварочной дугой поверхности основного материала).

В выполненном сварном соединении измерениями необходимо контролировать:

- размеры поверхностных дефектов (поры, включения и др.), выявленных при визуальном контроле;

- высоту и ширину шва, а также вогнутость и выпуклость обратной стороны шва в случае доступности обратной стороны шва для контроля;
- высоту (глубину) углублений между валиками и чешуйчатости поверхности шва;
- подрезы основного материала, непровары с двух сторон шва

## 1.2. Классификация дефектов сварных соединений

**Несплошность** – обобщенное наименование трещин, отслоений, прожогов, свищей, пор, непроваров и включений.

**Трещина сварочного соединения.** Трещина – дефект сварного соединения в виде разрыва металла в сварном шве и (или) прилегающих к нему зонах сварного соединения и основного металла.

Трещины бывают продольными, поперечными, разветвлёнными, радиальными, кратерными.

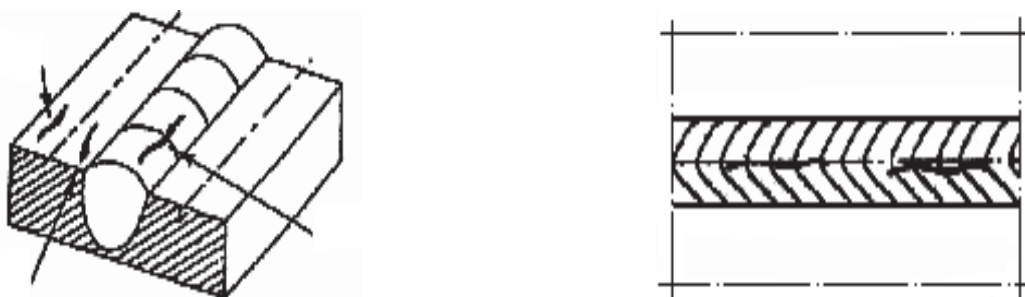
Причины образования дефекта:

- жесткая конструкция изделия;
- сварка в жестко закрепленных приспособлениях;
- большой время между сваркой и термообработкой;
- большая скорость охлаждения;
- ошибка в проектировании сварного шва (близко расположенные концентраторы);
- нарушение технологии (температура подогрева, порядок наложения швов);
- нарушение защиты;
- некачественный основной металл.

Трещина – это наиболее опасный и недопустимый дефект, как правило, брак. Способ его исправления – подварка с предварительной разделкой или засверловкой концов трещины.

**Продольная трещина сварного соединения.** Продольная трещина – трещина сварного соединения, ориентированная вдоль оси сварного шва.

Дефект изображен на рис. 1.1.



*Рис. 1.1. Схематичное изображение продольной трещины сварного соединения*

**Поперечная трещина сварного соединения.** Поперечная трещина – трещина сварного соединения, ориентированная поперек оси сварного шва. Она может возникать в шве, зоне термического влияния, зоне сплавления.

Дефект изображен на рис. 1.2–1.4.

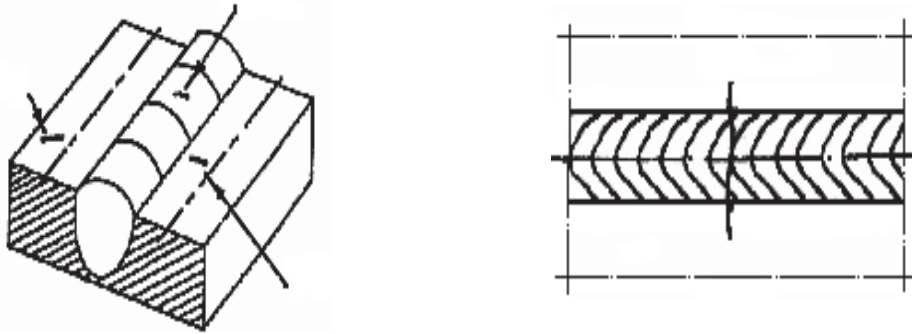


Рис. 1.2. Схематическое изображение поперечной трещины сварного соединения

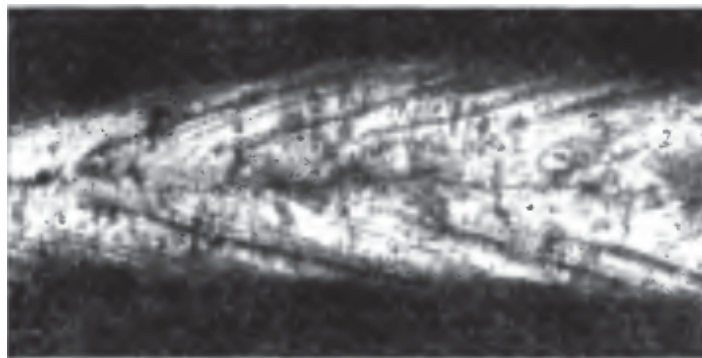


Рис. 1.3. Продольные и поперечные трещины

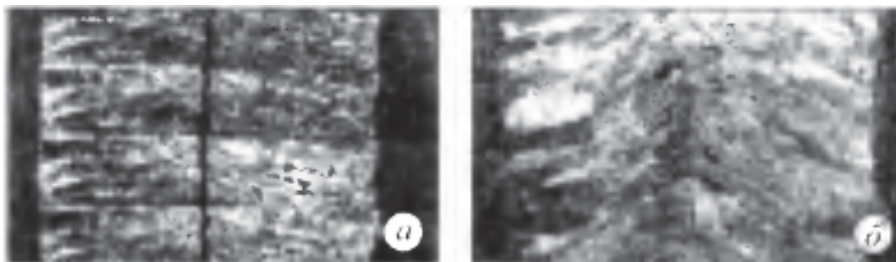


Рис. 1.4. Расположение трещин по сечению шва при электрошлаковой сварке:  
а — по оси шва; б — между ветвями столбчатых кристаллов

**Разветвленная трещина сварного соединения.** Разветвленная трещина — трещина сварного соединения, имеющая ответвления в различных направлениях или группа соединенных трещин, отходящих от одной общей трещины.

Дефект изображен на рис. 1.5.

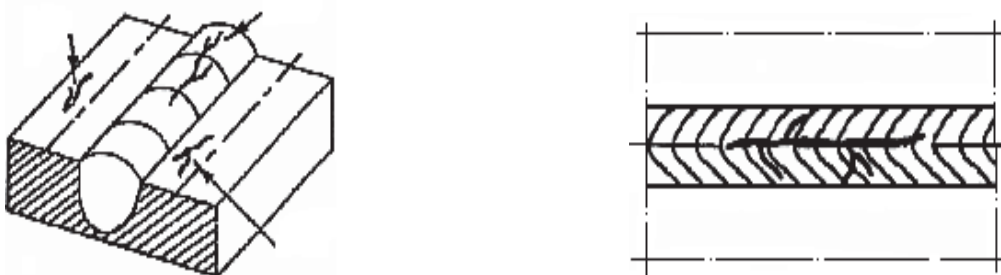


Рис. 1.5. Схематическое изображение разветвленной трещины сварного соединения



**Радиальная трещина** – несколько трещин разного направления, исходящих из одной точки (могут располагаться в металле сварного шва, в зоне термического влияния, в основном металле).

Дефект изображен на рис. 1.6–1.7.

**Примечание:** маленькие трещины этого типа известны как звездообразные трещины.

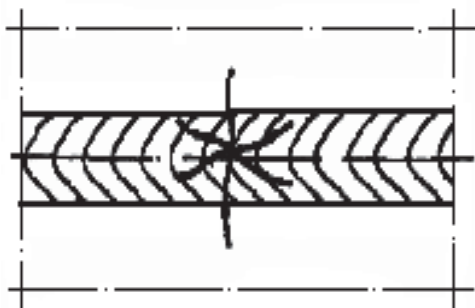


Рис. 1.6. Схематичное изображение радиальной трещины сварного соединения

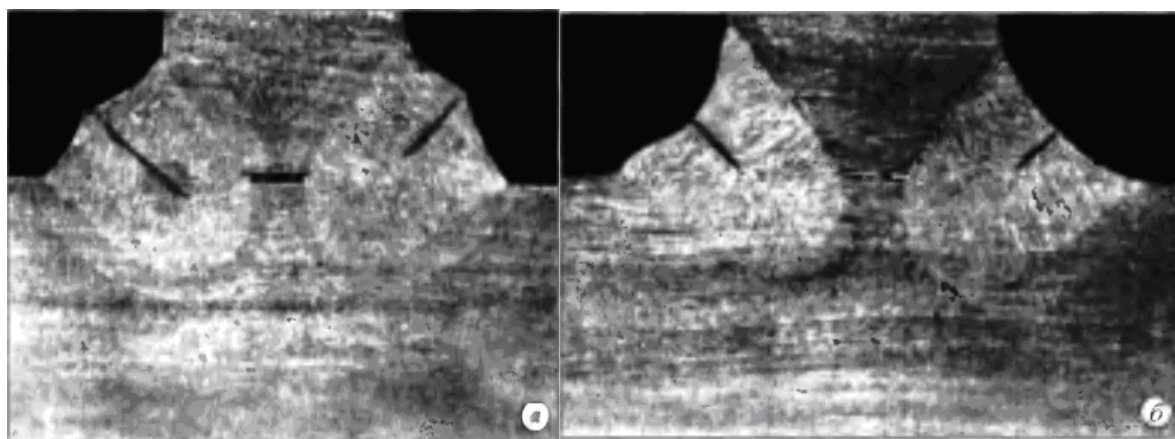


Рис. 1.7. Расположение трещин по сечению шва (дуговая сварка):

а – трещины, не выходящие на поверхность; б – трещины, выходящие на поверхность шва

**Кратерная трещина** – трещина (продольная, поперечная, разветвленная) в кратере валика (слоя) сварного шва.

Дефект изображен на рис. 1.8.



Рис. 1.8. Схематичное изображение кратерной трещины сварного соединения

**Включение** – полость в металле, заполненная газом, шлаком или инородным металлом; обобщенное наименование пор, шлаковых и вольфрамовых включений.

Включения бывают шлаковыми, флюсовыми, вольфрамовыми, оксидными.

Причины образования дефекта:

- некачественная подготовка поверхности;
- некачественный основной металл;
- нарушение технологии сварки;
- нарушение защиты.

Включения имеют сферическую или продолговатую форму, также могут быть в виде прослоек. Данный дефект является концентратором напряжения.

Способ его исправления – подварка с разделкой.

**Шлаковое включение сварного шва.** Шлаковое включение – полость в металле, в том числе сварном шве, заполненная шлаком.

Дефект изображен на рис. 1.9–1.14.

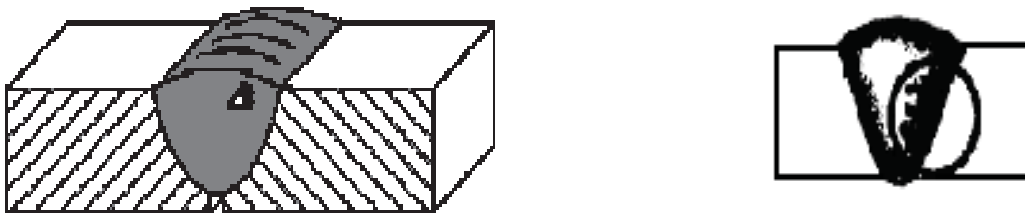


Рис. 1.9. Схематичное изображение шлакового включения сварного соединения

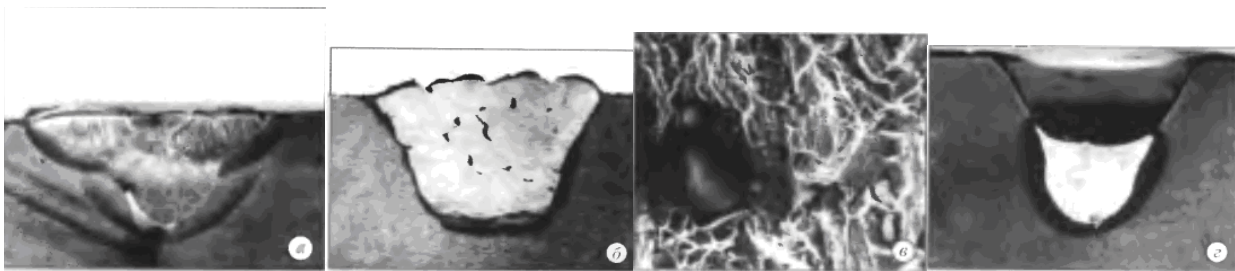
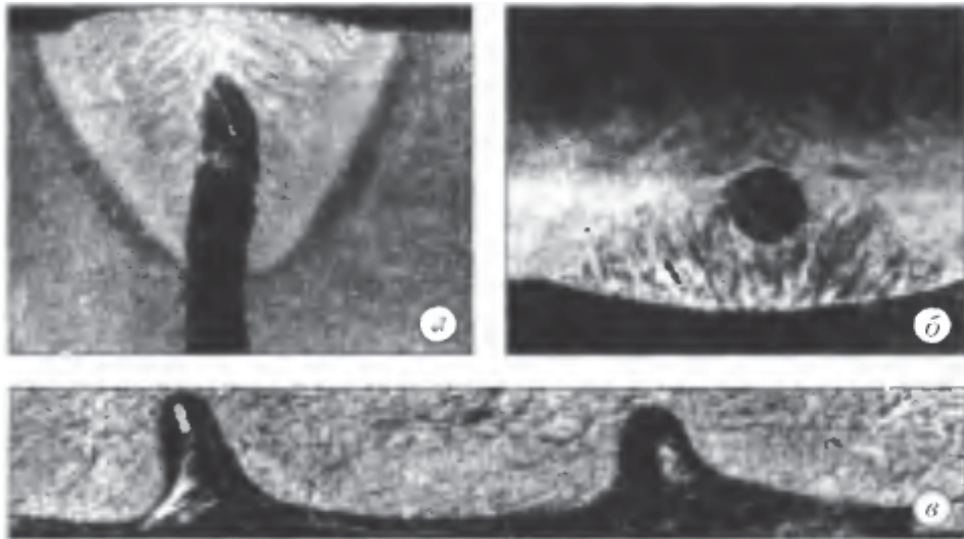


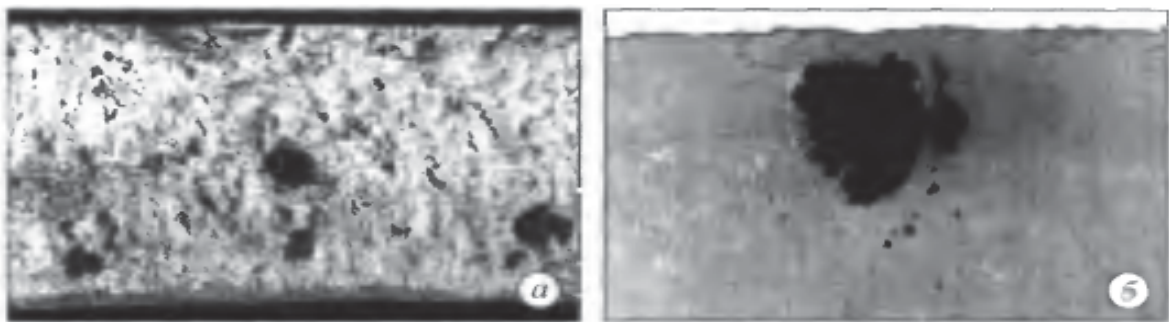
Рис. 1.10. Шлаковые включения в сварном шве (сталь):  
а, б – в многопроходном шве (макроструктура); в – включение округлой формы (излом), РЭМ, х1000; г – в корне однопроходного шва (макроструктура)



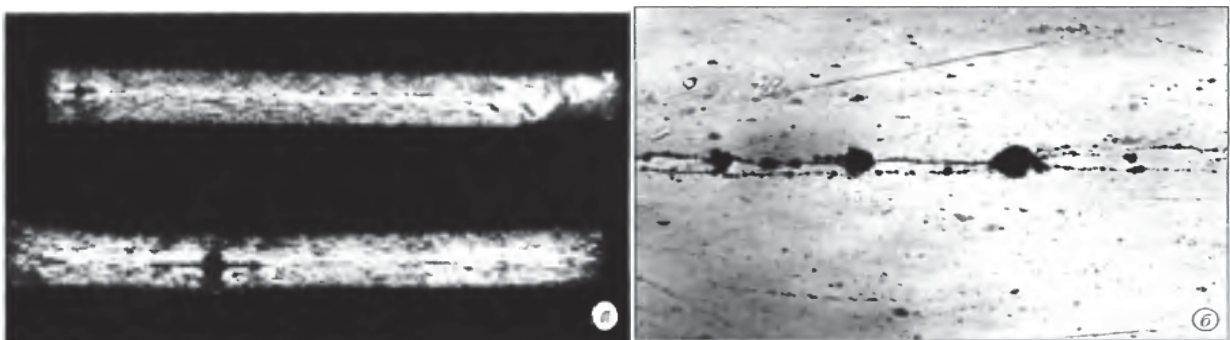
Рис. 1.11. Шлаковые каналы (макроструктуры):  
а – в корне шва; б – вдоль поверхности шва; в – перпендикулярно поверхности шва



*Рис. 1.12. Шлаковые каналы (сталь, макроструктуры):  
 а – после сварки с одной стороны (разрез поперек шва); б – после сварки со второй стороны (разрез поперек шва); в – после сварки с одной стороны (разрез вдоль шва)*



*Рис. 1.13. Неметаллические (шлаковые) включения:  
 а – шлаковые включения в прокате, излом;  
 б – крупное шлаковое включение в прессованном прутке, темплет*



*Рис. 1.14. Раскатанные шлаковые включения в прокате, алюминиевый сплав:  
 а – поперек направления прокатки, излом;  
 б – мелкие включения вдоль направления деформации, микроструктура, x100*

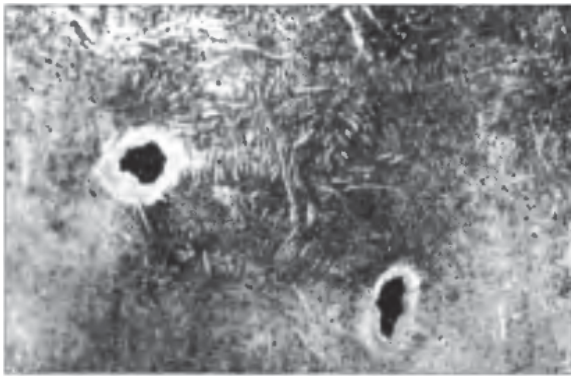
**Флюсовое включение** — полость в металле сварного шва, заполненная нерасплавившимся флюсом, попавшим в металл шва во время затвердевания.

**Вольфрамовое включение** — внедрившаяся в металл шва нерасплавленная частица (осколок) неплавящегося вольфрамового электрода.

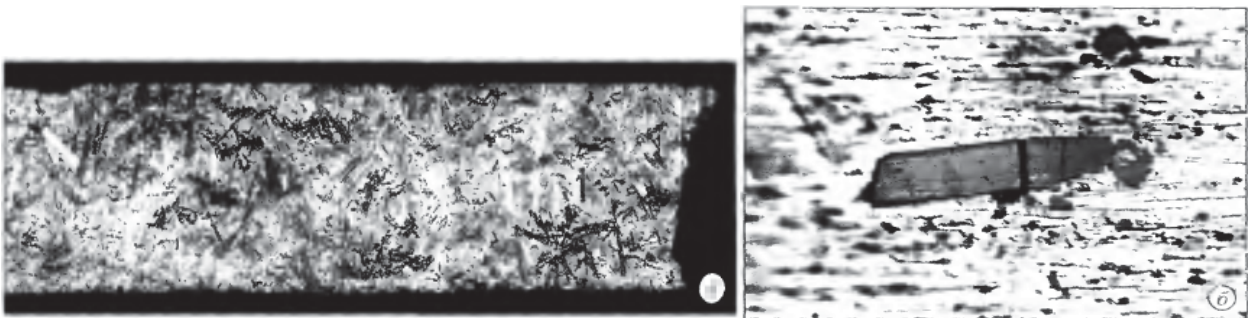
**Окисное включение** — окисел металла, попавший в металл шва во время затвердевания.

**Металлические включения** — это частицы инородного металла, попавшие в металл сварного шва.

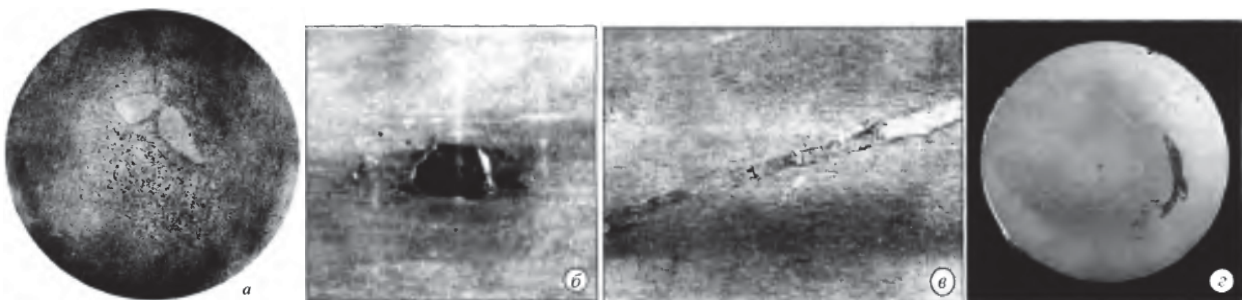
Дефект изображен на рис. 1.15–1.18.



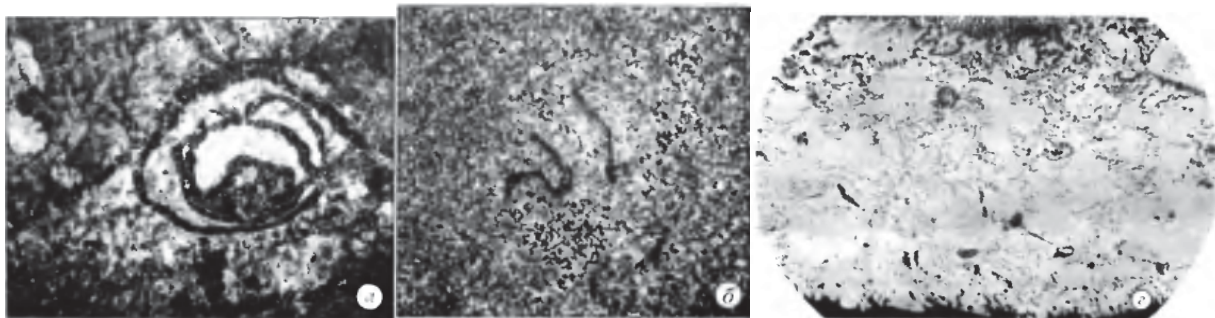
*Рис. 1.15. Металлические включения: куски электрода в сварном шве (макроструктура)*



*Рис. 1.16. Интерметаллические включения: а — излом; б — микроструктура (алюминиевый сплав), x70*



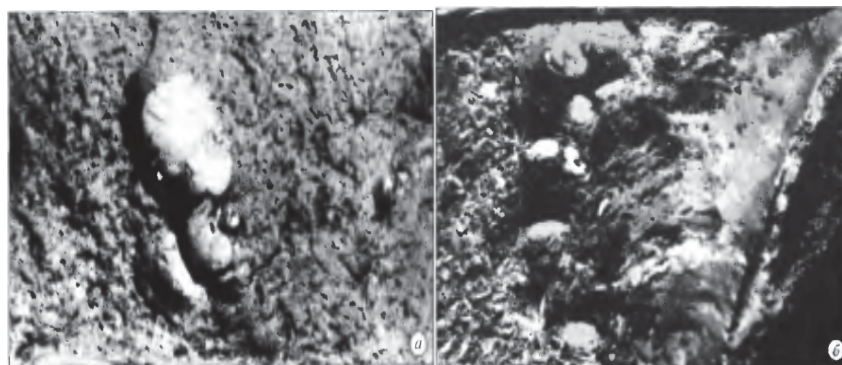
*Рис. 1.17. Инородные металлические включения: а — кусочек нерастворившейся лигатуры (макроструктура); б — вкатанный в поверхность листа кусочек стали (внешний вид); в — вкатанная в поверхность листа алюминиевая проволока (внешний вид); г — запрессованное включение второго сплава (пруток, алюминиевый сплав, макроструктура)*



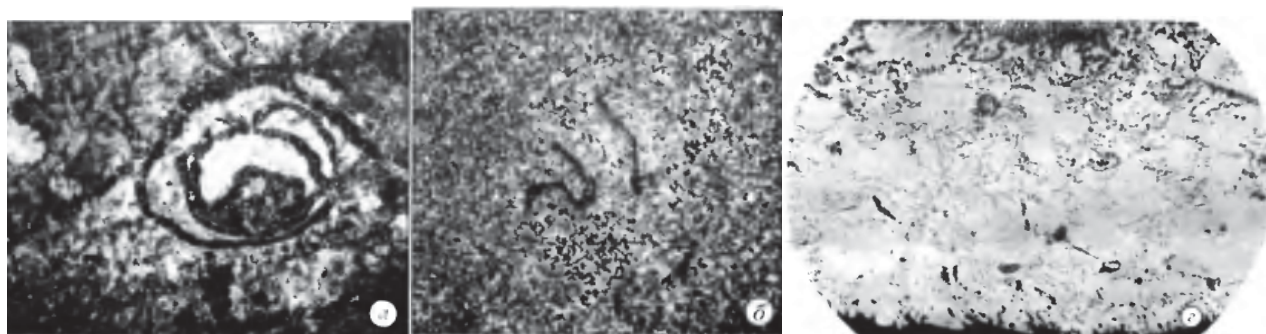
*Рис. 1.18. Частицы короны (никелевый сплав) в форме:  
а – улитки, x50; б – запятой, x20; в – одиночных участков, литое состояние, x300.  
Макро и микроструктуры*

**Флокены** – внутренние междендритные локальные участки в сварном шве с повышенным содержанием водорода, обуславливающие повышенную хрупкость разрушения в этих участках.

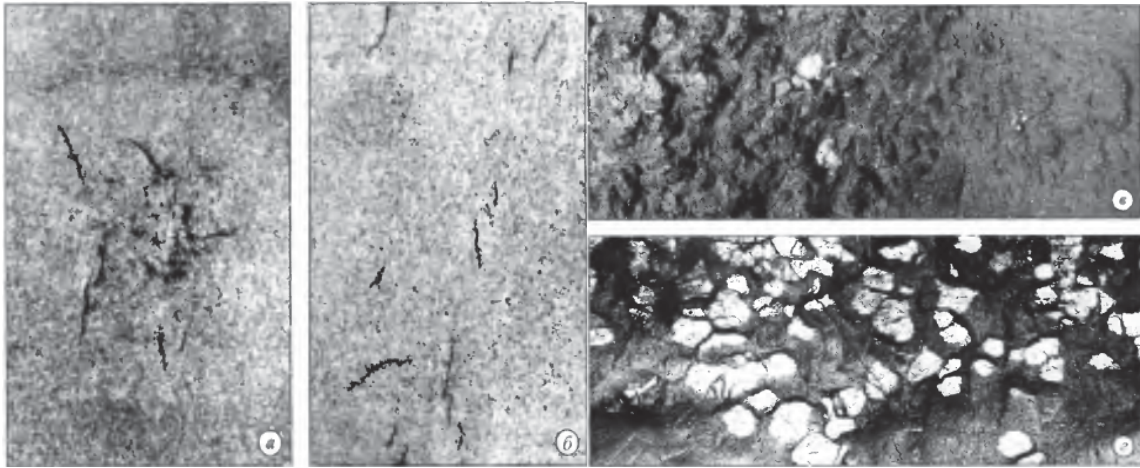
Дефект изображен на рис. 1.19–1.21.



*Рис. 1.19. Флокены (сталь):  
а – единичный; б – скопление (изломы)*



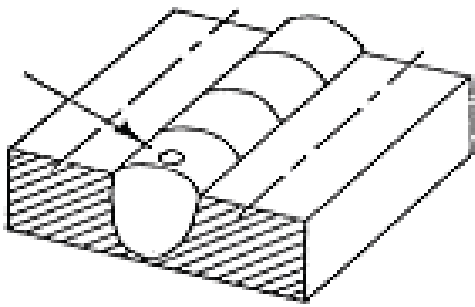
*Рис. 1.20. Флокены с отпечатками дендритов в литой стали (излом)*



*Рис. 1.21. Флокены (сталь):*

*а, б – флокены в прокате, макроструктуры; в – единичные флокены в поковке, излом;  
г – скопления флокенов в прокате, излом*

**Пора** – заполненная газом полость округлой формы.  
Дефект изображен на рис. 1.22–1.28.



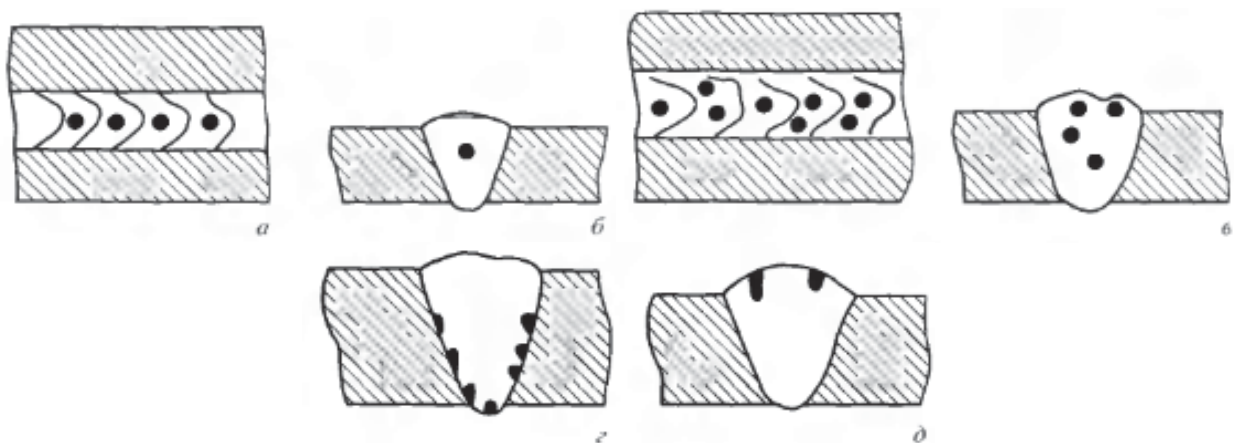
*Рис. 1.22. Схематичное изображение поры сварного соединения*

Поры могут быть одиночными, а также могут располагаться в виде цепочек и скоплений.

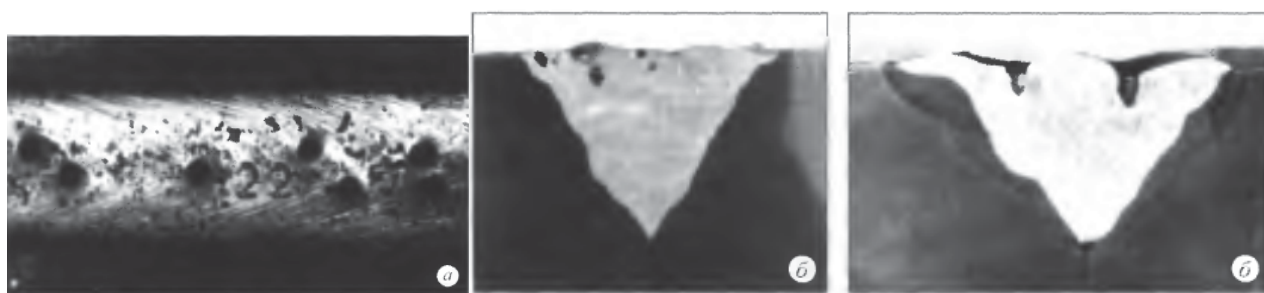
Причины образования дефекта:

- влажный флюс;
- отсыревшие электроды;
- некачественная подготовка свариваемых кромок и поверхности сварочной проволоки;
- увеличенный диаметр электрода;
- длинная дуга;
- увеличенная скорость сварки;
- некачественная защита;
- некачественный основной металл.

Поры возникают при сварке алюминиевых и титановых сплавов, в глубоких стыковых швах, при затруднении дегазации. Единичные поры оставляют без исправлений, в остальных случаях способом исправления является подварка.



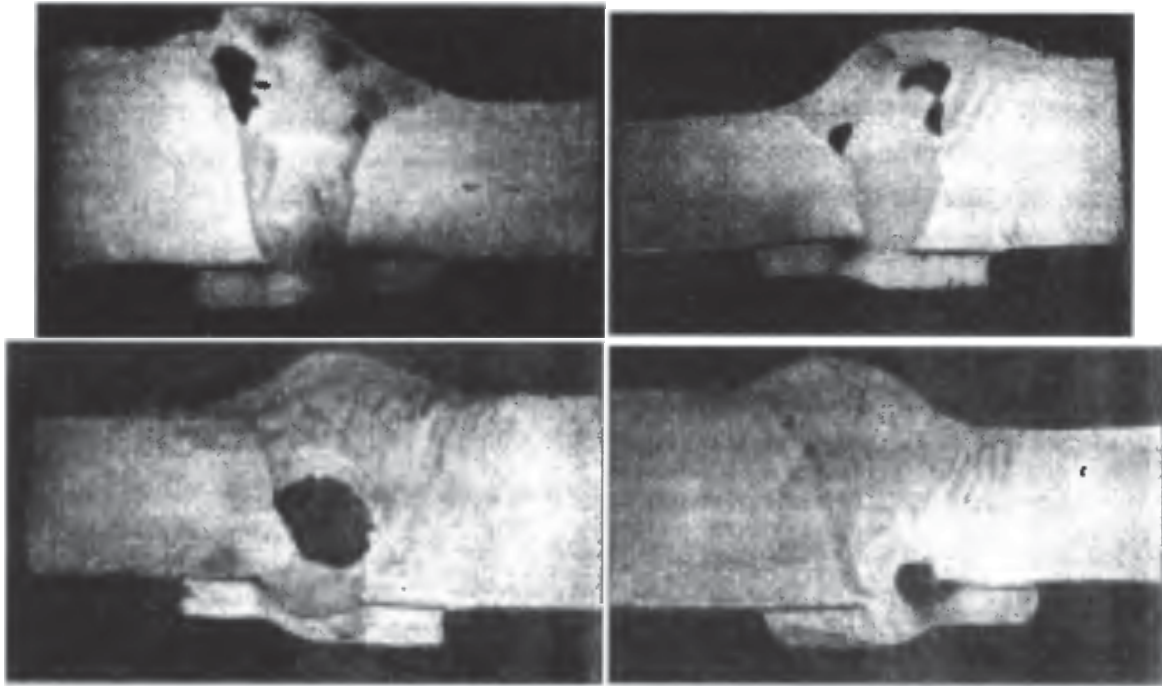
*Рис. 1.23. Поры в сварном шве (схемы):  
а – цепочка; б – единичные; в, г – скопления; д – свищи*



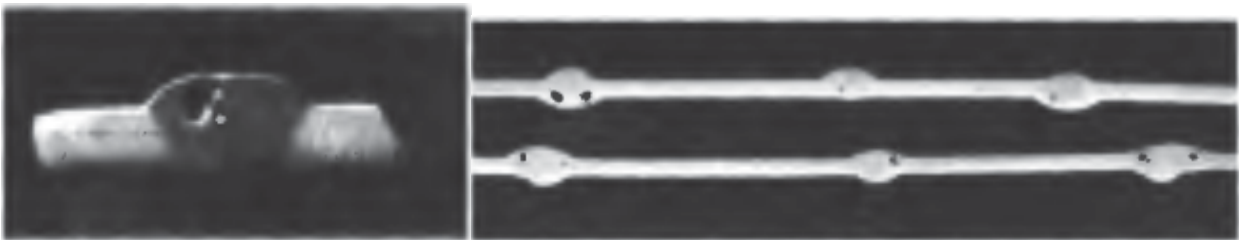
*Рис. 1.24. Поры в сварном шве:  
а – выходящие на поверхность (внешний вид); б – не выходящие на поверхность (макроструктура);  
в – свищи (макроструктура)*



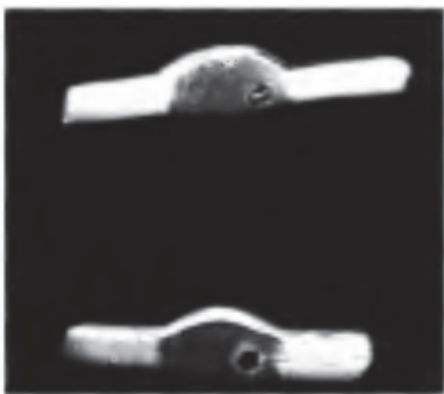
*Рис. 1.25. Поры в металле шва (макроструктуры):  
а – поры, выходящие на поверхность шва, внешний вид; б – поры, не выходящие на поверхность шва, макроструктура; в – групповое расположение пор при электрошлаковой сварке*



*Рис. 1.26. Единичные поры в металле шва, макроструктура, x100*



*Рис. 1.27. Поры в металле шва, вызванные расслоениями в свариваемом металле (алюминиевый сплав, макроструктура)*



*Рис. 1.28. Поры, вызванные расслоениями в свариваемых листах (алюминиевый сплав), макроструктуры*

**Отслоение** — дефект в виде нарушения сплошности сплавления наплавленного металла с основным металлом.

Дефект изображен на рис. 1.29.



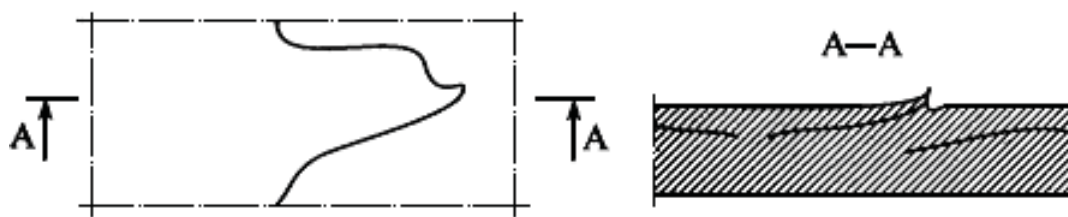


Рис. 1.29. Схематическое изображение отслоения

**Кратер.** Усадочная раковина сварного шва — дефект в виде полости или впадины, образовавшийся при усадке расплавленного металла при затвердевании (располагается, как правило, в местах обрыва дуги или окончания сварки).

Дефект изображен на рис. 1.30–1.31.



Рис. 1.30. Схематическое изображение поры сварного соединения



Рис. 1.31. Кратеры:

*а* — схематическое изображение кратера; *б* — кратерная трещина в сварном шве (внешний вид)

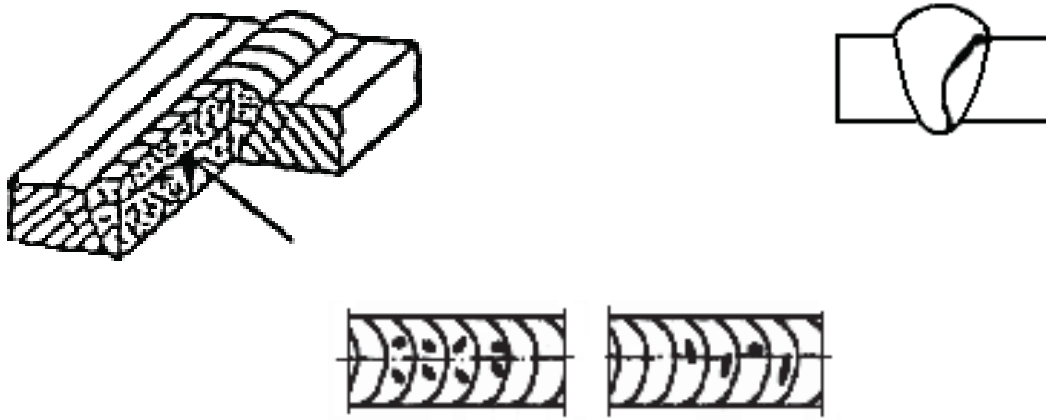
Причина образования дефекта — нарушение техники сварки.

Кратеры являются концентраторами напряжений, сопровождаются усадкой и трещинами усадочного происхождения. Способ исправления дефекта — удаление дефектного участка и заварка. При автоматической сварке используют технологические планки для вывода кратера или плавное отключение тока.

**Свищ в сварном шве** — дефект в виде воронкообразного или трубчатого углубления в сварном шве.

**Примечание:** обычно свищи группируются в скопления и распределяются елочкой. Форма и положение свища определяются режимом затвердевания шва и выделения газа из металла.

Дефект изображен на рис. 1.32.



*Рис. 1.32. Схематичное изображение свища сварного соединения*

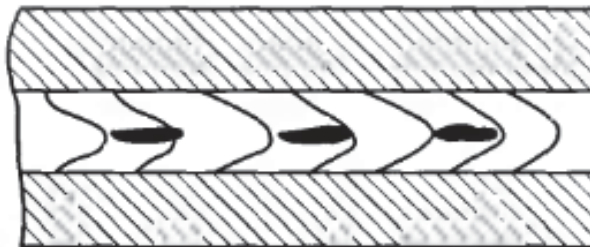
Причины образования дефекта:

- некачественный основной металла;
- нарушение защиты.

Дефект сопровождается поры и трещины, выходящие на поверхность, наиболее часто возникает при сварке в углекислом газе. Способ исправления дефекта – подварка с разделкой.

**Усадочная раковина** – несплошность в металле, образовавшаяся вследствие усадки во время затвердевания металла сварного шва и имеющая поверхность, характерную для свободной кристаллизации металла.

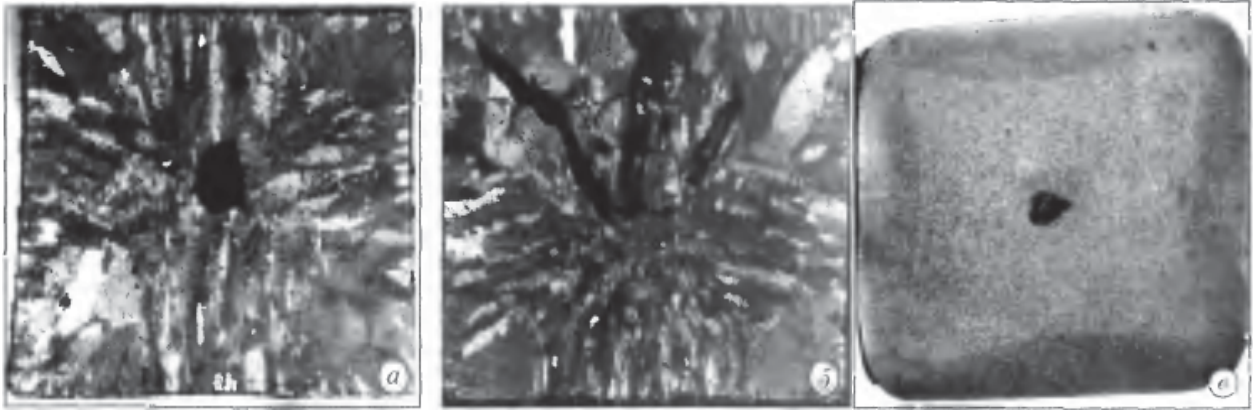
Дефект изображен на рис. 1.33–1.36.



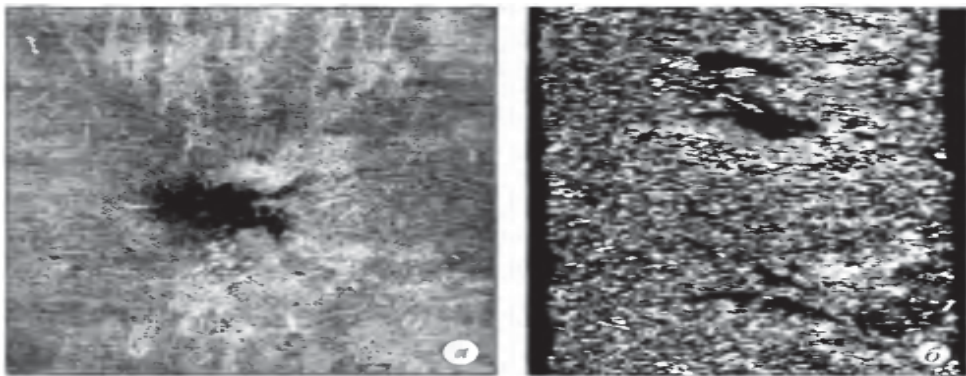
*Рис. 1.33. Схематическое изображение усадочных раковин*



*Рис. 1.34. Усадочные раковины (сталь, внешний вид)*



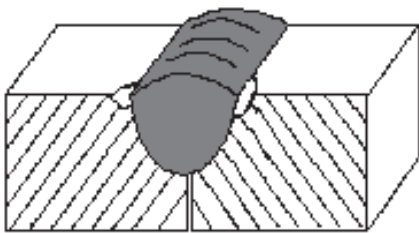
*Рис. 1.35. Усадочные раковины в отливках (сталь):  
а – сосредоточенная, излом; б – рассредоточенные, излом; в – сосредоточенная, темплет*



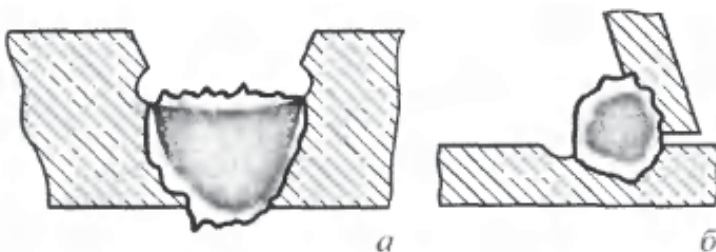
*Рис. 1.36. Усадочная рыхлость:  
а – сосредоточенная, поперечное сечение отливки, макроструктура;  
б – рассредоточенная, излом, литая сталь*

**Подрез** – острые конусообразные углубления на границе поверхности сварного шва с основным металлом.

Дефект изображен на рис. 1.37–1.39.



*Рис. 1.37. Схематичное изображение подреза сварного соединения*



*Рис. 1.38. Подрез зоны сплавления (схема):  
а – стыковое соединение;  
б – угловое соединение*



*Рис. 1.39. Поперечное сечение шва с подрезом и продольной трещиной (сталь, макроструктура)*

Различают односторонний и двусторонний подрезы.

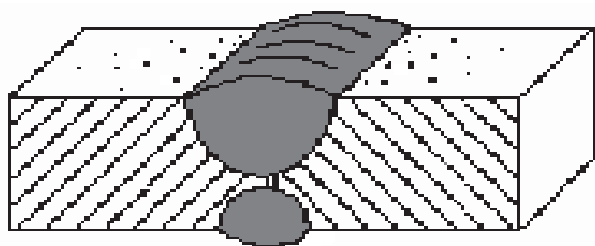
Причины образования дефекта:

- большой ток;
- большая скорость;
- длинная дуга;
- наклон электрода (неправильное ведение).

Подрез является концентратором напряжения, возникает при сварке концентрированными источниками в режиме глубокого проплавления, а также при сварке угловых швов. Способ исправления дефекта: при неглубоких подрезах – заглаживание дугой, при глубоких – подварка.

**Брызги металла** – дефект в виде затвердевших капель расплавленного металла на поверхности сваренных или наплавленных деталей с образованием или без образования кристаллической связи с основным металлом.

Дефект изображен на рис. 1.40.



*Рис. 1.40. Схематичное изображение брызг металла*

Причины образования дефекта:

- несоблюдение техники сварки;
- длинная дуга.

Дефект возникает при сварке толстопокрытыми электродами, при электродуговой сварке с глубоким проплавлением. Способ исправления – вырубка.

**Непровар.** Неполный провар – дефект в виде несплавления в сварном соединении вследствие неполного расплавления кромок основного металла или поверхностей ранее выполненных валиков сварного шва.

Дефект изображен на рис. 1.41–1.44.

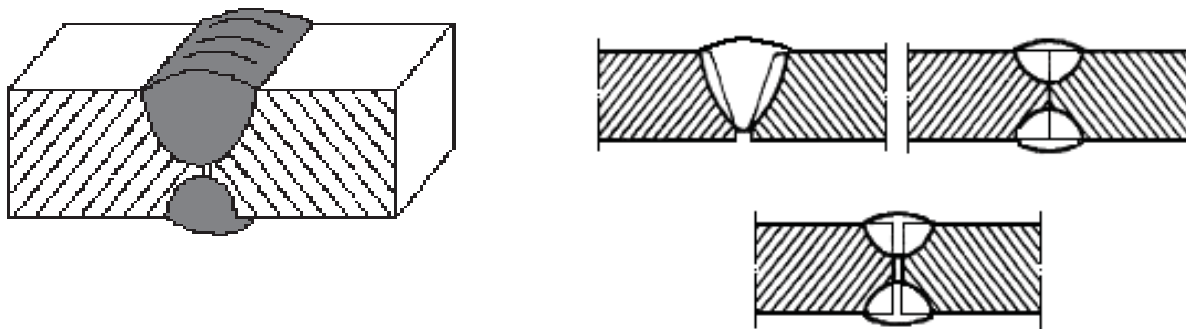


Рис. 1.41. Схематичное изображение непровара сварного соединения

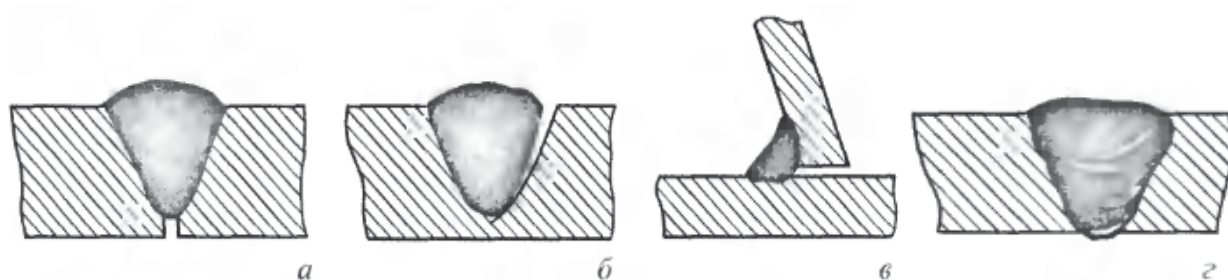


Рис. 1.42. Непровар (схемы):  
а, в – корня шва; б – кромки; г – между слоями шва



Рис. 1.43. Непровар (сталь, макроструктуры):  
а – корня шва; б – корня и кромки шва; в – между слоями

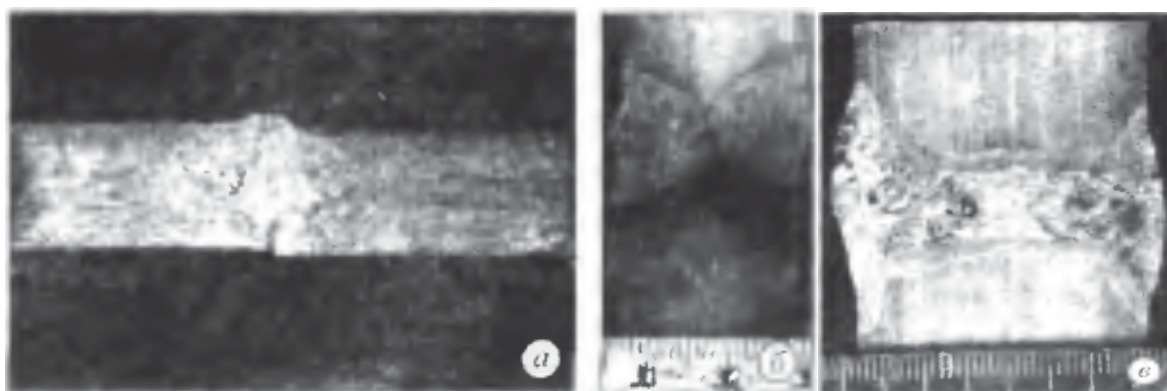


Рис. 1.44. Сварные швы с непроварами (сталь, макроструктуры):  
а – однопроходный; б – двусторонний; в – многослойный

Дефект наиболее характерен при алюминиевых сплавах и под флюсом, является концентратором напряжения. Непровары трудно выявляются в кольцевых швах. Способ исправления дефекта – подварка с удалением корневой части.

**Несплавление** – отсутствие металлической связи (взаимной литой зоны) между основным металлом сварного шва и свариваемым металлом или между отдельными валиками сварного шва.

Дефект изображен на рис. 1.45.

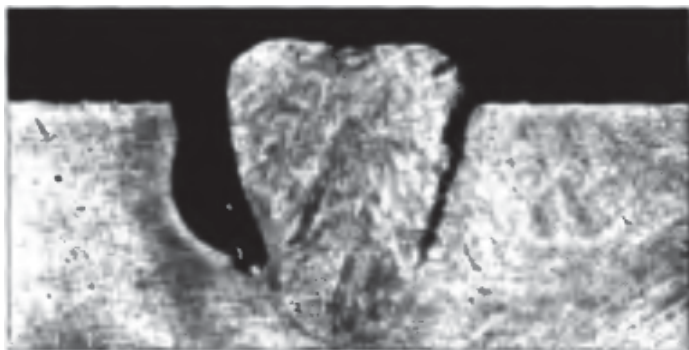


Рис. 1.45. Несплавление

**Углубление (западание) между валиками шва** – продольная впадина между двумя соседними валиками (слоями) шва (оценивается по максимальной глубине).

Дефект изображен на рис. 1.46.

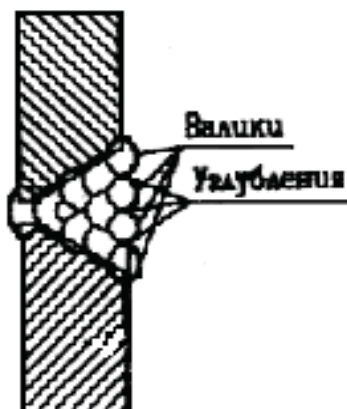


Рис. 1.46. Схематичное изображение углубления между валиками шва

**Чешуйчатость сварного шва** – поперечные или округлые (при автоматической сварке под флюсом – удлиненно-округлые) углубления на поверхности валика, образовавшиеся вследствие неравномерности затвердевания металла сварочной ванны (оценивается по максимальной глубине).

Дефект изображен на рис. 1.47.

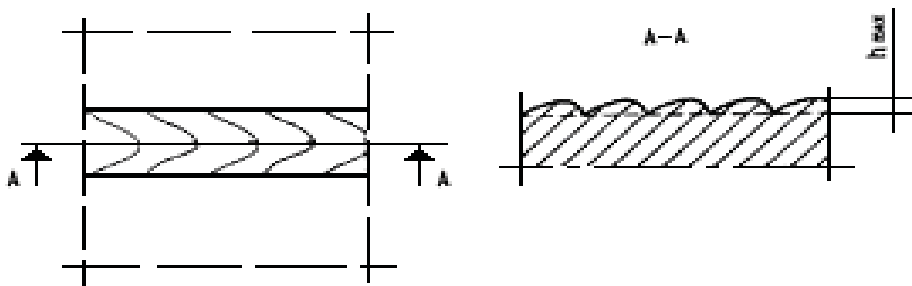


Рис. 1.47. Схематичное изображение чешуйчатости сварного шва

**Выпуклость (превышение проплавления) корня шва** — часть одностороннего сварного шва со стороны его корня, выступающая над уровнем расположения поверхностей сваренных деталей (оценивается по максимальной высоте расположения поверхности корня шва над указанным уровнем).

Дефект изображен на рис. 1.48.



Рис. 1.48. Схематичное изображение выпуклости корня шва

Причины образования дефекта:

- большой зазор;
- большой угол разделки кромок;
- несоблюдение техники сварки.

Дефект возникает при сварке алюминиевых сплавов. Способ исправления — подварка с использованием присадочной проволоки.

**Вогнутость корня шва** — дефект в виде углубления на поверхности обратной стороны сварного одностороннего шва (оценивается по максимальной глубине расположения поверхности корня шва от уровня расположения поверхностей сваренных деталей).

Дефект изображен на рис. 1.49.



Рис. 1.49. Схематичное изображение вогнутости корня шва

Причины образования дефекта:

- большие зазоры;
- малое притупление.

Дефект возникает в стыковых и угловых швах. Способ исправления — подварка.

**Максимальный размер включения** — наибольшее расстояние между точками внешнего контура включения.

Дефект изображен на рис. 1.50.

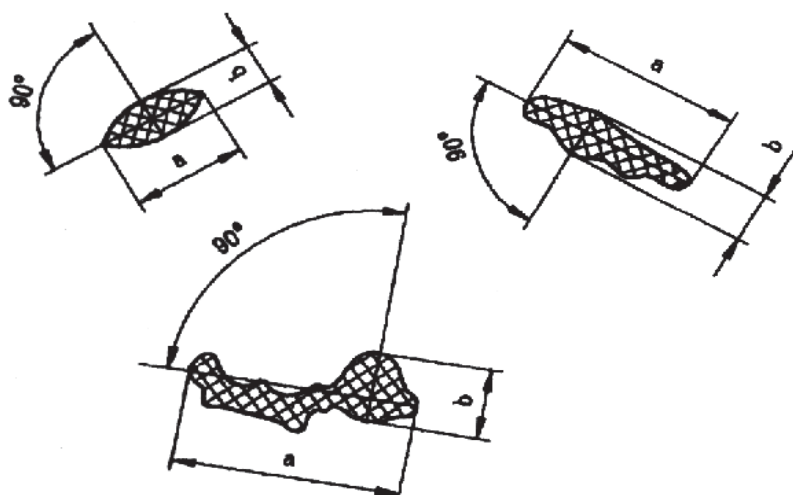
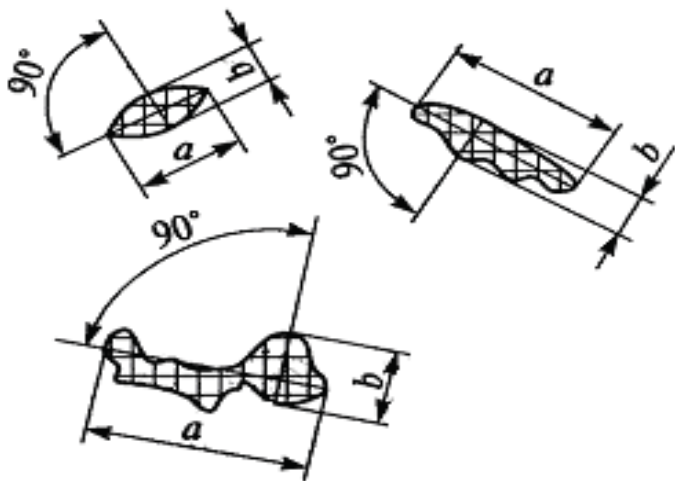


Рис. 1.50. Схематичное изображение максимального размера включения

**Максимальная ширина включения** – наибольшее расстояние в между двумя точками внешнего контура включения, измеренное в направлении, перпендикулярном максимальному размеру включения.

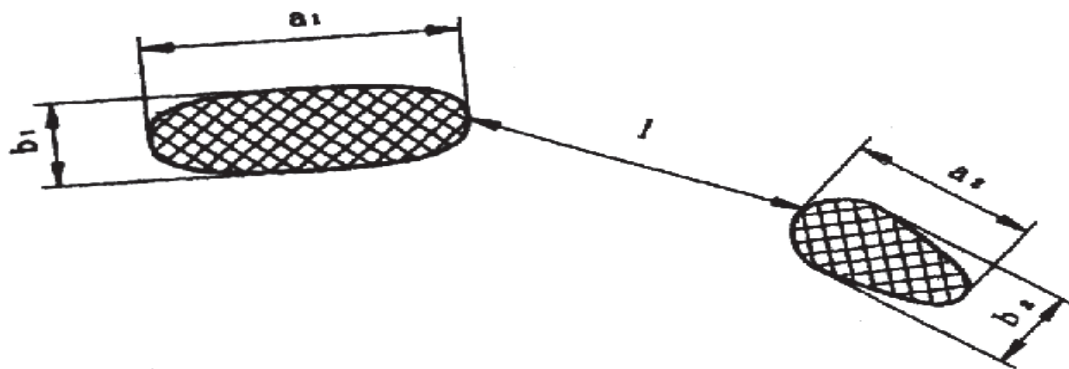
Дефект изображен на рис. 1.51.



*Рис. 1.51. Схематичное изображение максимальной ширины включения*

**Включение одиночное** – включение, минимальное расстояние  $l$ , от края которого до края любого соседнего включения – не менее максимальной ширины каждого из двух рассматриваемых включений, но не менее трехкратного максимального размера включения с меньшим значением этого показателя (из двух рассматриваемых).

Дефект изображен на рис. 1.52.



*Рис. 1.52. Схематичное изображение одиночного включения*

**Скопление включений** – два или несколько включений (пор, шлаковых и прочих включений), минимальное расстояние между краями которых менее установленных для одиночных включений, но не менее максимальной ширины каждого из любых двух рассматриваемых соседних включений.

Дефект изображен на рис. 1.53.



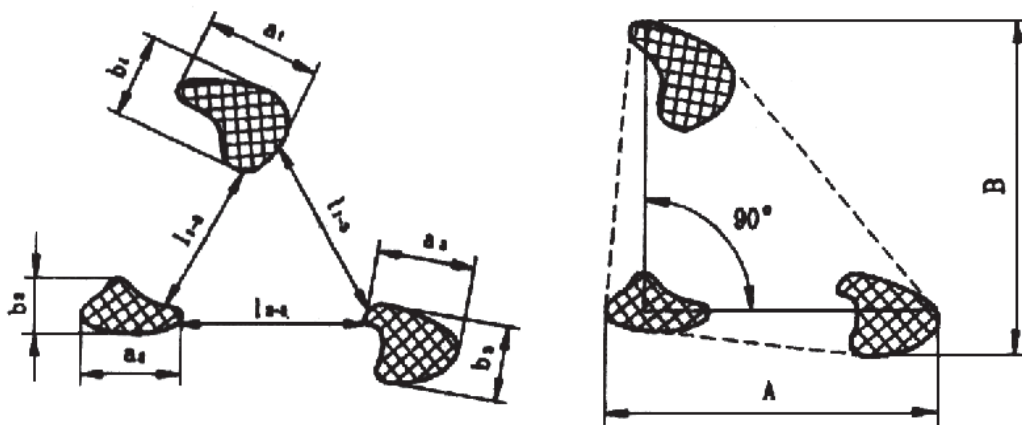


Рис. 1.53. Схематичное изображение скопления включений

**Цепочка пор.** Линейная пористость – группа пор в сварном шве, расположенная в линию, параллельно оси сварного шва.

Дефект изображен на рис. 1.54–1.59.



Рис. 1.54. Схематичное изображение цепочки пор

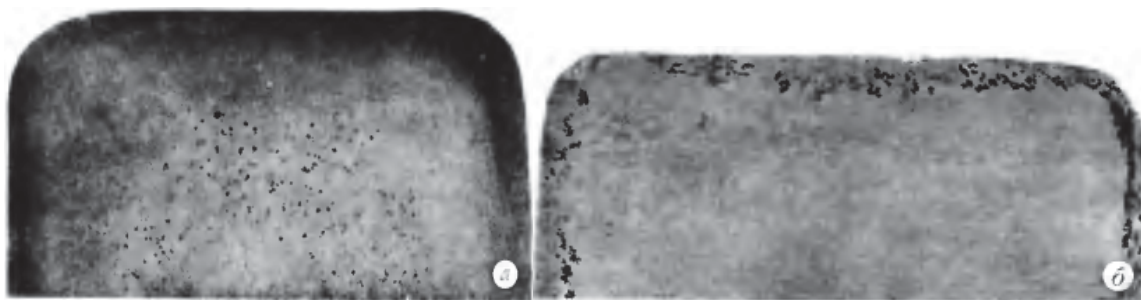
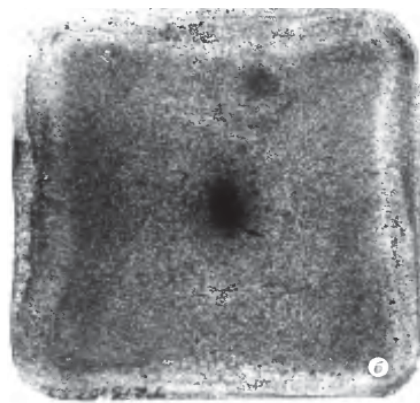
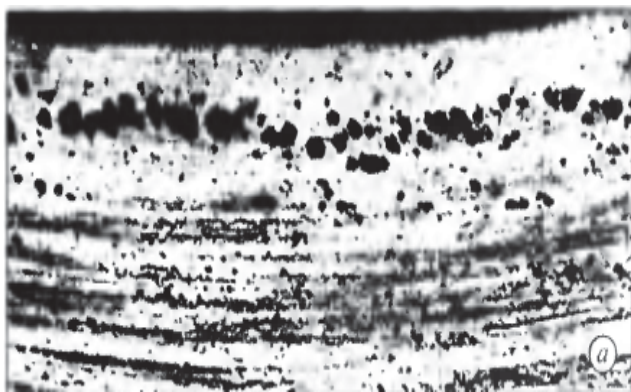


Рис. 1.55. Точечная неоднородность слитков (макроструктуры):  
а – равномерная (сталь); б – краевая (сталь)

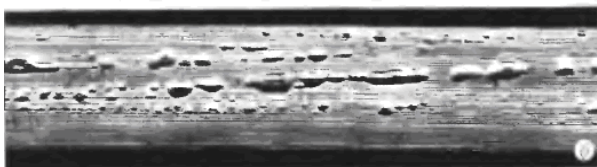
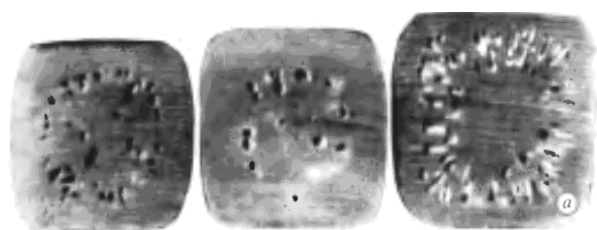


Рис. 1.56. Газовая пористость, сечение отливки; алюминиевый сплав, микроструктура,  $\times 100$



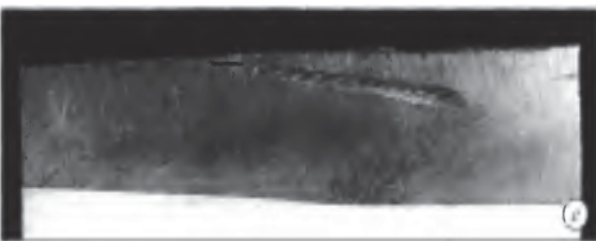
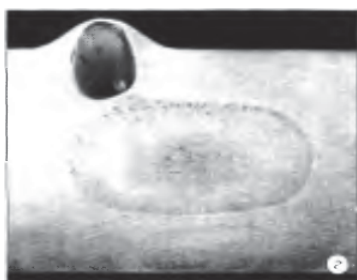
*Рис. 1.57. Пористость:*

*а – подкорковая, профиль; алюминиевый сплав, микроструктура, x100;  
б – внутренняя, в центральной зоне стальной отливки, темплет*



*Рис. 1.58. Газовые пузыри:*

*а – внутренние, поперечное сечение отливки, сталь, темплет;  
б, в – подкорковые, прессованный профиль, алюминиевый сплав, внешний вид;  
г – подкорковый, прессованный профиль, макроструктура;  
д – подкорковые, поверхность листа, алюминиевый сплав, внешний вид;  
е – свищ в сварном шве, алюминиевый сплав, внешний вид*



*Рис. 1.59. Продолжение*

**Превышение усиления сварного шва** – избыток наплавленного металла на лицевой стороне (сторонах) стыкового шва.

Дефект изображен на рис. 1.60.

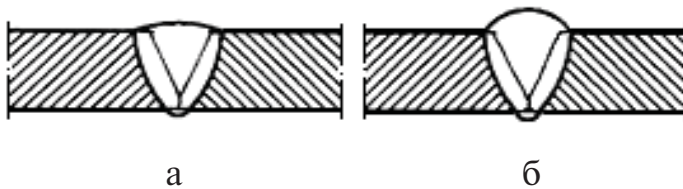


Рис. 1.60. Схематичное изображение превышения усиления сварного шва:  
а – нормальный сварной шов;  
б – превышение усиления сварного шва

**Превышение выпуклости** – избыток наплавленного металла на лицевой стороне углового шва.

Дефект изображен на рис. 1.61.

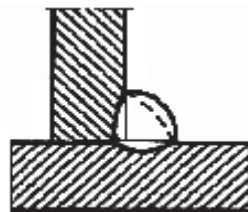


Рис. 1.61. Схематичное изображение превышение выпуклости

Причины образования дефекта:

- несоблюдение техники сварки;
- большая скорость подачи присадочной проволоки.

Данный дефект возникает в угловых швах, является концентратором напряжения. Способ исправления – зашлифовка или прокатка роликами.

**Местное превышение проплава** – местный избыточный проплав (с внутренней стороны одностороннего шва).

Дефект изображен на рис. 1.62.

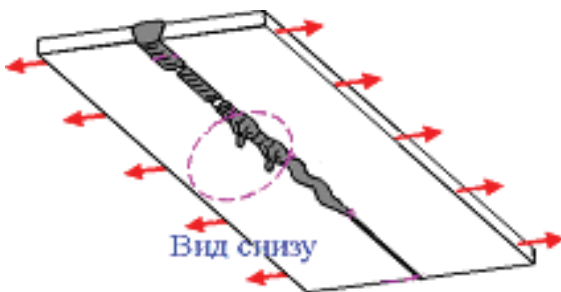


Рис. 1.62. Схематичное изображение местного превышения проплава

**Неправильный профиль сварного шва** – слишком малый угол (а) между поверхностью основного металла и плоскостью касательной к поверхности сварного шва.

Дефект изображен на рис. 1.63.

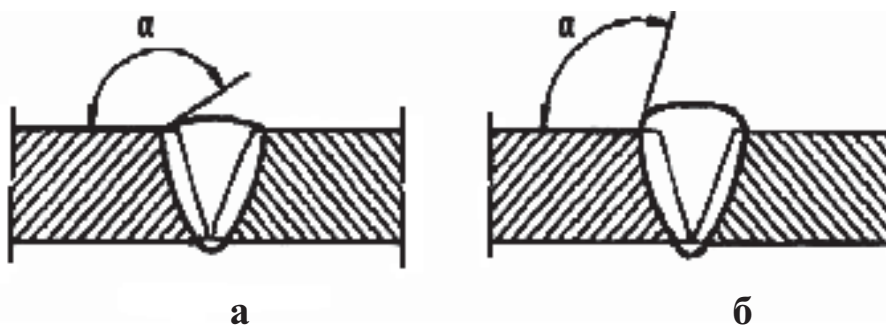
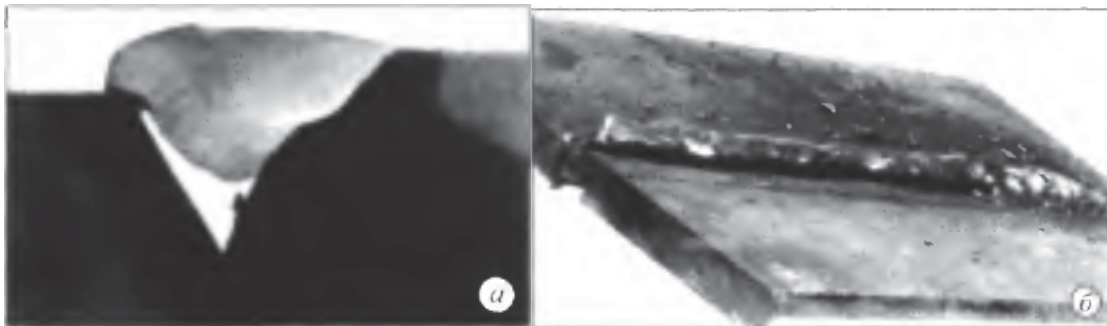
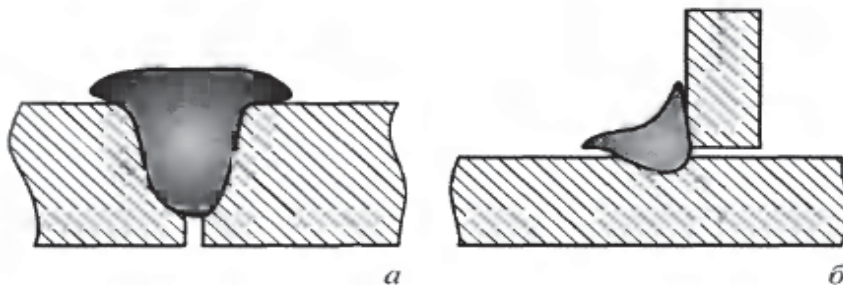
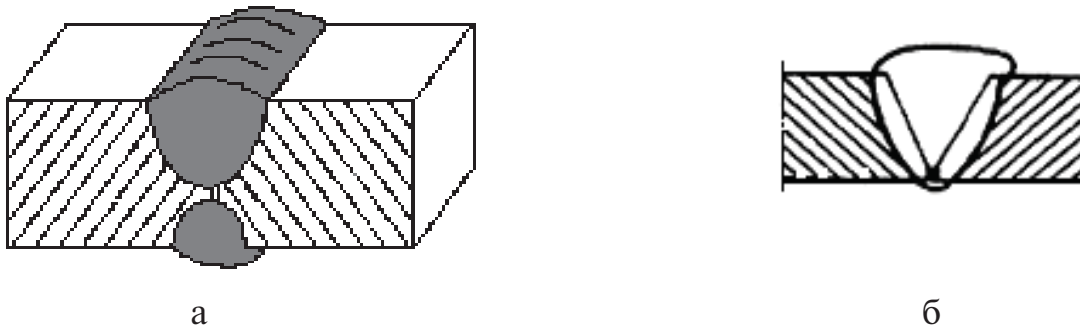


Рис. 1.63. Схематичное изображение неправильного профиля сварного шва:  
а – правильный профиль сварного шва; б – неправильный профиль сварного шва

**Наплыв** – дефект в виде металла, натекшего в процессе сварки (наплавки) на поверхность сваренных (наплавленных) деталей или ранее выполненных валиков несплавившегося с ними.

Дефект изображен на рис. 1.64–1.66.



Причины образования дефекта:

- большой ток;
- большая скорость сварки;
- длинная дуга (повышенное напряжение);
- смещение электрода;
- большая скорость подачи присадочной проволоки;
- наклон электрода (неправильное ведение).

Дефект возникает с лицевой стороны соединения или обратной стороны из-за некачественного поджигания к подкладке и, как правило, при сварке в горизонтальном и вер-

тикальном положении, а также на спуск и на подъем. Дефект является концентратором напряжения. Способ исправления – зашлифовка.

**Перелом осей деталей.** Угловое смещение – смещение между двумя свариваемыми деталями, при котором их плоские поверхности не параллельны (или не направлены под определенным углом).

Дефект изображен на рис. 1.67.

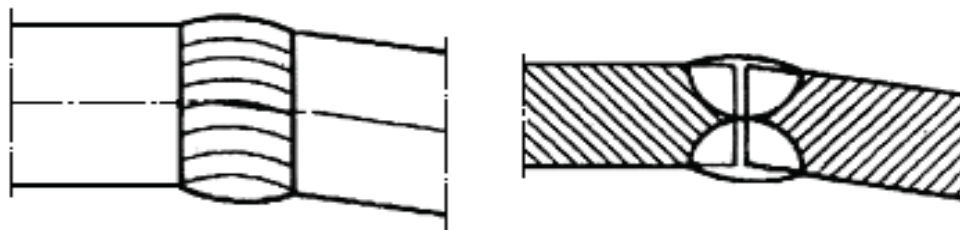


Рис. 1.67. Схематичное изображение перелома осей деталей

**Прожог сварного шва** – дефект в виде сквозного отверстия в сварном шве, образовавшийся вследствие вытекания части жидкого металла сварочной ванны в процессе выполнения сварки.

Дефект изображен на рис. 1.68–1.69.



Рис. 1.68. Схематичное изображение прожога сварного шва

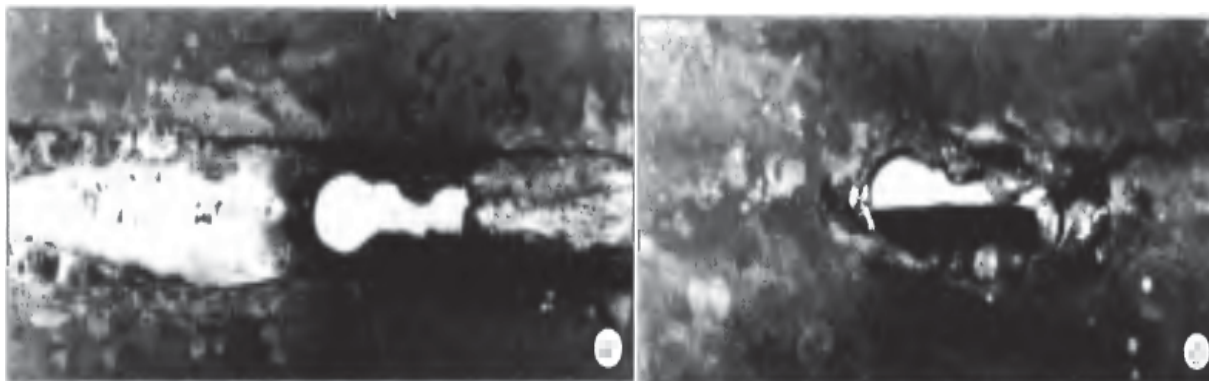


Рис. 1.69. Прожог сварного шва (сталь, внешний вид):  
а – лицевая сторона; б – тыльная сторона

Прожоги бывают одиночными, протяженными, дискретными.

Причины образования дефекта:

- большая погонная энергия;
- увеличенный зазор;
- малая величина притупления;
- большое смещение кромок;
- коробление кромок и отставание их от подкладки при сварке.

Дефект характерен при сварке тонкостенных элементов, а так же первого (корневого) шва при многослойной сварке. Обычно изделие бракуется, если возможно – выполняют подварку.

**Неполностью заполненная разделка кромок** – продольная непрерывная или прерывистая вогнутость на поверхности сварного шва из-за недостаточности присадочного металла.

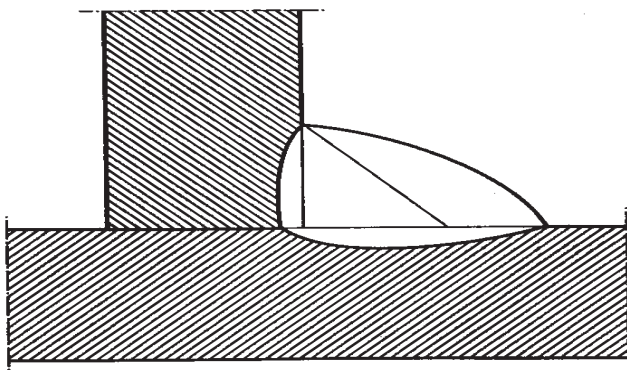
Дефект изображен на рис. 1.70.



*Рис. 1.70. Схематичное изображение неполностью заполненной разделки кромок*

**Асимметрия углового шва** – несоответствие фактического значения катета шва проектному значению.

Дефект изображен на рис. 1.71.



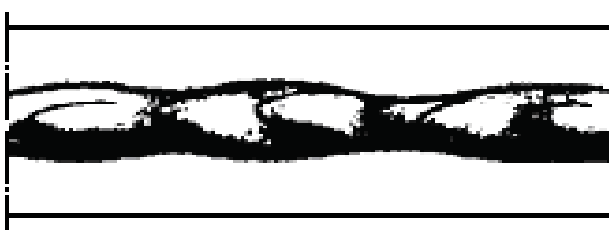
*Рис. 1.71. Схематичное изображение асимметрии углового шва*

**Неравномерная ширина шва** – чрезмерное колебание ширины шва.

Дефект изображен на рис. 1.72.

Причины образования дефекта:

- неустойчивый режим сварки;
- неточное направление электрода.

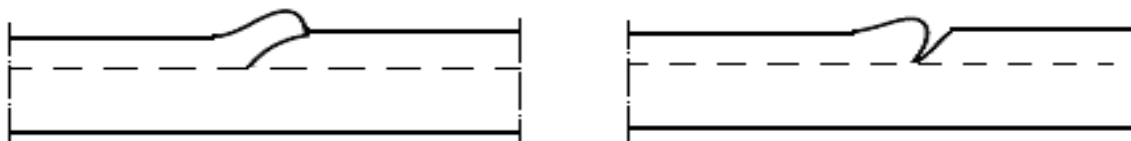


*Рис. 1.72. Схематичное изображение неравномерной ширины шва*

**Неравномерная поверхность шва** – чрезмерная неровность наружной поверхности шва.

**Плохое возобновление шва** – местная неровность поверхности в месте возобновления сварки.

Дефект изображен на рис. 1.73.



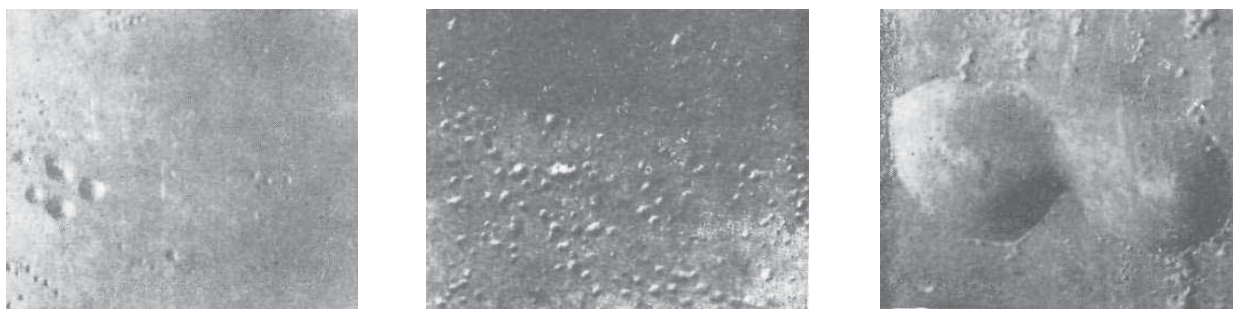
*Рис. 1.73. Схематичное изображение плохого возобновления шва*

## 2. ДЕФЕКТЫ ПОВЕРХНОСТИ ОСНОВНОГО МЕТАЛЛА

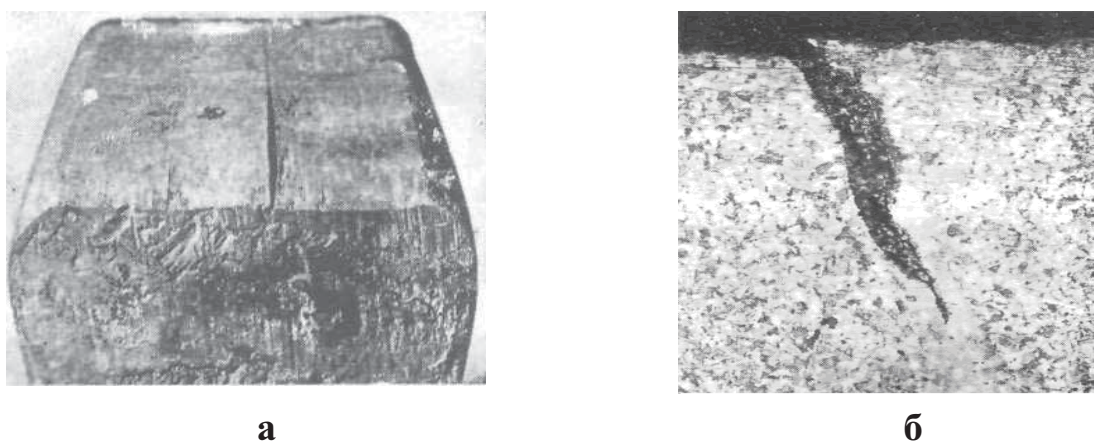
### 2.1. Дефекты поверхности, обусловленные качеством слитка и литой заготовки

**Пузыри в поверхностных слоях металла** — полости, имеющие в поперечном сечении округлую форму, а в продольном сечении форму капсулы, ориентированной перпендикулярно оси слитка. При выходе пузырей на поверхность слитка имеют вид отверстий округлой формы.

Дефект изображен на рис. 2.1–2.4.



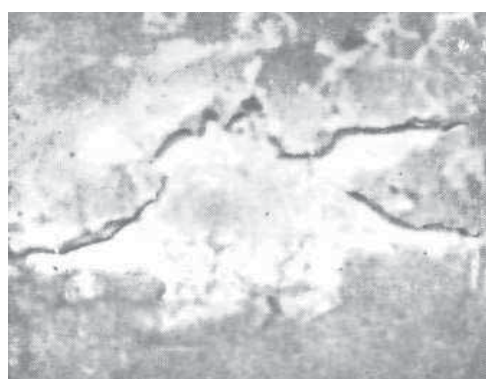
*Рис. 2.1. Отдельные пузыри (вздутия) и скопления пузырей на поверхности*



*Рис. 2.2. Раскатанный подкорковый пузырь:  
а — разорвавшийся пузырь на поверхности горячекатаной заготовки;  
б — поперечное сечение пузыря*



*Рис. 2.3. Газовые раковины:  
а – литая сталь, темплет; б – литой алюминиевый сплав, излом*



**а**



**б**

*Рис. 2.4. Разорванный (вскрытый) пузырь:  
а – пузырь сильно загрязненный окислами алюминия; б – пузырь на поверхности толстого листа*

Пузыри в поверхностных слоях металла образуются вследствие выделения избытка газов при кристаллизации металла и представляют собой полости, имеющие в поперечном сечении округлую форму, а в продольном сечении форму капсулы, ориентированной перпендикулярно оси слитка.

Диаметр пузырей может достигать нескольких миллиметров протяженностью более 10–12 мм. Располагаются дефекты, как правило, группами в корковом слое слитка (поверхностные пузыри) и под коркой (подкорковые пузыри). Нередки случаи выхода пузырей на поверхность слитка в виде отверстий округлой формы. Газовые пузыри могут располагаться группами по всей поверхности и высоте слитка и сопровождают такие дефекты на поверхности слитка, как «сетка разгара», заворот корки, наплывы.

В сортовом прокате раскатанные поверхностные и подкорковые газовые пузыри имеют вид прямолинейных тонких продольных трещин с плотно сжатыми краями. Иногда эти дефекты называют волосовинами, но это неверно, так как раскатанные газовые пузыри отличаются от волосовин значительно большей протяженностью и раскрытием, а также часто большей глубиной, выявляемой при зачистке. В прутках раскатанные пузыри располагаются преимущественно группами; иногда могут встречаться отдельные раскатанные пузыри.

Выделение газов из жидкого металла с образованием пузырей может происходить по двум причинам:



- высокая концентрация растворенного в металле кислорода или азота;
- поступление газов из внешних источников.

Меры предупреждения пузырей:

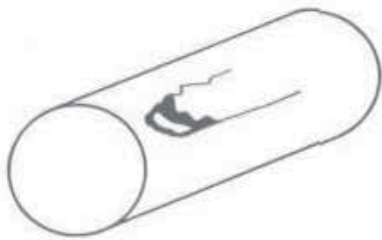
- применение шихты, легирующих добавок и шлакообразующих материалов с влажностью, не превышающей допустимую;
- соблюдение технологии разливки, тщательная подготовка составов и изложниц (применение высококачественных сухих сифонных припасов и чистых, отремонтированных, сухих, правильно смазанных изложниц).

Предупреждение газовых пузырей в металле вакуумно-дугового переплава достигается улучшением качества электродов (уменьшением загрязненности неметаллическими включениями и газонасыщенности).

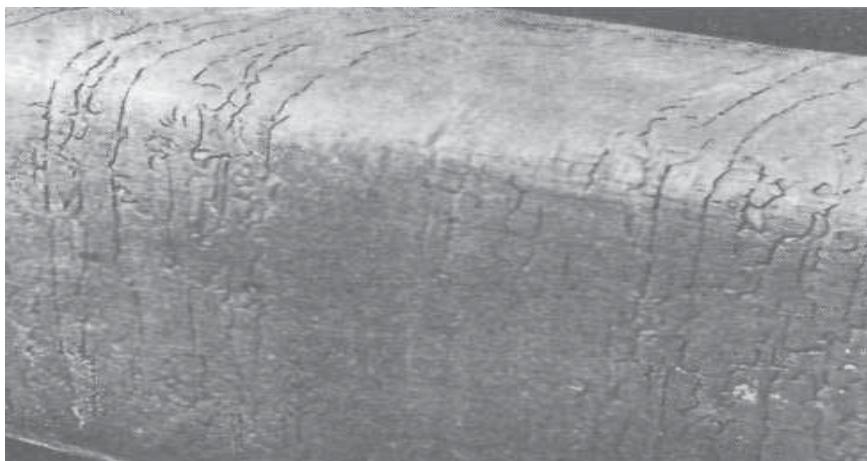
Поверхностные и подкорковые газовые пузыри встречаются в сталях всех марок при всех способах их получения, лишь в металле ЭШП они практически не наблюдаются.

**Завороты корки** – завернувшиеся корки металла, окислившиеся заливины и брызги, расположенные у поверхности слитков. В деформированном металле дефект представляет собой или разрывы, или частичное отслоение, образовавшееся в результате раскатки завернувшихся корок или брызг.

Дефект изображен на рис. 2.5–2.6.



*Рис. 2.5. Схематическое изображение заворота корки на деформированном прутке*



*Рис. 2.6. Внешний вид слитка стали 12X18H10T с заворотами корки на поверхности*

Иногда дефект не единичный, а поражает всю поверхность слитка или значительную ее часть.

В деформированном металле дефект представляет собой или разрывы, или частичное отслоение, образовавшееся в результате раскатки завернувшихся корок или брызг. При горячей деформации дефекты вытягиваются вдоль ее направления. На поверхности

прутков дефект может иметь вид языкообразного отслоения или разрыва, часто называемого слиточной пленой, т. е. пленой, образовавшейся из дефектов поверхности слитков, в отличие от прокатных плен, образующихся при раскатке рванин.

На макрошлифах дефект образует светлые участки, иногда серповидной формы, сопровождающиеся скоплениями загрязнений. На обточенных прутках имеет вид разветвленных пересекающихся трещин.

Дефект выявляется при осмотре поверхности и может быть точно классифицирован на прутках по внешнему виду и путем микроанализа. На микрошлифе в зоне дефекта присутствуют крупные скопления неметаллических включений. В некоторых участках зоны, прилегающей к дефекту, часто наблюдаются обезуглероживание и окалина.

Корки окисленного и загрязненного неметаллическими включениями металла образуются на поверхности жидкого металла при наполнении изложниц.

В случае холодного металла корки могут привариваться к стенке изложницы и оставаться там после затвердевания данного участка металла. Периодические поперечные завороты, опоясывающие слиток по всему периметру, связаны с периодическим подстыванием слоев металла у стенки изложницы и последующей заливкой этих слоев жидким металлом.

Завороты корок, заливины, брызги могут встречаться в металле всех марок стали при любых способах разливки. Исключение составляет электрошлаковый переплав, при котором поверхность слитка отделена от стенок кристаллизатора слоем шлакового гарнисажа.

Дефект очень часто встречается при разливке холодного металла, при медленной разливке, а также при разливке металла, отличающегося большой вязкостью.

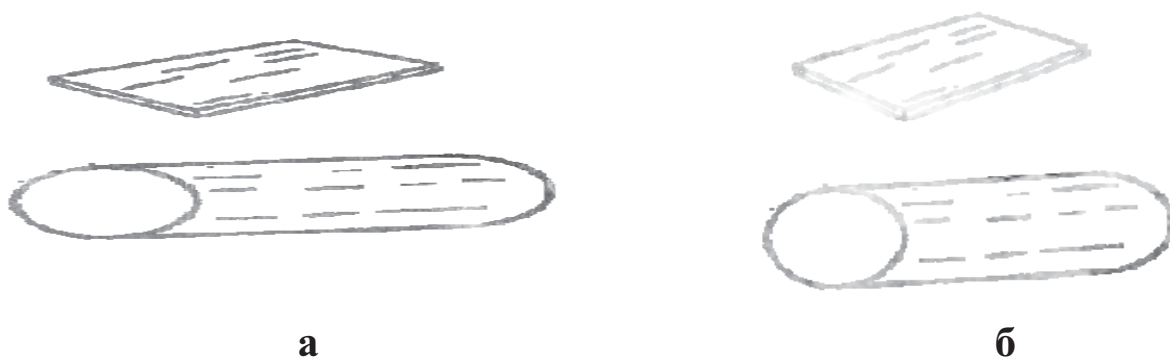
С целью предупреждения образования дефектов необходимо разливать хорошо нагретый и раскисленный металл. Эффективное средство предупреждения дефекта – разливка под жидким синтетическим шлаком или шлакообразующими смесями и брикетами.

**Загрязнения и волосовины** – загрязнения поверхности слитков, прутков и других изделий неметаллическими включениями (шлаком, огнеупорами, утепляющими смесями, оксидами и др.). Имеют вид пристывших или частично залитых металлом кусков или мелких частиц светло-серого, темно-серого или коричневого цвета.

Дефекты изображены на рис. 2.7–2.10.



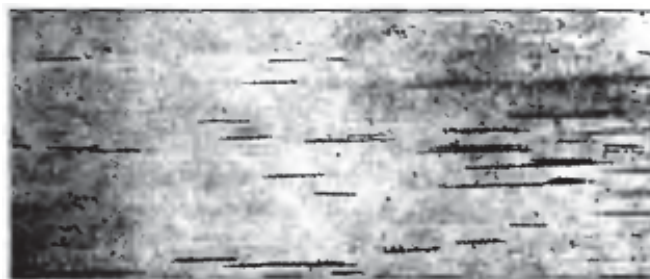
Рис. 2.7. Схематичное изображение дефекта:  
а – загрязнения; б – волосовины



*Рис. 2.8. Внешний вид прутков с грубыми раскатанными загрязнениями:  
а – пруток стали ШХ15; б – блюм стали 45*



*Рис. 2.9. Внешний вид волосовин:  
а – волосовины в местах зачистки сдутки из стали Х25Т;  
б – грубая волосовина в продольном микрошлифе стали 12Х18Н10Т*



*Рис. 2.10. Волосовины на поверхности листа, выявленные травлением, сталь (внешний вид)*

Если слитки поступают на передел в холодном состоянии, то загрязнения подлежат удалению; для этого производят вырубку, зачистку абразивами или обточку на станках их поверхности. Если же слитки поступают на передел в горячем состоянии без обработки поверхности, то загрязнения либо удаляются с окалиной, либо (при значительной глубине) проявляются на поверхности деформированного металла в виде продольных дефектов.

Мелкие загрязнения при деформации вытягиваются в нитевидные дефекты, называемые волосовинами. Волосовины выявляются на шлифованной или протравленной поверхности прутков и могут быть единичными или групповыми. На продольных микрошлифах волосовины представляют собой строчки неметаллических включений. Загрязнения обычно представляют собой многофазные образования, иногда встречаются более мелкие однофазные.

Обычно крупные загрязнения представляют собой частицы шлака, огнеупоров и продуктов их взаимодействия с раскислителями, а также включения, образующиеся при контакте жидкого металла с воздухом. Протяженность волосовин может быть различной при незначительной глубине и ширине. Длина волосовины зависит от размера загрязнения и от степени вытяжки и возрастает с увеличением этих параметров. Обычно особенно сильно загрязнены волосовинами стали, легированные титаном. Характерная особенность этих сталей – групповое расположение нитевидных волосовин, распространяющихся на значительную глубину. При местном шлифовании поверхности, первоначально наблюдавшиеся волосовины стачиваются и вместо них выявляются новые, располагающиеся в более глубоких слоях металла.

В наибольшей степени волосовинами поражаются стали, легированные титаном, высокохромистые и высокомарганцовистые, а также стали, легированные алюминием или раскисленные большими дозами алюминия.

Меры по улучшению качества металла, выплаваемого в мартеновских и электродуговых печах, а также в конверторах: использование более качественных печных и разливочных огнеупоров, создание условий для меньшего запутывания шлака при сливе металла, выдержка металла в ковшах (для всплывания загрязнений), разливка под жидкими шлаками, защита струи металла от контакта с воздухом (аргоном, при разливке в вакууме) и др.

**Холодные трещины** – извилистый окисленный разрыв металла, более широкий у поверхности и сужающийся вглубь, образующийся после окончания сварки в процессе охлаждения ниже температур 150–100 °С или в течение последующих суток. Разрушение может быть транс- или интеркристаллитное.

Холодные трещины имеют светлый блестящий излом без следов высокотемпературного окисления. По отношению к металлу шва холодные трещины делятся на корневые и подвалковые.

По природе возникновения холодные трещины делятся на отколы, отрывы и слоистое (ламелярное) растрескивание.

Наружные холодные трещины выявляются визуально при внешнем осмотре, неразрушающими методами контроля (люминесцентный, метод красок) и разрушающими методами контроля (металлографический, фрактографический).

Холодные трещины могут возникать во всех зонах сварного соединения и располагаться параллельно или перпендикулярно оси шва. Место образования и направления трещин зависят от химического состава шва и основного металла, соотношения компонентов сварочных напряжений и ряда других факторов. Наиболее часто продольные холодные трещины начинаются с возникновения их очагов на участке околошовной зоны, примыкающей к линии сплавления. Внутренние холодные трещины выявляются двумя группами методов:

- неразрушающими – ультразвуковыми, радиационными, магнитными (для сталей);
- разрушающими – металлографическими и фрактографическими (на шлифах или изломах).

Холодные трещины служат очагом хрупкого, усталостного, коррозионного разрушения конструкции или детали в процессе их изготовления или эксплуатации. Степень отрицательного влияния зависит от величины и количества дефектов.

Холодные трещины относятся к наиболее опасным дефектам и по всем действующим нормативно-технологическим документам являются недопустимыми.

Дефект изображен на рис. 2.11–2.16.

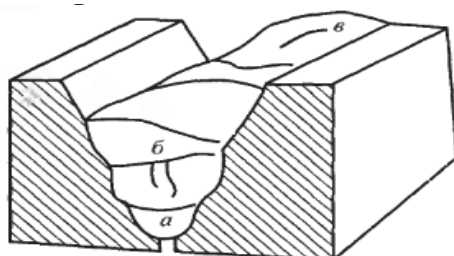


Рис. 2.11. Разновидность продольных холодных трещин в шве (схема):  
а – корневые; б – внутренние; в – поверхностные

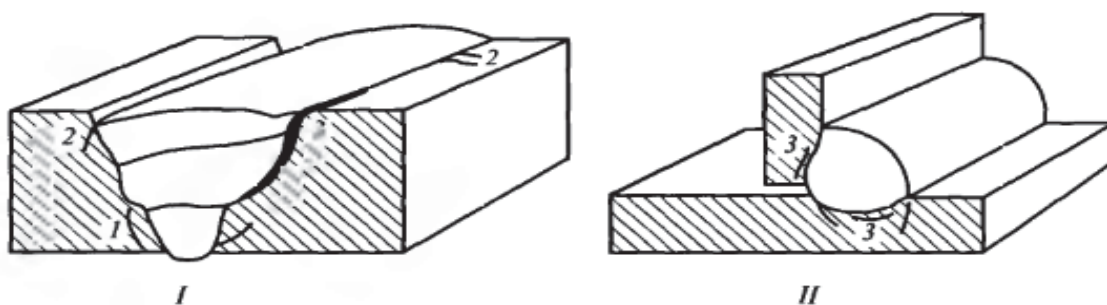


Рис. 2.12. Разновидность холодных трещин в зоне термического влияния:  
I – стыковое соединение; II – угловое соединение; 1 – продольные трещины;  
2 – поперечные трещины (частокол); 3 – отрыв

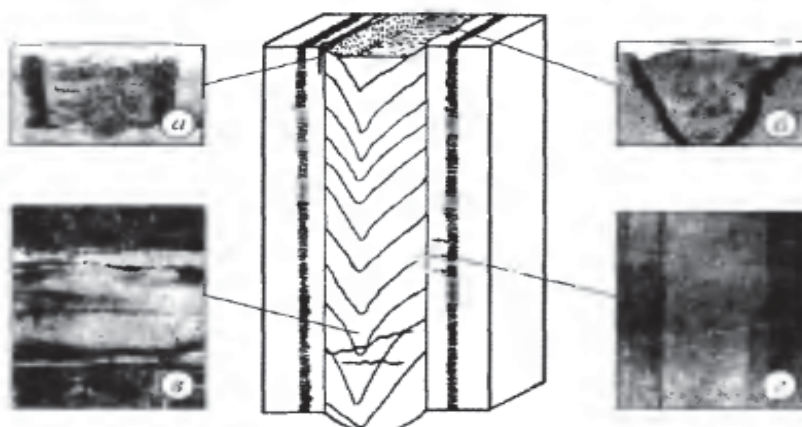
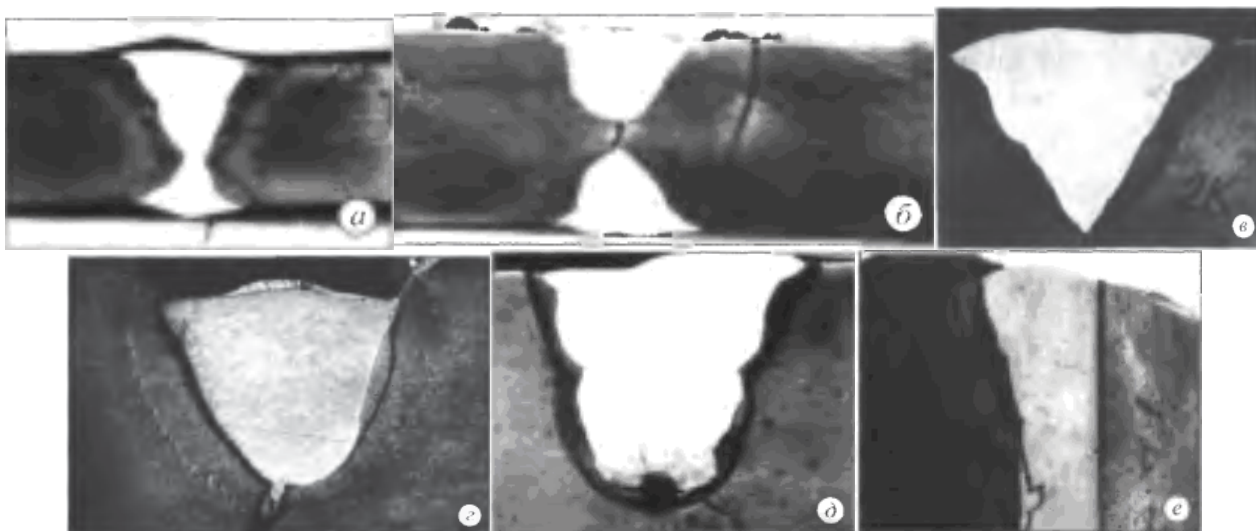
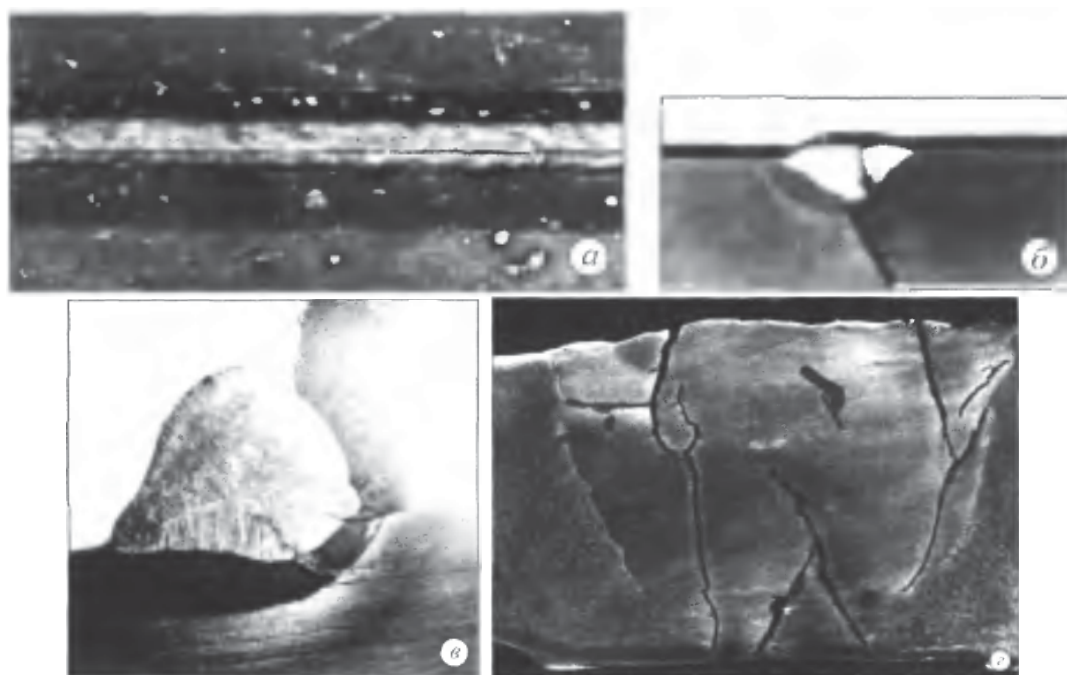


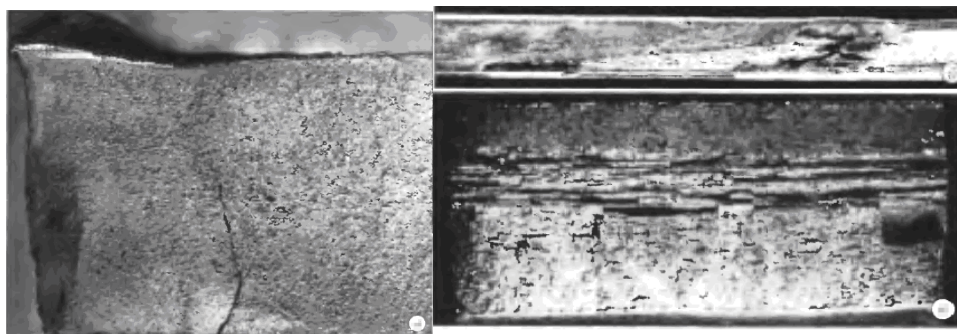
Рис. 2.13. Виды холодных трещин:  
а – продольные околошовные трещины – отколы; б – продольные трещины в зоне сплавления – отрывы; в – поперечные трещины в металле шва; г – поперечные



*Рис. 2.14. Холодные трещины в зоне термического влияния (макроструктуры):  
 а, б – продольные, поверхностные, параллельные зоне сплавления, отколы;  
 в – продольные, поверхностные и внутренние, идущие от зоны сплавления – отколы;  
 г – продольные, внутренние корневые – отколы; д – продольные,  
 внутренние подваликовые – отрывы; е – продольные, поверхностные и внутренние – отрывы*



*Рис. 2.15. Холодные трещины в металле шва:  
 а – продольная, выходящая наружу, внешний вид; б – продольная, выходящая наружу,  
 макроструктура; в – отрыв и продольная внутренняя, макроструктура;  
 г – продольные и поперечные, внутренние и выходящие наружу, темплет*



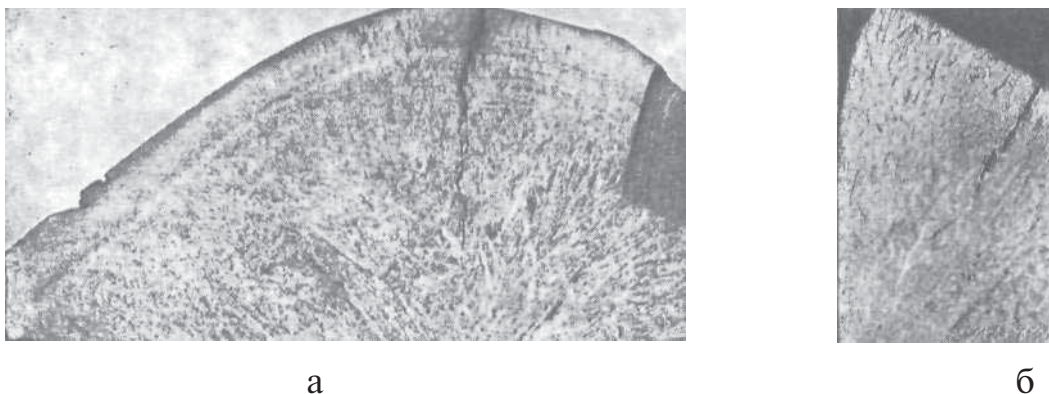
*Рис. 2.16. Холодные трещины:*

*а – в отливке (сталь), излом; б – в прокате (алюминиевый сплав) – поперек направления деформации, излом; в – в прокате (алюминиевый сплав) – вдоль направления деформации, излом x5; г – закалочная трещина в прокате (сталь), макроструктура*

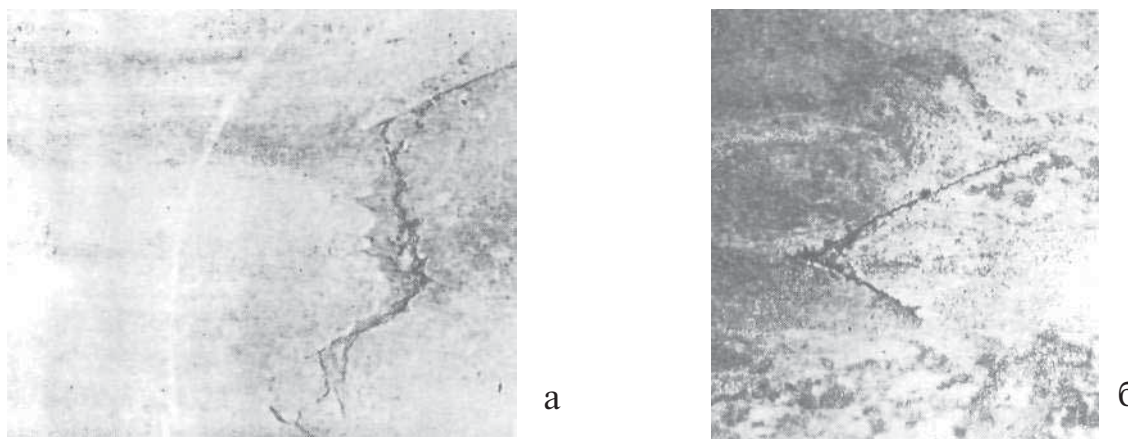
**Трещины горячие (кристаллизационные)** – извилистый окисленный разрыв металла, более широкий у поверхности и сужающийся вглубь, образовавшийся в период кристаллизации металла вследствие растягивающихся напряжений, превышающих прочность наружных слоев слитка.

Ширина раскрытых трещин на поверхности может достигать нескольких миллиметров, глубина – нескольких десятков миллиметров.

Дефект изображён на рис. 2.17–2.24.



*Рис. 2.17. Продольная угловая трещина в поперечном макрошлифе слитка стали 20: а – травление в 50 %-м растворе соляной кислоты; б – травление в реактиве Обергоффера*



*Рис. 2.18. Внешний вид раскатанных горячих трещин на прутках деформированного металла: а – поперечная трещина на блюме из стали 20; б – косая трещина на блюме из стали 20*

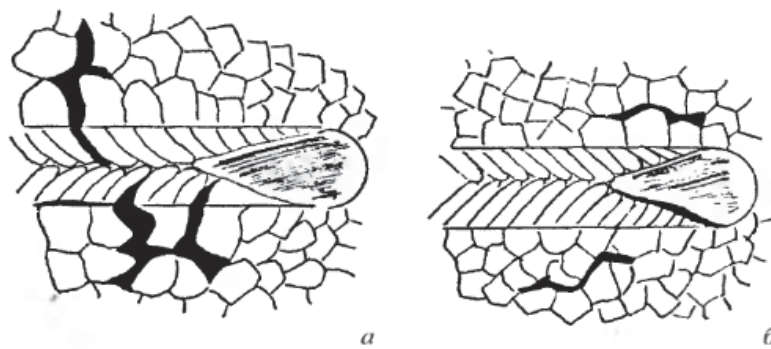


Рис. 2.19. Схематическое изображение горячих трещин в зоне термического влияния:  
а — поперечные; б — продольные

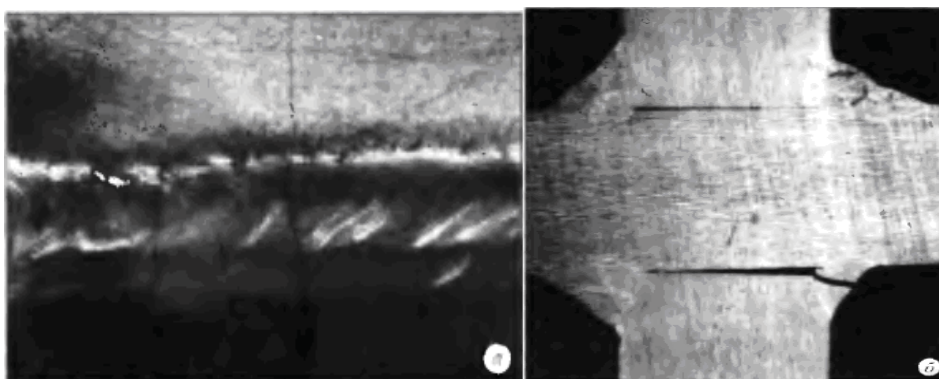


Рис. 2.20. Вид крестовой пробы, предназначенной для оценки склонности сварных швов к образованию горячих трещин:  
а — внешний вид сварного шва с поперечными трещинами;  
б — макроструктура поперечного сечения крестовой пробы (алюминиевый сплав)

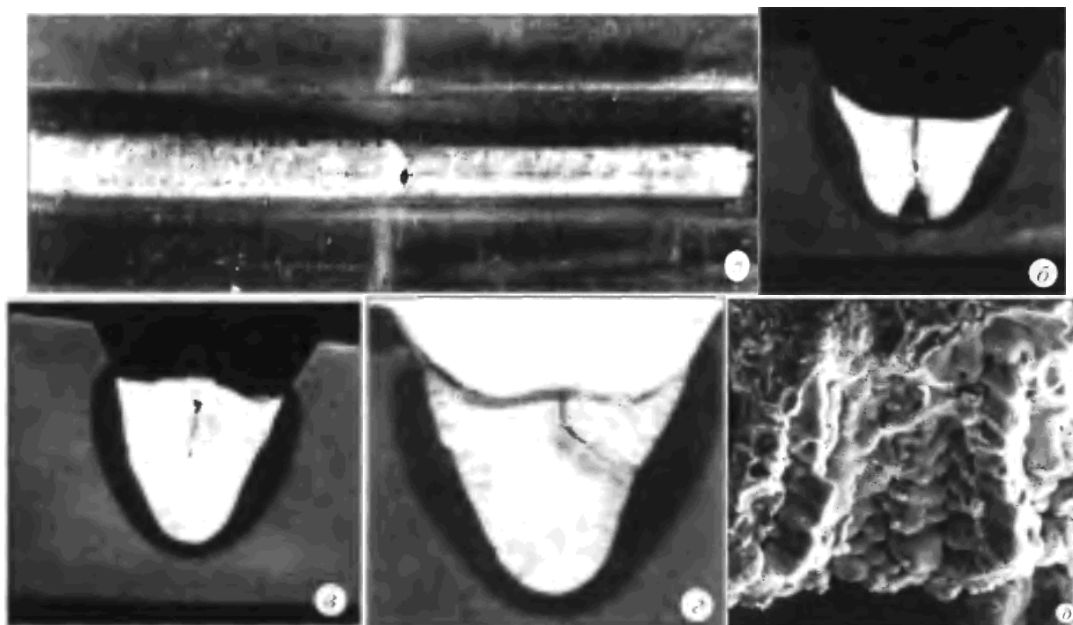


Рис. 2.21. Горячие трещины в металле швов:  
а — внешний вид трещины по оси шва, выходящей наружу; б — макроструктура трещины по оси шва, выходящей наружу; в — макроструктура трещины по оси шва, не выходящей наружу;  
г — макроструктура трещины в межосных плоскостях, выходящей наружу;  
д — микрорельеф разрушения горячих (кристаллизационных) трещин



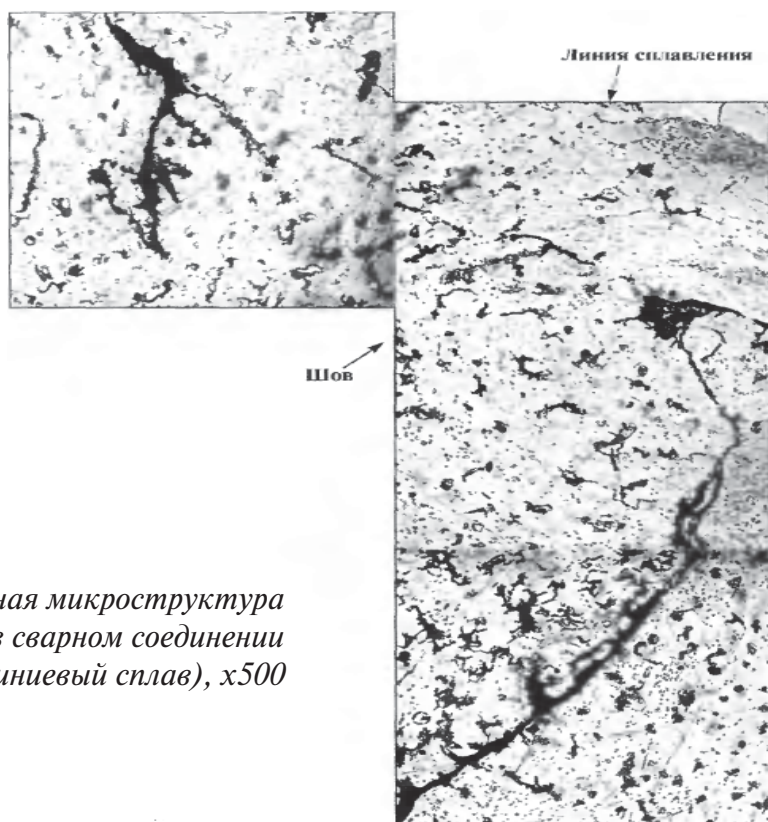


Рис. 2.22. Характерная микроструктура горячей трещины в сварном соединении (алюминиевый сплав), x500

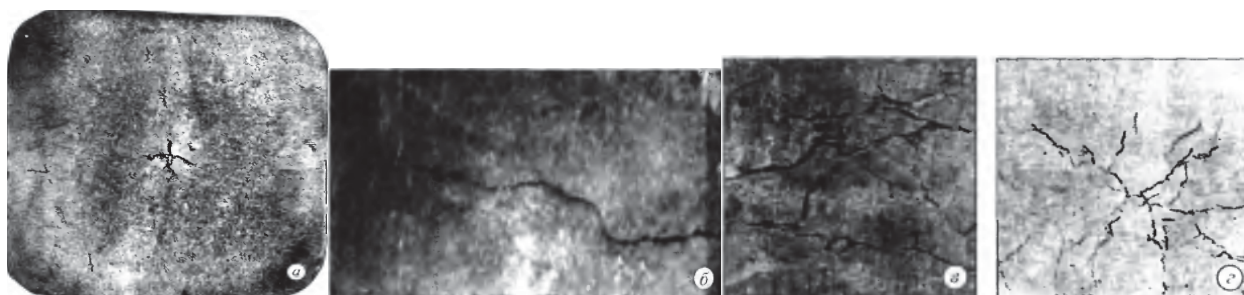


Рис. 2.23. Горячие трещины в отливках (сталь):  
*а* – внутренняя, осевая; *б, в* – поверхностные; *г* – поверхностные паукообразные (звездообразные).  
 Макроструктуры

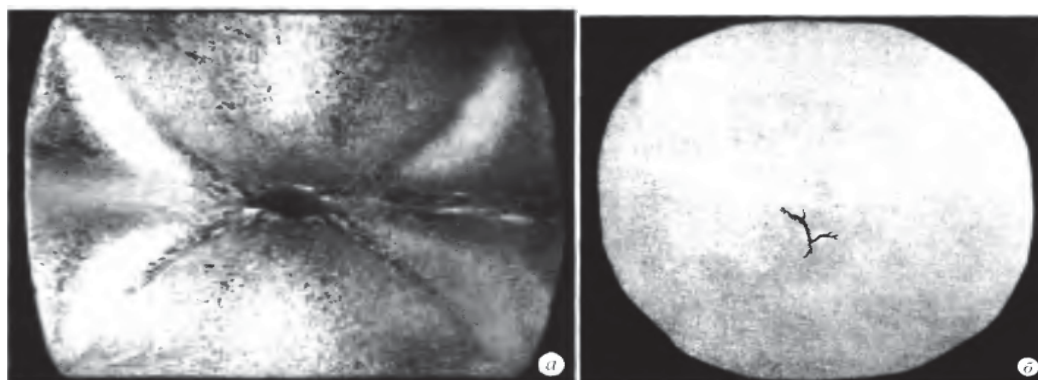


Рис. 2.24. Внутренние горячие трещины в деформированном металле:  
*а* – сечение поковки, алюминиевый сплав; *б* – сечение кованого прутка, сталь. Макроструктуры

Горячие трещины могут быть поперечными (трещины зависания) и продольными. Поперечные трещины чаще всего располагаются в подголовной или донной части слитка. Продольные трещины иногда могут быть прерывистыми, в граненых слитках – угловыми; могут располагаться по всей высоте изделия. Изредка на гранях наблюдаются комбинированные трещины, т. е. одни их участки направлены продольно или под углом к оси слитка, а другие – поперек. Возможно наличие трещин всех видов одновременно на одной или всех гранях и в углах слитка. Излом по трещинам сильно окислен.

В поперечных макрошлифах трещины имеют извилистый, прерывистый ступенчатый характер и располагаются в междендритных промежутках. Наиболее широко раскрытый участок трещин находится в корковом слое. Длина ступенек (разрывов) несколько миллиметров, расстояние между их концами 1,5–2 мм. Таким образом, трещины состоят из нескольких разрывов, являющихся как бы продолжением друг друга в глубину слитка и разделенных перемычками из металла.

Раскатанные горячие трещины представляют собой разрывы металла, ориентированные вдоль оси проката, под углом к ней или перпендикулярно в зависимости от ориентации и формы исходного дефекта слитка.

Продольные раскатанные трещины – это продольный узкий разрыв металла с плотно сжатыми стенками и редкими ступеньками. Поперечные и наклонные раскатанные трещины представляют собой грубые разрывы поперечной ориентации, часто языкообразной формы, сопровождающиеся иногда пленами.

Причина появления горячих трещин в слитках – чаще всего температурные напряжения, возникающие при определенных условиях кристаллизации металла в изложнице. Образование трещин определяют многочисленные технологические факторы, одновременно вызывающие понижение механической прочности первичной корочки и увеличение разрывающих усилий в момент образования трещин.

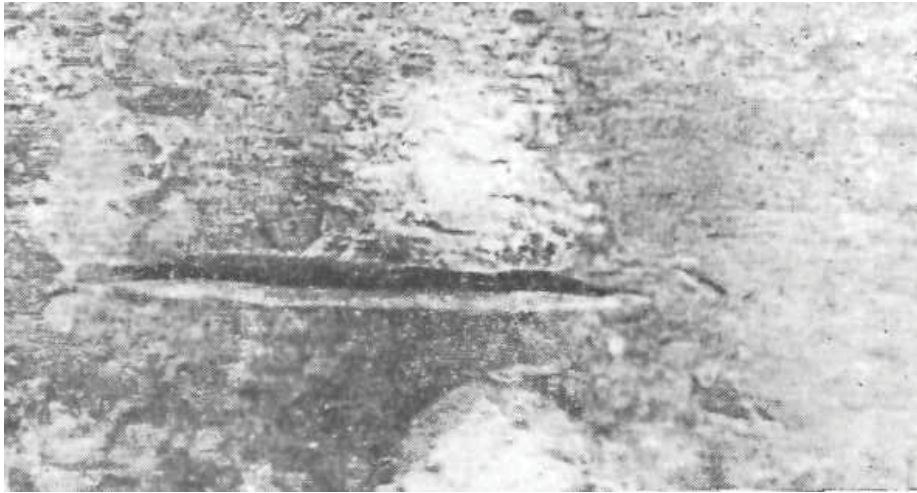
Для предупреждения и устранения дефектов следует своевременно ремонтировать изложницы, тщательно подгонять к ним прибыльные надставки, применять оптимальные режимы температуры и скорости разливки металла, проводить разливку под слоем жидкого шлака.

## **2.2. Дефекты поверхности, образовавшиеся в процессе деформации**

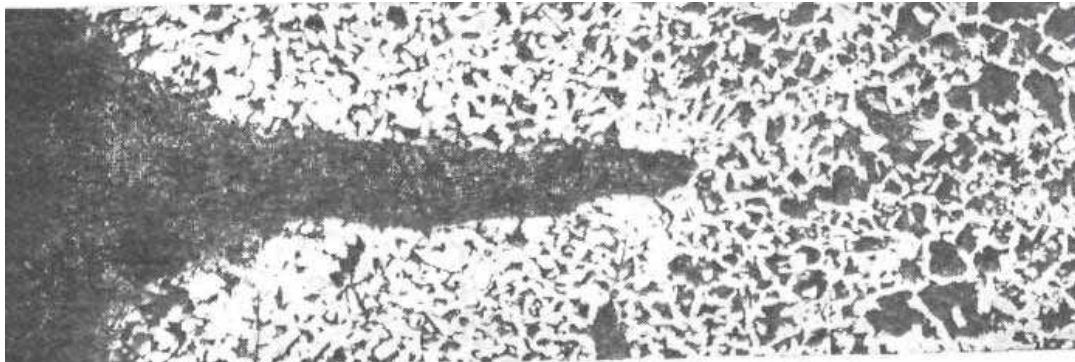
**Задир поверхности основного металла** – повреждение поверхности, вызванное удалением путем отрыва временного технологического крепления.

**Дефект от вдавливания в слиток кернов клещей крана** – углубления на блюмах и слябах, образовавшиеся от вдавливания острых кернов клещей крана в горячие слитки при их транспортировке. По виду дефект напоминает единичную чечевицеобразную, широко открытую сравнительно короткую трещину.

Дефект изображён на рис. 2.25–2.26.



*Рис. 2.25. Внешний вид бляма с дефектом от вдавливания в слиток кернов клещей крана*



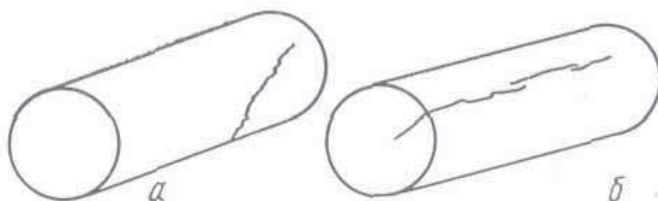
*Рис. 2.26. Микроструктура дефекта от кернов клещей крана, шлиф травлен в 4 %-м спиртовом растворе азотной кислоты*

По виду дефект напоминает единичную чечевицеобразную, широко открытую, сравнительно короткую трещину. В макроструктуре дефект имеет вид трещин, уходящих в глубину на 30 мм и расположенных по середине противоположных граней бляма. На микрошлифах выявляется неглубокое обезуглероживание по краям дефекта; структура металла вблизи дефекта сравнительно мелкозернистая, что связано с деформацией. Стенки дефекта гладкие, конец тупой, закругленный. Дефект наиболее часто встречается в блямах и слябах малоуглеродистой стали.

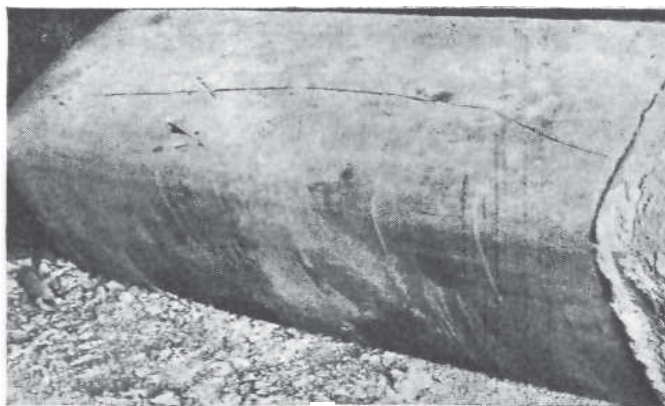
Для предупреждения дефекта рекомендуется не применять сильно заостренных кернов.

**Трещина напряжения** — направленный в глубь металла разрыв часто под прямым углом к поверхности, образовавшийся вследствие объемных изменений, связанных со структурными превращениями или с нагревом и охлаждением металла.

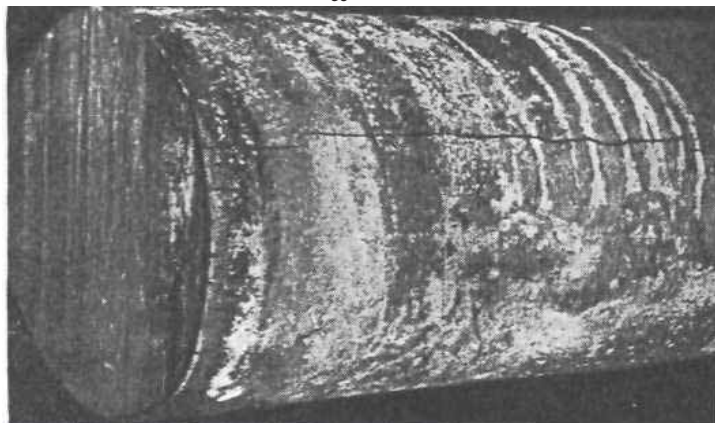
Дефект изображён на рис. 2.27–2.28.



*Рис. 2.27. Схемы трещин напряжения на прутках стали:  
а — единичная трещина;  
б — прерывистая продольная трещина*



**а**



**б**

*Рис. 2.28. Трещины напряжения на слитках стали 37ХН3А:  
а – слиток обычной разливки; б – слиток электрошлакового переплава*

Трещины напряжения образуются в слитках и в деформированном металле при его переделах и имеют ряд разновидностей. Наиболее часто встречаются трещины, образовавшиеся при:

- охлаждении стали, в процессе которого произошло мартенситное превращение;
- вылеживании стали с мартенситной структурой;
- медленном нагреве наклепанных дисперсионнотвердеющих сплавов;
- нагреве или охлаждении высокохромистых сталей ферритного класса;
- при быстром нагреве сталей с высокой твердостью и малой пластичностью.

Образование трещин напряжения при мартенситном превращении зависит от состава стали и режимов охлаждения металла и практически не зависит от способа выплавки. Наиболее склонны к трещинам напряжения, возникающим при охлаждении после горячей деформации, стали мартенситного и мартенсито-ферритного классов. После ускоренного охлаждения (в воде, масле и других средах) появление трещин наблюдается и у сталей перлитного класса.

Для предупреждения образования трещин при нагреве дисперсионнотвердеющих сталей и сплавов следует интервал температур выделения упрочняющей фазы проходить по возможности быстро до температуры растворения фазы и рекристаллизации металла. Если из-за больших размеров изделий осуществить быстрый нагрев сложно, то не следует допускать низкой температуры окончания горячей деформации в целях предупреждения наклепа.

В сталях ферритного и феррито-мартенситного класса, главным образом высокохромистых, причиной возникновения трещин напряжения может быть выделение  $\alpha$ -фазы в интервале температур от 750 до 850 °С как при охлаждении, так и при нагреве. Наряду с изменениями объема в этом случае происходит охрупчивание металла. Для предупреждения трещин необходимо избегать длительного пребывания стали при температурах выделения  $\alpha$ -фазы и обеспечивать быстрое охлаждение ее от 850 °С.

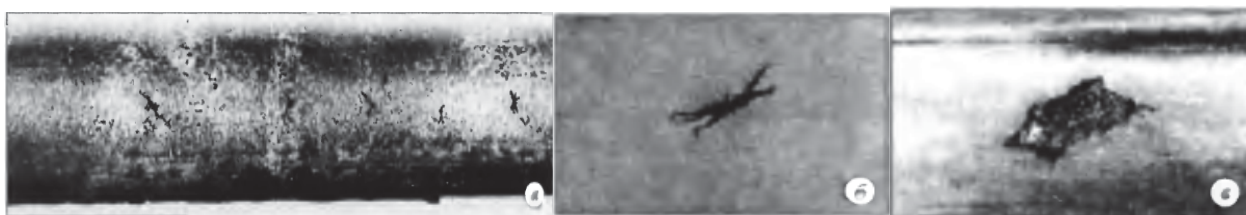
**Скворечник** – дефект в виде ромбического разрыва металла с широким раскрытием. Имеет сглаженные и окисленные стенки, выходящие на боковую поверхность проката и прессованных полуфабрикатов. На макрошлифах и в изломах скворечник имеет вид несплошности (свища) в металле. В месте дефекта наблюдается повышенное окисление, а в сталях – обезуглероживание поверхностного слоя металла.

Дефект выявляется визуально.

Дефект возникает вследствие раскрытия внутренних трещин (над-рывов) в металле при его горячей деформации. Появлению скворечников способствует недостаточный нагрев слитков, снижающий пластичность центральных слоев металла при горячей деформации. Наиболее склонны к образованию скворечников высоколегированные стали и сплавы.

Дефект резко снижает все механические свойства металла в направлении, перпендикулярном оси дефекта.

Дефект изображен на рис. 2.29.



*Рис. 2.29. Скворечники:*

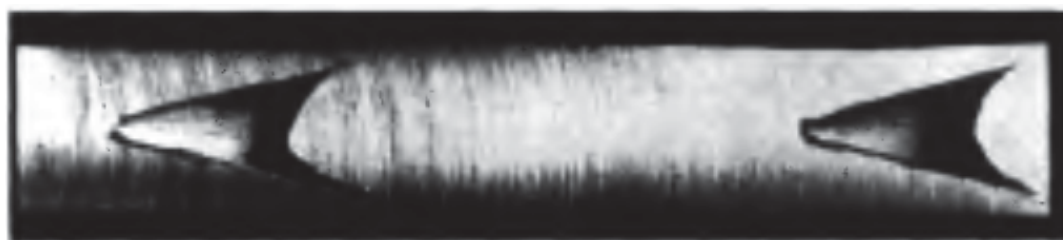
*а – на поверхности прутка, алюминиевый сплав, внешний вид; б, в – в продольном сечении проката, сталь, темплет; г – в виде треугольной воронки, прокат, сталь, излом*

**Надрывы** – многочисленные, периодически повторяющиеся внутренние разрывы с широким раскрытием в металле, расположенные поперек направления деформирования. (Выход надрывов на поверхность металла называют «скворечники».)

Дефект выявляется методами просвечивания и идентифицируется на макрошлифах.

Образование надрывов обусловлено пониженной пластичностью центральных слоев металла из-за недостаточного прогрева слитков (часто встречается при индукционном нагреве прессуемых заготовок).

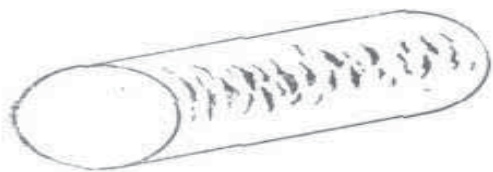
Дефект изображен на рис. 2.30.



*Рис. 2.30. Надрывы в продольном сечении прутка, алюминиевый сплав, темплет*

**Рванины** – раскрытые разрывы, расположенные перпендикулярно или под углом к направлению наибольшей вытяжке металла.

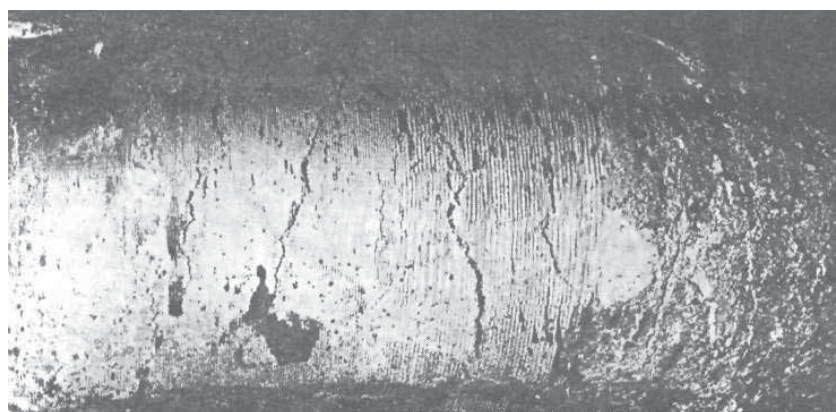
Дефект изображён на рис. 2.31–2.33.



*Рис. 2.31. Схема рванин на прутке стали*



*Рис. 2.32. Слиток с грубыми рванинами после первых обжатий при прокате*



*Рис. 2.33. Слиток сплава 20НГ с грубыми рванинами, образовавшимися при первых ударах молота*

Дефект образуется при горячей деформации малопластичного металла. При резко пониженной пластичности металла возможно образование грубых рванин после первого обжатия в валках или при первых ударах молота при ковке.

Рванины на прокате обычно расположены полосами вдоль направления деформации, часто периодически повторяясь. Углы заготовок обычно поражены дефектами в большей степени, что может быть связано с неравномерным нагревом металла и большей степенью деформации, а также их подстуживанием.

В момент образования разрывы обычно тонкие, но последующая деформация приводит к их расширению.

В зоне рванин микроструктура обычно крупнозернистая и по границам зерен наблюдаются разрывы, заполненные оксидами.

**Плены** – дефекты поверхности, представляющие собой сравнительно тонкие плоские металлические отслоения языкообразной или округлой формы. В литом металле плены могут располагаться в любой части поверхности отливки. Плены, образующиеся по периметру отливки, называют заворотами корки, рубцами, наплывами. В деформированном металле (прокат, поковка) плены могут частично привариваться к основному металлу. В этом случае их размеры могут быть различными: от еле заметных чешуек до 100 мм и более по длине и по ширине (особенно на толстых листах). В некоторых случаях в зоне приварки плены наблюдается обезуглероженный слой металла с повышенным содержанием неметаллических включений.

Дефект характерен для литых и деформированных сталей. Выявляется визуально или на макро- и микрошлифах.

Плены образуются вследствие:

- отклонения технологии выплавки и разливки стали от заданной;
- разливки холодного металла прерывистой струей;
- неудовлетворительной зачистки и зашлифовки поверхности металла перед нагревом слитка под прокатку;
- затекания жидкого металла под отслоившийся формовочный материал при производстве отливок.

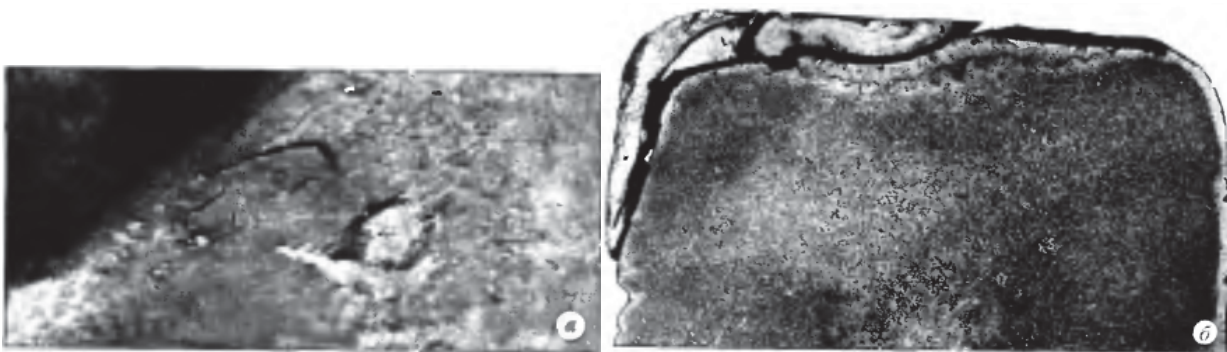
Среди основных факторов, влияющих на образование плен при прокатке, можно выделить следующие:

- плены на поверхности слитка;
- скопления сотовых пузырей в подкорковой зоне слитка и последующее их вскрытие в процессе горячей деформации;
- неудовлетворительная калибровка валков и дефектная форма кромок слитка (подката);
- наличие рванин и трещин на поверхности слитка.

Плены могут вызывать отслоения металла при температурно-деформационной обработке слитка, проката, поковки.

Дефект снижает механические и служебные свойства металлопродукции.

Дефект изображен на рис. 2.34.



*Рис. 2.34. Плены (сталь):*

*а – плена на поверхности отливки, внешний вид; б – плены на поверхности отливки, темплет*

**Прокатные плены** – отслоения металла языкообразной формы, соединенные с основным металлом, и образованные вследствие раскатки или расковки рванин.

Дефект изображён на рис. 2.35.



*Рис. 2.35. Схема прокатных плен на прутке*

Плены могут также образоваться в местах грубой зачистки дефектов поверхности. Нижняя поверхность плен окислена, и металл под ней покрыт окалиной.

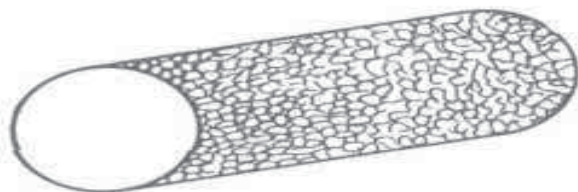
При удовлетворительном качестве металла рванины могут образоваться вследствие неблагоприятных условий нагрева (перегрев, пережог, неравномерный нагрев, недогрев) или деформации (большие степени обжатия, неоптимальная схема калибровки).

Особенно часто дефекты встречаются при перегреве или недогреве перед деформацией высоколегированных сталей и сплавов. Последние вследствие своего состава часто имеют низкую пластичность и требуют особенно строгого поддержания оптимальных режимов нагрева и деформации.

Для предупреждения образования прокатных плен заготовки с рванинами и другими дефектами подвергают тщательной зачистке.

**Чешуйчатость** – отслоения или разрывы в виде сетки, образовавшиеся при прокатке из-за перегрева (пережога) или пониженной пластичности металла периферийной зоны.

Дефект изображён на рис. 2.36–2.37.



*Рис. 2.36. Схематичное изображение чешуйчатости*



*Рис. 2.37. Внешний вид заготовки с чешуйчатостью*

Чешуйчатостью может быть покрыта вся поверхность проката или её часть.



При пониженной пластичности периферийной зоны в ней при первом обжатии возникают мелкие разрывы, которые при последующих проходах раскатываются в мелкие чешуйки языкообразной формы, связанные с металлом. Дефект подобен прокатным пленам, но отличается от них малой глубиной и большей степенью поражения поверхности.

В том случае, если низкая пластичность поверхностного слоя металла связана с высокой температурой нагрева поверхностного слоя перед выдачей металла на деформацию, границы кристаллитов оплавляются и по ним при деформации возникают разрывы. Причиной чешуйчатости может быть также насыщение поверхности металла серой при нагреве в атмосфере, содержащей сернистые газы. Проникновение серы в металл преимущественно по границам кристаллитов приводит к образованию на этих границах легкоплавких сульфидов, по которым возникают разрывы.

Чешуйчатость встречается у низкоуглеродистых или среднеуглеродистых конструкционных сталей, в том числе легированных.

Мероприятия по предупреждению дефекта: соблюдение оптимальной температуры нагрева стали перед деформацией (не допуская перегрева и пережога поверхности), а также использование печных атмосфер, не содержащих высоких концентраций серы.

**Прижоги** – дефекты, образующиеся при локальном перегреве металла (шлифованье, электрохимическое клеймение, спектральный анализ и др.), являющиеся структурными концентраторами напряжений, в зоне которых может возникнуть растрескивание.

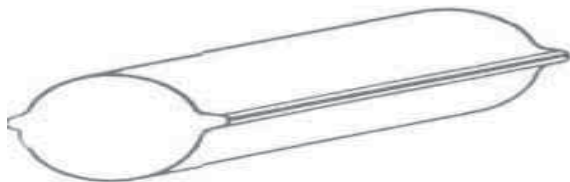
Дефект изображён на рис. 2.38.



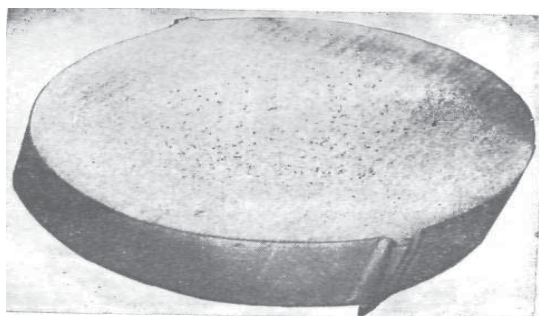
*Рис. 2.38. Внешний вид прижогов*

**Ус** – продольный выступ с одной стороны прутка или с двух диаметрально противоположных его сторон.

Дефект изображён на рис. 2.39–2.40.



*Рис. 2.39. Схематическое изображение двустороннего уса*



*Рис. 2.40. Внешний вид и макроструктура прутка с усом*

Дефект имеет значительную протяженность и обычно распространяется на всю длину прутка. Иногда дефект располагается на одном конце прутка.

Резко выраженный двусторонний ус называют также «лампасом». Переход уса к поверхности прутка обычно плавный.

Микроструктура стали в зоне дефекта не изменяется. Прокат с усом обычно бракуют и лишь в редких случаях ус с заготовок удаляют зачисткой.

Причины образования дефекта:

- переполнение калибра из-за излишка металла (слишком большое сечение заготовки);
- неправильная калибровка и выработка предчистового калибра;
- неправильная настройка калибров и арматуры валков;
- пониженная температура металла.

При последующей прокатке в процессе кантовки усы прикатываются к поверхности, образуя закаты.

Меры по предупреждению дефекта:

- применение калибровки, гарантирующей от переполнения калибров;
- правильная настройка валков и валковой арматуры;
- подача металла в калибр по центру;
- использование калибров, не имеющих значительного износа;
- соблюдение температурного режима нагрева металла;
- установка проводок по центру (без смещения).

**Подрез** – продольное углубление по всей длине прутка или на отдельных участках его поверхности, образовавшееся из-за неправильной настройки валковой арматуры или одностороннего перекрытия калибра. Прокатный подрез может иметь волнистый или зазубренный край.

Дефект изображён на рис. 2.41–2.43.

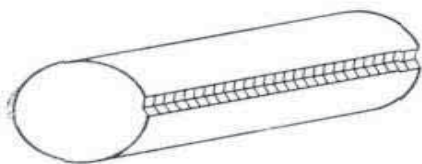


Рис. 2.41. Схема подреза на прутке

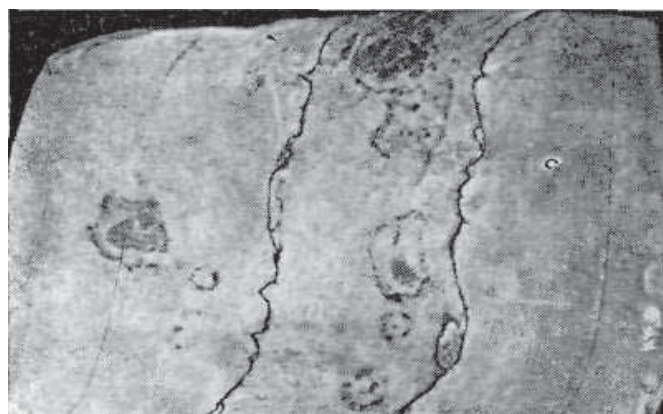


Рис. 2.42. Прикатанный подрез на заготовке



*Рис. 2.43. Внешний вид прутка с подрезом*

Прикатанный подрез может иметь волнистый или зазубренный край; возможны мелкие отслоения вдоль прутка.

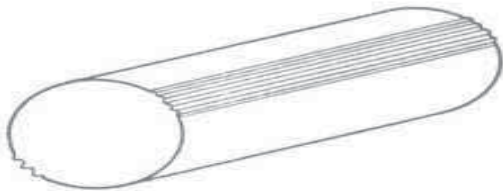
Микроструктура металла в зоне прикатанного подреза характеризуется обезуглероживанием и наличием вкатанной окалины. Обезуглероживание часто бывает односторонним.

Подрез на квадратной и прямоугольной заготовках (блюм, сляб) возникает вследствие задачи полосы на бурты валка или из-за смещения ручьев калибра. На профиле круглого сечения подрез образуется чаще всего в процессе прокатки по схеме квадрат — овал: углы квадрата подрезаются при задаче в овал.

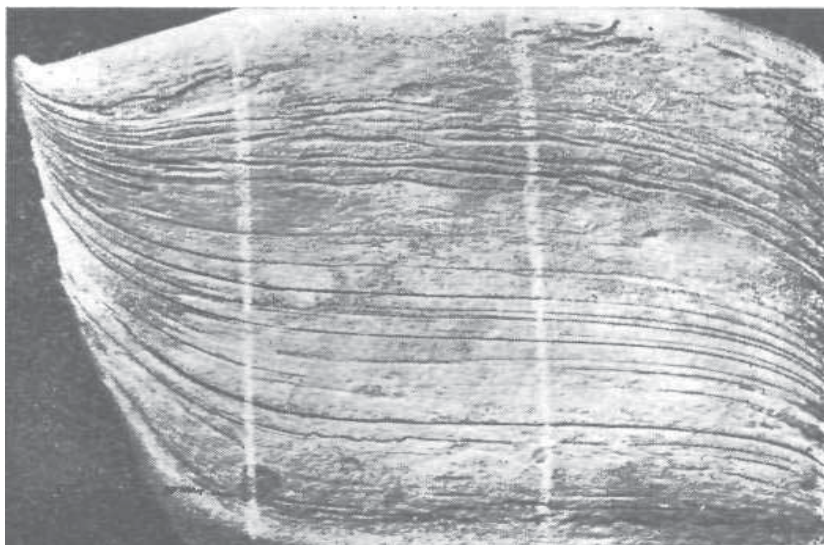
Основные меры предупреждения: правильная настройка валков, валковой арматуры, а также устранение одностороннего перекрытия калибров.

**Морщины** — группа чередующихся продольных углублений и выступов.

Дефект изображён на рис. 2.44–2.45.



*Рис. 2.44. Схематическое изображение прутка с морщинами*



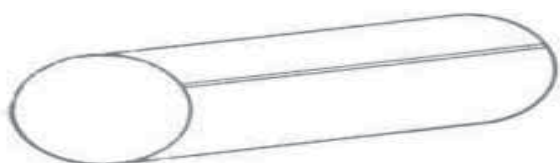
*Рис. 2.45. Морщины на поверхности заготовки*

Как правило, морщины располагаются по всей длине блюмов или прутков, преимущественно в зоне, соответствующей разъему валков. Глубина дефекта обычно не превышает 1,0 мм. Типичные признаки морщин в поперечных микрошлифах – полости с гладкими стенками и тупыми концами, частично заполненные окалиной. Степень обезуглероживания поверхности морщин обычно такая же, как и поверхности прутка.

Морщины могут возникать в процессе прокатки при повышенных обжатиях боковых граней, а также при прокатке сплюснутого овала на круг или вытянутого ромба на квадрат. Нарушение режима кантовок также приводит к образованию морщин. Для предупреждения дефекта рекомендуется также избегать работы на сильно выработанных калибрах с наварами и не допускать вдавливания окалины в металл. При прокатке необходимо проверять поверхность промежуточных профилей.

**Риска** – прямоугольное продольное углубление с закругленным или плоским дном, образовавшееся из-за царапания поверхности металла наварами и другими выступами.

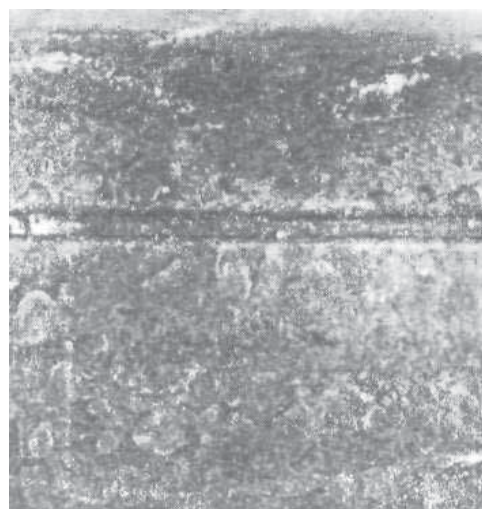
Дефект изображён на рис. 2.46–2.47.



*Рис. 2.44. Схематическое изображение прутка с риской*



**а**



**б**

*Рис. 2.47. Риски в прокатанных прутках:  
а – тонкая риска; б – широкая риска*

Риски могут быть тонкими и более широкими. Распространяются риски обычно вдоль всего прутка.

Характерный признак риски на поперечных микрошлифах – тупой широкий конец и отсутствие обезуглероживания. Риска не сопровождается изменением структуры и не содержит неметаллических включений. В зоне металла, прилегающей к риске, отсутствует ликвация.

Риски образуются большей частью при прокатке низкоуглеродистой стали. Меры предупреждения дефекта: поддержание арматуры прокатных станков в хорошем состоянии (отсутствие наваров и других дефектов).

**Расслоения** – представляют собой несплошности (раскатанные или расплющенные пустоты литого металла), ориентированные строго вдоль направления деформации и проявляющиеся в изломе в виде трещин.

Дефект наблюдается в деформированном металле.

Дефект проявляется в виде трещин в изломах металла, перпендикулярных направлению деформации, и на макрошлифах, также перпендикулярных к направлению деформации. В изломах, параллельных направлению деформации, имеют вид плоских вытянутых участков с гладкой поверхностью светло-серого блестящего или матового цвета.

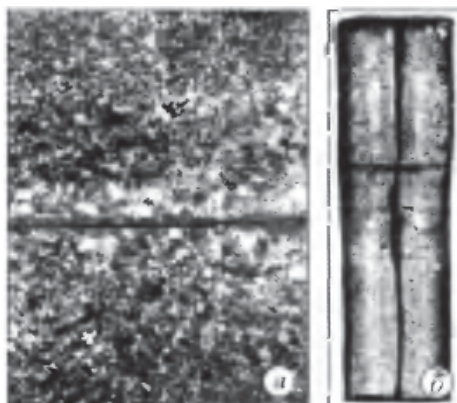
Крупные расслоения в прокате, поковках и штамповках могут быть выявлены ультразвуковым методом контроля.

Расслоения образуются вследствие раскатки при деформации усадочных раковин, рыхлости, газовых пузырей, неметаллических и металлических включений, имевшихся в слитке, которые служат очагами зарождения несплошностей в прокате. Дефект преимущественно располагается в центральной части заготовок, обладающей пониженной пластичностью. Возможность образования расслоений увеличивается при наличии факторов, препятствующих их завариванию при горячей деформации:

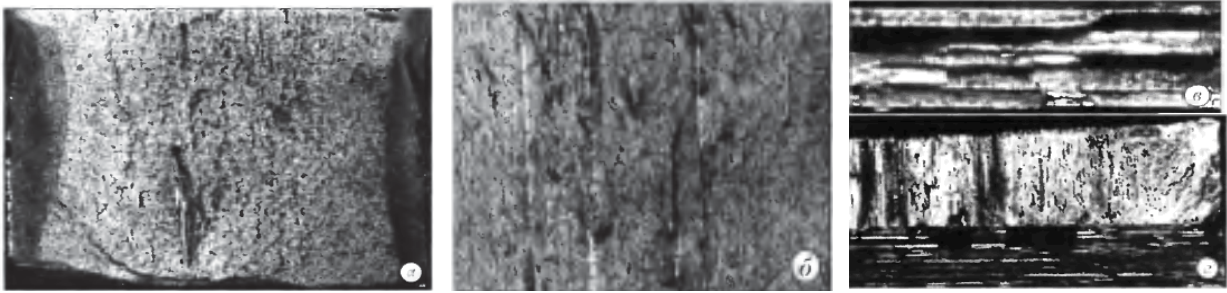
- повышенном газосодержании и содержании вредных примесей и неметаллических включений, снижающих пластические характеристики металла в центральных зонах заготовок под деформацию;
- отклонении режимов деформации металла от оптимальных.

Дефект не оказывает заметного влияния на механические свойства деформированных полуфабрикатов в продольном и поперечном направлениях; по толщине деформированных полуфабрикатов все механические свойства снижаются, причем степень снижения зависит от размера площади, занятой дефектом в сечении образца. При наличии расслоений резко снижается сопротивление разрушению металла в конструкциях в высотном направлении. Выходя на кромку свариваемого металла и попадая в зону сварного шва, расслоения вследствие содержащихся в их полости газов могут вызывать поры и свищи в сварном шве.

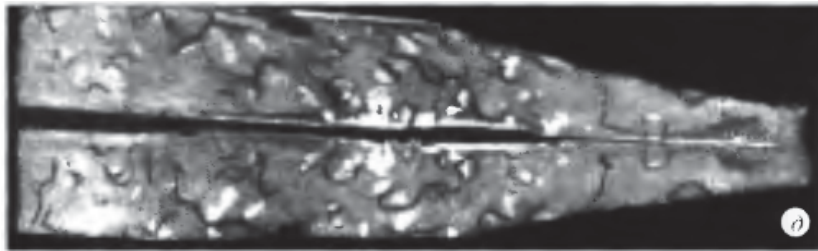
Дефект изображен на рис. 2.48–2.50.



*Рис. 2.48. Расслоения в прокате (никелевый сплав):  
а – макроструктура; б – излом*



*Рис. 2.49. Расслоения (в изломе):  
 а, б – поперек направления деформации (а – единичные расслоения; б – множественные);  
 в – вдоль направления деформации; г – по толщине проката; д – в штамповке;  
 а, б – сталь; в–д – алюминиевый сплав*



*Рис. 2.50. Продолжение*

**Наслоения** – загрязнения в подповерхностных зонах прессованного металла, вытянутые вдоль направления прессования и располагающиеся по всему периметру или занимающие значительные участки поверхности прессованного полуфабриката. В большинстве случаев наслоения сопровождаются отшелушиванием верхнего тонкого слоя металла.

Дефект характерен для алюминиевых сплавов.

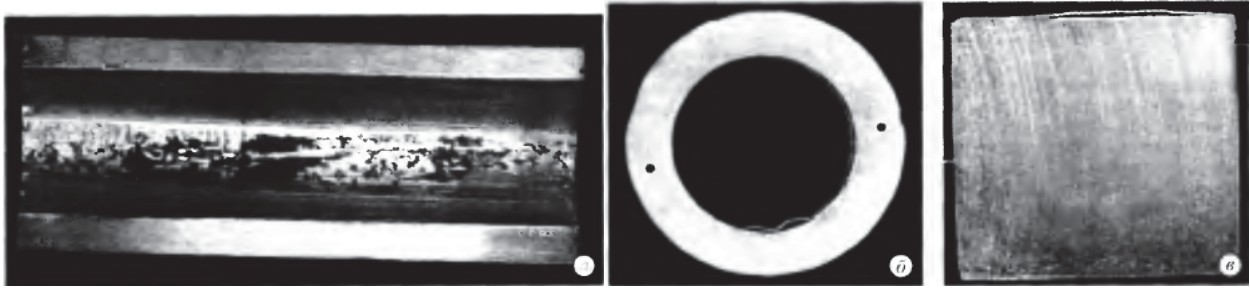
Дефект выявляется визуально или на макрошлифах в виде темных полос загрязненного металла, окантовывающих частично или полностью периметр прессованного полуфабриката.

Наслоения образуются вследствие:

- вовлечения в подповерхностные слои прессуемого полуфабриката загрязненных смазкой и графитом поверхностных слоев слитка;
- выпрессовывания металла из «мертвой зоны» контейнера;
- попадания смазки во втулку контейнера;
- избытка твердой составляющей в технологической смазке.

Дефект снижает механические свойства металла. При попадании наслоений в зону сварного шва может вызывать свищи и поры.

Дефект изображен на рис. 2.51.



*Рис. 2.51. Наслоения (алюминиевые сплавы):*

*а – наслоения графита, внутренняя поверхность трубы, внешний вид;*

*б – наслоение, вызванное попаданием смазки, поперечное сечение трубы, макроструктура;*

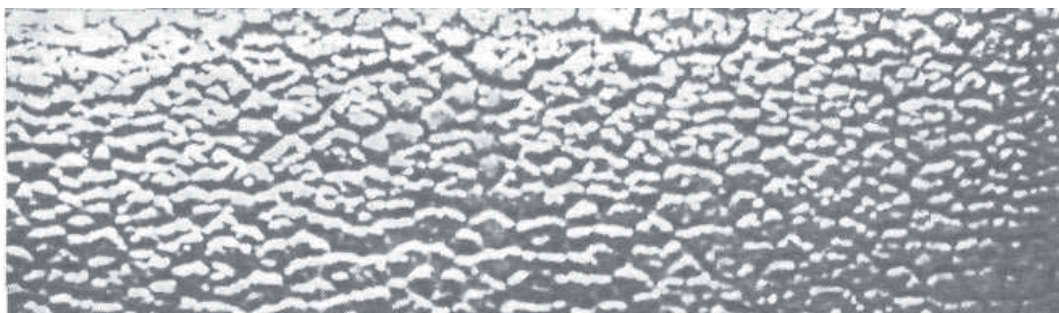
*в – наслоение, вызванное запрессовкой загрязнения, поперечное сечение профиля, макроструктура*

**Отпечатки** – углубления или выступы, расположенные по всей поверхности металла или на отдельных его участках.

Дефект изображён на рис. 2.52–2.53.



*Рис. 2.52. Отпечатки на прутках от насечки в виде сетки на прокатных валках*



*Рис. 2.53. Отпечатки на прутке от выработанных валков*

Глубина или высота отпечатков, как правило, небольшая, и если отпечатки образуются на заготовке, то при последующих нагреве и деформации они обычно устраняются и металл приобретает гладкую поверхность. Единичные локальные отпечатки могут возникать при наличии на валках местных углублений, вызванных выработкой валков.

Меры предупреждения: наблюдение за состоянием валков и своевременная их замена.

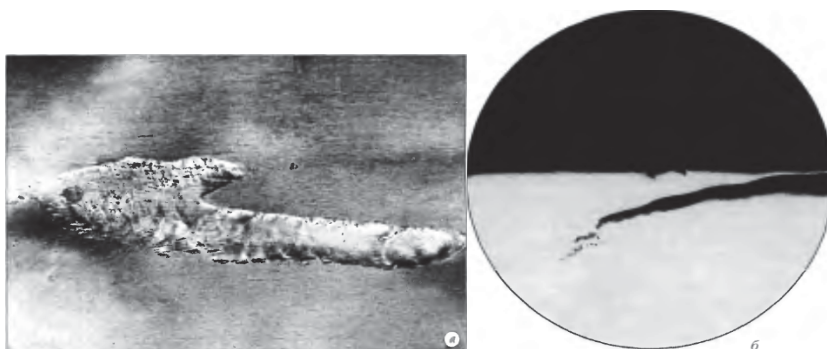
**Закаты** — наплыв металла, представляющий собой прикатанный налип или выступ металла на поверхности проката.

Дефект выявляется визуально. Идентифицируется на макрошлифах в плоскости, параллельной направлению прокатки, в виде несплошностей с плотно сжатыми стенками, расположенных под острым углом к поверхности проката.

Закаты образуются вследствие:

- неровностей на поверхности слитка;
- закатывания в полосы налипов, образовавшихся на поверхности валков;
- закатывания в полосу кусочков металла, отколовшихся от проката при растрескивании кромок.

Дефект изображен на рис. 2.54.



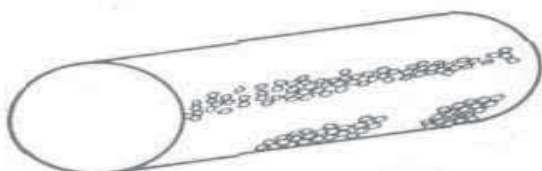
*Рис. 2.54. Закаты:*

*а — выкрошившийся закат, алюминиевый сплав, поверхность листа;*

*б — продольное сечение плиты, алюминиевый сплав, макроструктура*

**Рябизна** — углубление от вдавленной окалины, образовавшееся при ковке, прокатке или правке металла с толстым слоем окалины.

Дефект изображён на рис. 2.55–2.56.



*Рис. 2.55. Схематическое изображение прутка с рябизной*



*Рис. 2.56. Поверхность прутка с рябизной*



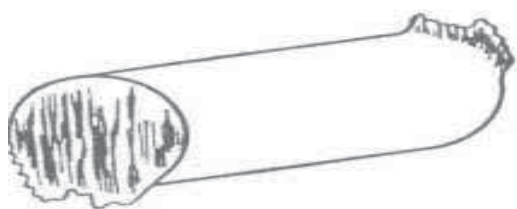
Рябизна может занимать значительную поверхность, располагаясь преимущественно отдельными участками вдоль направления деформации. Выявляется после удаления окалины.

Рябизна образуется при деформации металла с окалиной, плотно прилегающей к металлу и не осыпающейся при первых обжатиях. При небольшой степени деформации часто наблюдается рябизна поверхности, связанная с вдавливанием окалины при первых обжатиях.

Меры предупреждения: получение рыхлой, легко осыпающейся окалины, более полное сбивание окалины при первом обжатии и достаточная степень деформации для сглаживания неровностей, полученных при первых обжатиях.

**Заусенец** – острый в виде гребня выступ на конце прутка, образовавшийся при резке металла.

Дефект изображён на рис. 2.57–2.58.



*Рис. 2.57. Схематическое изображение заусенца*



*Рис. 2.58. Заусенцы от резки на холоднокатаной полосе*

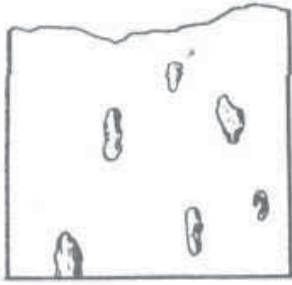
Заусенец может образоваться при резке в горячем и холодном состоянии, а также при рубке горячего металла. Изменений в макроструктуре и микроструктуре при образовании заусенца не происходит. Наблюдается лишь искривление волокна в зоне заусенца.

Причина образования заусенцев при резке – неудовлетворительное состояние режущего инструмента (тупой режущий инструмент, слишком большой зазор между ножами, перекосы и др.). При рубке металла заусенцев избежать трудно.

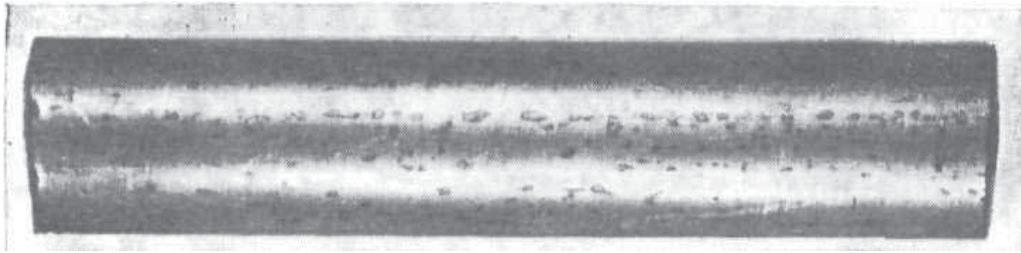
Для предупреждения и уменьшения заусенцев необходимо поддерживать режущий инструмент в хорошем состоянии. В отдельных случаях заусенцы зачищают абразивами.

**Раковины от вдавленной окалины** – отдельные углубления, иногда частично вытянутые вдоль направления прокатки, образующихся при выпадении и вытравливании вкатанной окалины.

Дефект изображён на рис. 2.59–2.61.



*Рис. 2.59. Схематичное изображение раковин от вдавленной окалины*



*Рис. 2.60. Пруток с раковинами от окалины*



*Рис. 2.61. Микрошлиф прутка с вдавленной окалиной*

Дефект образуется при горячей прокатке в том случае, если окалина плохо сбивается в первых проходах и вдавливается в металл при дальнейших проходах. При больших обжатиях окалина выкатывается, а при небольших может частично оставаться на поверхности прутков.

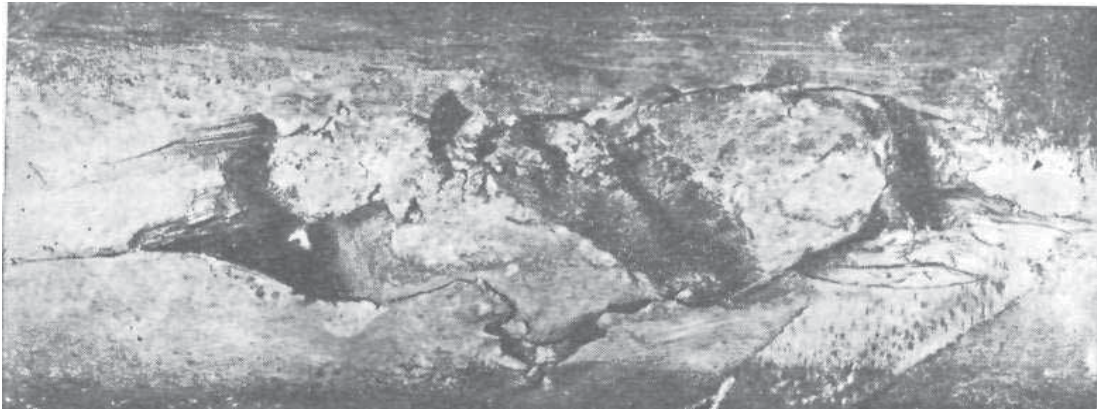
На поперечном микрошлифе видны мелкие углубления, заполненные окалиной.

Дефект можно предупредить, улучшая условия сбивания окалины перед задачей металла в валки при горячей деформации.

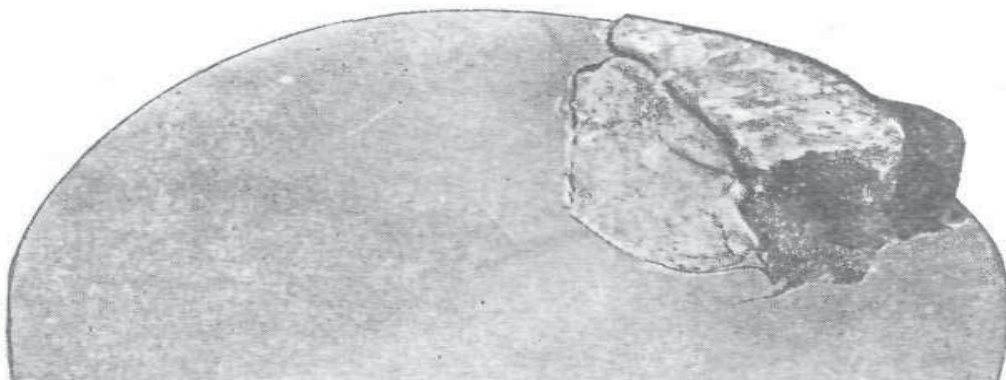
Наиболее часто дефект встречается на прутках стали ШХ15, предназначенных для калибровки. Эту сталь подвергают обычно длительному отжигу для получения требуемой структуры, который рекомендуется заканчивать замочкой в воде с температурой от 550 до 600 °С, в результате чего происходит интенсивное отскакивание окалины.

**Вкатанный кусок металла** – приварившийся кусок инородного металла к металлу основного материала.

Дефект изображён на рис. 2.62–2.63.



*Рис. 2.62. Пруток стали 40ХНМАШ с вкатанным инородным куском металла*



*Рис. 2.63. Макрошлиф прутка, показанного на рис. 2.62*

На рис. 2.62 изображён пруток с вкатанным инородным куском металла. Макрошлиф этого прутка на рис. 2.63 выявил приварившийся кусок металла. Причиной дефекта может быть кусок, всплывший от поддона шайбы или окрапина, внедрившаяся в металл при горячей деформации слитка.

### **2.3. Дефекты поверхности, образовавшиеся при отделочных операциях**

**Случайное оплавление основного металла в результате зажигания или гашения дуги** — местное повреждение поверхности основного металла, примыкающего к сварному шву, возникшее в результате случайного и (или) преднамеренного возбуждения дуги вне разделки соединения.

**Утонение металла** — уменьшение толщины металла вследствие чрезмерного его удаления при обработке абразивным инструментом.

**Остатки поджога от резки** — темное пятно, отличающееся по травимости от основного металла, или углубление, частично заполненное расплавленным металлом и шлаком, образовавшиеся при резке на анодно-механических станках.

Дефект изображён на рис. 2.64.



*Рис. 2.64. Остатки поджога от резки (сплав ХН73МВТЮ)*

Дефект следует удалять при изготовлении макрошлифа. Присутствие остатков поджога указывает на необходимость снятия более глубокого слоя при подготовке макрошлифа к травлению.

**Дефект рубки металла** — трещины или рваные вязкие изломы.

Дефект изображён на рис. 2.65–2.68.

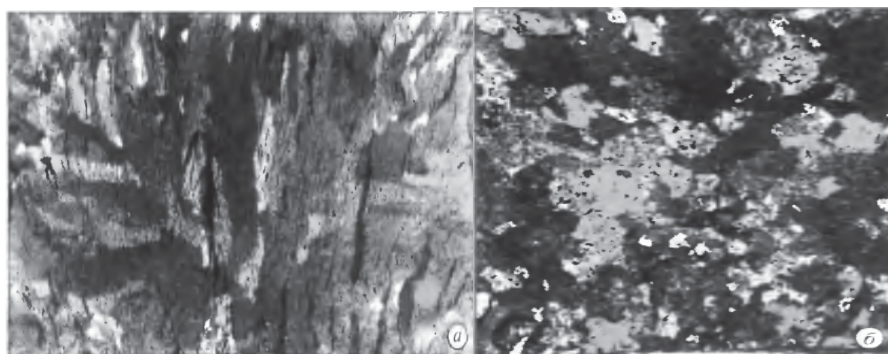


**а**



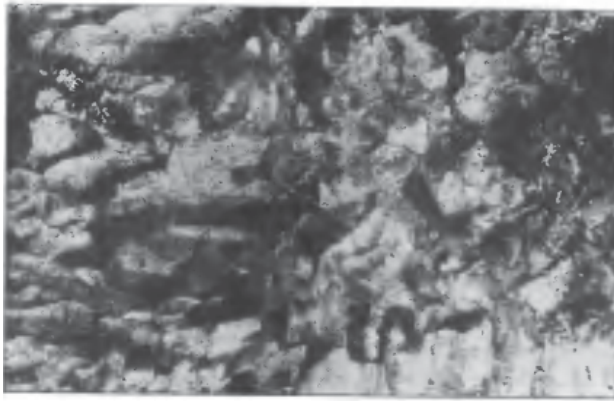
**б**

*Рис. 2.65. Вырывы в центре прутка из стали 20, образовавшиеся при рубке:  
а — излом; б — макрошлиф*

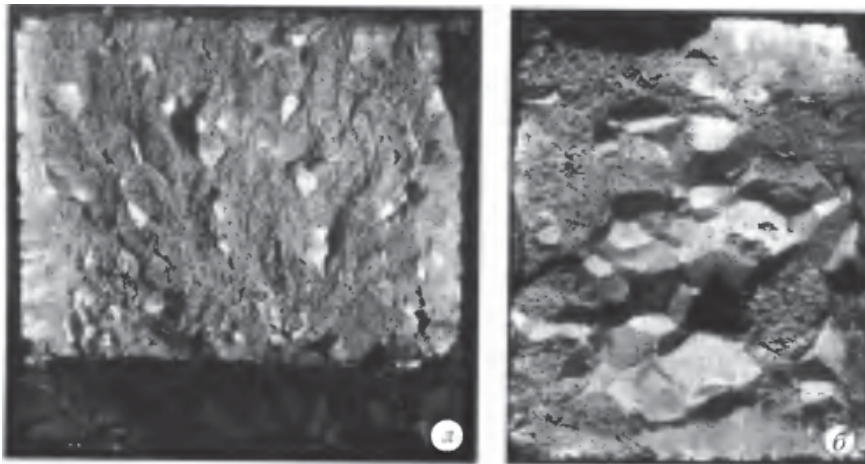


*Рис. 2.66. Нафталинистый излом:*

*а — литая сталь, по всему сечению отливки; б — катаная сталь, грубые равноосные кристаллы*



*Рис. 2.67. Камневидный излом по всему сечению отливки (сталь)*



*Рис. 2.68. Камневидный излом: по всему сечению проката мелкие камневидные зерна (а) и крупные камневидные зерна (б)*

Рваные неровные изломы получаются при рубке прутков углеродистой или легированной стали с низким содержанием углерода в том случае, если на рубку поступает металл, не полностью охлажденный до комнатной температуры. Внутренние слои металла сохраняют еще относительно высокую температуру и излом из-за большой вязкости получается с вырывами. Излом с вырывами не связан с внутренними дефектами прутков: макроструктура стали плотная, без дефектов.

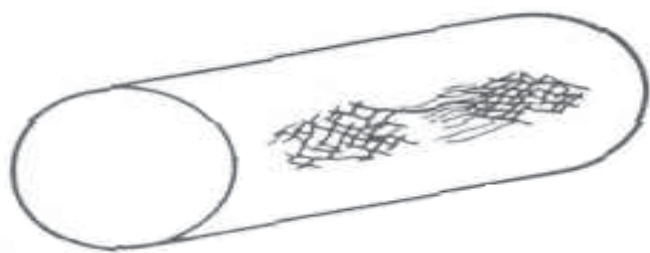
При холодной рубке прутков на прессах или резке на гильотинных ножницах иногда образуются трещины, располагающиеся примерно перпендикулярно направлению движения режущего инструмента.

Образование трещин обусловлено тем, что металл поступил на резку в неотожженном состоянии с высокой твердостью. Возникновению трещин, возможно, могло способствовать неудовлетворительное состояние режущего инструмента.

Дефекты такого вида характерны для случая холодной резки металла с высокой твердостью в неотожженном состоянии.

**Трещина шлифовочная** — сетка паутинообразных разрывов или отдельных произвольно направленных поверхностных разрывов, образовавшихся при шлифовке металла.

Дефект изображён на рис. 2.69–2.71.



*Рис. 2.69. Схема прутка стали с сеткой шлифовочных трещин*



**а**



**б**

*Рис. 2.70. Шлифовочные трещины:  
а – на сутунке сплава ХН68ВКТЮ (ЭИ578); б – на горячекатаной заготовке*



*Рис. 2.71. Микрошлиф сплава ХН68ВКТЮ с шлифовочной трещиной*

Могут возникать при шлифовке слитков и деформированного металла. Имеют небольшую глубину (от 1 до 2 мм), но удалять их шлифованием обычно не удастся, так как при шлифовании возникают новые трещины.

Металл в местах интенсивной шлифовки вследствие разогрева часто бывает покрыт пленкой оксидов, имеющей вид цветов побежалости.

Микроанализ показывает, что шлифовочные трещины очень тонкие, извилистые и распространяются в глубь металла зигзагами или ступеньками с ответвлениями. В металле, не подвергавшемся дополнительному нагреву, шлифовочные трещины, имеющие тонкое окончание, часто проходят по границам зерен и не сопровождаются окислением и обезуглероживанием.

Наибольшей склонностью к образованию шлифовочных трещин обладают стали мартенситного и ферритного (высокохромистые и хромоалюминиевые) классов, а также дисперсионнотвердеющие сплавы.

Для предупреждения образования шлифовочных трещин горячедеформированные стали мартенситного класса подвергают перед шлифовкой смягчающей термической обработке. Для сталей ферритного класса и дисперсионно-твердеющих сплавов применяют термическую обработку для уменьшения напряжений, а шлифовку осуществляют по умеренным режимам.

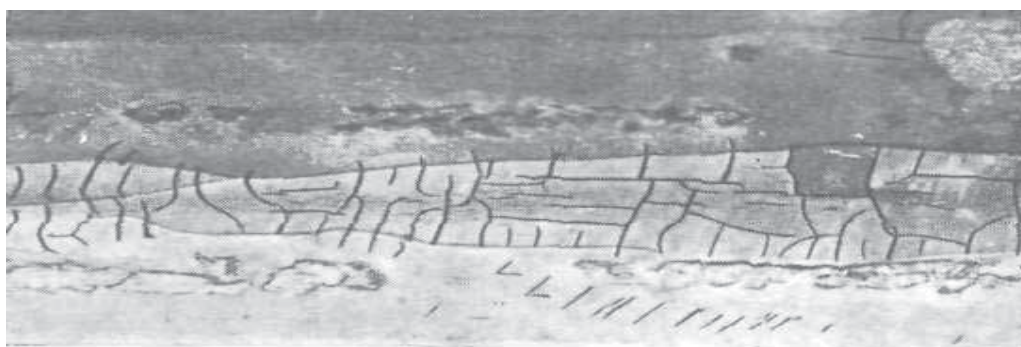
Образование шлифовочных трещин связано со структурой металла и не связано со способом его выплавки. Причина их возникновения – местный разогрев металла, приводящий к локальному увеличению его объема. При последующем охлаждении объем локальных зон уменьшается и при температурах ниже 100 °С, когда металл становится хрупким, происходит разрыв.

**Трещины травильные** – разрывы, образовавшиеся при травлении металла с внутренними напряжениями, вызванными структурными превращениями или деформацией. Травильные трещины иногда образуют поверхностную сетку, подобную сетке шлифовочных трещин, но значительно более грубую.

Дефект изображён на рис. 2.72–2.73.



*Рис. 2.72. Схема прутка стали с сеткой травильных трещин*



*Рис. 2.73. Внешний вид прутка с травильными трещинами*

Это могут быть трещины, вызванные травлением в местах с напряжениями от предыдущего шлифования. Возможно также, что тонкие трещины образовались при шлифовании и были растравлены.

На микрошлифах травильные трещины выглядят так же, как шлифовочные, но они значительно глубже и шире последних. Мелкие травильные трещины часто образуются при травлении тонких горячекатаных прутков, если сталь подкаливается при охлаждении с температуры окончания прокатки.

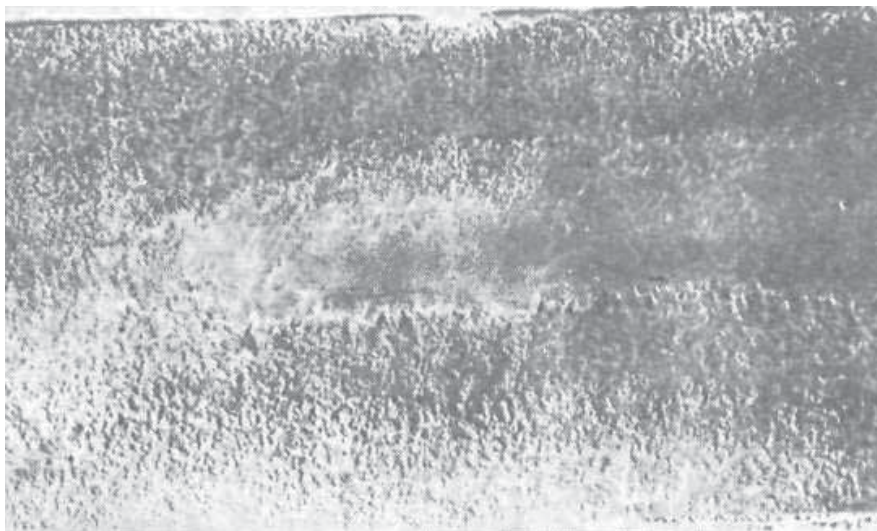
Причина образования травильных трещин – насыщения напряженного металла водородом, выделяющимся при травлении.

К образованию травильных трещин склонны стали мартенситного класса после горячей механической обработки или перлитного класса, но в закаленном состоянии. Ста-

ли ферритного класса (высокохромистые и хромоалюминиевые) также склонны к образованию травильных трещин и в шлифованном виде их подвергать травлению рекомендуется только после смягчающего отпуска.

Применение ингибиторов при травлении предупреждает образование травильных трещин, так как уменьшает интенсивность выделения водорода.

**Перетрав** – местное или общее разъедание поверхности металла при травлении. Дефект изображён на рис. 2.74.



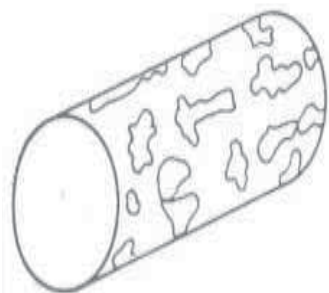
*Рис. 2.74. Внешний вид прутка с перетравленной поверхностью*

Травление обычно осуществляют для удаления окалина, поэтому при трудном ее отделении (плотная окалина) приходится увеличивать время пребывания металла в ванне, что часто и приводит к перетраву поверхности на тех участках, с которых окалина сошла раньше.

Другие причины: слишком высокая температура раствора; использование старых растворов кислот, обогащенных солями железа; недостаточное наблюдение за режимом травления.

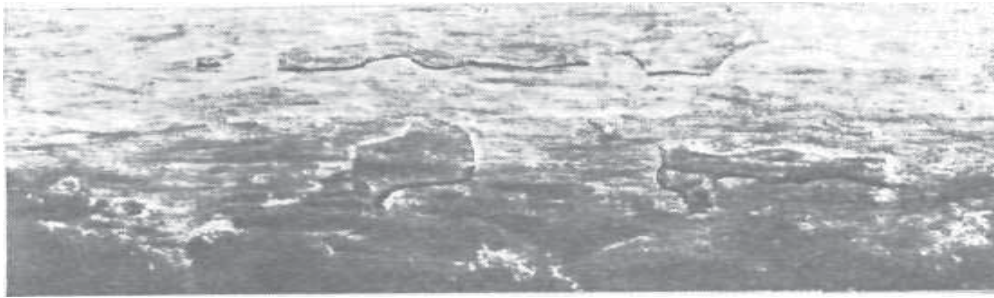
Важный способ предупреждения перетравливания – разрыхление окалина перед травлением. Разрушению окалина способствует также правка прутков на валковых машинах. Применение при травлении ингибиторов снижает опасность перетрава металла.

**Остатки окалина** – окалина, не удаленная с отдельных участков прутков. Дефект изображён на рис. 2.75–2.76.



*Рис. 2.75. Схематическое изображение остатков окалина на прутке*





*Рис. 2.76. Внешний вид прутка с остатками окалины*

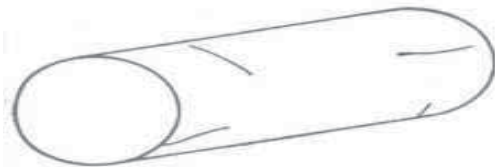
Обычно этот дефект встречается в тех случаях, если травлению подвергается металл с толстым слоем плотной окалины после отжига. Остатки окалины могут наблюдаться также, если при правке плотная окалина после отжига осыпается лишь частично.

Меры предупреждения:

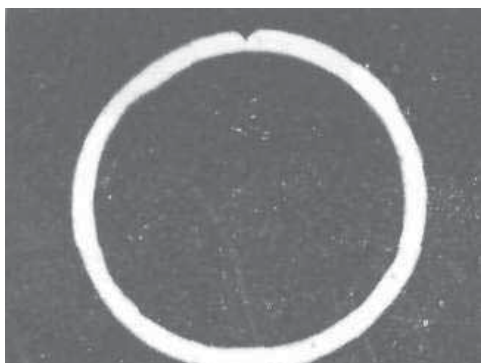
- уменьшение продолжительности и температуры отжига, получение более рыхлой окалины;
- удаление окалины с прутков путем замочки их в воде после отжига;
- удаление окалины легкой правкой прутков с изгибом, но без сильного давления, при котором окалина может вдавливаясь и создавать вмятины;
- удаление окалины путем равномерного стравливания в кислотах с применением ингибиторов.

**Царапина** — канавка неправильной формы и произвольного направления, образовавшаяся в результате механических повреждений, в том числе при складировании и транспортировке металла.

Дефект изображён на рис. 2.77–2.78.



*Рис. 2.77. Схематичное изображение царапин на прутке*



*Рис. 2.78. Поперечное сечение прямошовной трубы с царапинами на внешней и внутренней поверхностях*

Форма и протяженность дефекта могут быть разнообразными. Дефект иногда может объединять несколько царапин. В поперечных микрошлифах дефект имеет тупое дно, не содержит оксидов, не обезуглерожен и не имеет других изменений микроструктуры.

Для предупреждения дефекта необходимо тщательно соблюдать правила транспортировки и складирования металла. При небольшой глубине царапину не считают браковочным признаком, но она портит внешний вид металла.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. РД 03-606-03. Инструкция по визуальному и измерительному контролю. Серия 03. Выпуск 39 / Колл. авт. — М.: Государственное унитарное предприятие «Научно-технический центр по безопасности в промышленности Госгортехнадзора России», 2003. — 104 с.
2. Атлас дефектов стали / Пер. с нем. — М.: Metallurgiya, 1979. — 188 с.
3. Визуальный и измерительный контроль / В.В. Ключев, Ф.Р. Соснин, В.Ф. Мужичкий и др. / Под ред. В.В. Ключева. — М.: РОНКТД, 1998. — 240 с.
4. Дефекты стали: справ. изд. / под ред. С.М. Новокшеновой, М.И. Виноград. — М.: Metallurgiya, 1984. — 199 с.
5. Контроль качества сварных и паяных соединений: справ. изд. / Л.П. Герасимова. — М.: Интермет Инжиниринг, 2007. — 376 с: ил. 254.
6. Атлас дефектов сварных соединений и основного металла: учебно-методическое пособие / Н.П. Калиниченко, М.А. Васильева. — Томск: Изд-во ТПУ, 2006. — 55 с.

**Алфавитный указатель терминов**

Таблица А.1

*Дефекты сварных соединений при визуальном и измерительном контроле*

Термин	Страница
1	2
Асимметрия углового шва E: Asymmetry of fillet weld	30
Брызги металла E: Spatter	20
Включение E: Inclusion	9
Включение одиночное	24
Вогнутость корня шва E: Root concavity	23
Вольфрамовое включение	12
Выпуклость (превышение проплавления) корня шва	23
Кратер E: Crater pipe	17
Кратерная трещина E: Crater cracks	9
Максимальная ширина включения	24
Максимальный размер включения	23
Местное превышение проплавления E: Local excess penetration	27
Металлическое включение	12
Наплыв E: Overlap	28
Непровар E: Lack of penetration (incomplete penetration)	20
Неполностью заполненная разделка кромок E: Incompletely filled groove	30
Неправильный профиль сварного шва E: Incorrect weld profile	27
Неравномерная поверхность шва E: Irregular surface	30
Неравномерная ширина шва E: Irregular width	30
Несплавление	22
Несплошность	7

Продолжение табл. А.1

1	2
Окисное включение E: Oxide inclusion	12
Отслоение	16
Перелом осей деталей E: Angular misalignment	29
Плохое возобновление шва	30
Подрез E: Undercut	19
Пора E: Pore	14
Поперечная трещина E: Transverse crack	7
Превышение выпуклости E: Excess weld metal	27
Превышение усиления сварного шва	26
Продольная трещина E: Longitudinal crack	7
Прожог E: Burn through	29
Радиальная трещина E: Radiation crack	9
Разветвлённая трещина E: Branching crack	8
Свищ E: Worm-hole	17
Скопление включений	24
Трещина E: Crack	7
Углубление (западание) между валиками	22
Усадочная раковина	18
Флокен	13
Флюсовое включение E: Flux inclusion	11
Цепочка пор E: Linear porosity	25
Чешуйчатость	22
Шлаковое включение E: Slag inclusion	10

*Дефекты поверхности основного металла*

Термин	Страница
1	2
Вкатанный кусок металла	58
Дефект рубки металла	60
Дефект от вдавливания в слиток кернов клещей крана	42
Заворот корки	33
Загрязнение и волосовина E: Slag patch and hairline	34
Задир поверхности основного металла E. Guide scratch of surface of the basic metal	42
Заусенец E. Burr	57
Морщина E: Wrinkle	51
Надрыв	45
Наслоение	54
Остатки поджога от резки	59
Остатки окалины E. Scale residue	64
Отпечатки E. Indentations	55
Перетрав E. Overpickling	64
Подрез	50
Прижог	49
Прокатная плена E: Sliver, Rolling skin	48
Пузырь E: Blister	31
Раковина от вдавленной окалины E. Pitting, Scale pits	57
Расслоение	53
Рванина E: Hot tears	46
Риска E. Groove, Guide mark	52
Рябизна E. Pitted surface	56

Продолжение табл. А.2

1	2
Скворечник	45
Случайное оплавление основного металла	59
Трещина горячая E: Rolled crack	39
Трещина напряжения E: Stress crack	43
Трещина травильная E. Pickling cracks	63
Трещина холодная	36
Трещина шлифовочная E. Grinding cracks	61
Ус E: Ridge	49
Утонение металла E: Underflushing	59
Царапина E. Scratch	65
Чешуйчатость E. Rippled surface	48

Учебное издание

КАЛИНИЧЕНКО Николай Петрович  
ВАСИЛЬЕВА Марина Александровна  
РАДОСТЕВ Александр Юрьевич

## **АТЛАС ДЕФЕКТОВ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ И ОСНОВНОГО МЕТАЛЛА**

Учебное пособие

**Издано в авторской редакции**

Компьютерная верстка и дизайн обложки  
*О.Ю. Аршинова*

Подписано к печати 15.06.2011. Формат 60х84/8. Бумага «Снегурочка».  
Печать XEROX. Усл. печ. л. 8,26. Уч.-изд. л. 7,47.  
Заказ 889-11. Тираж 100 экз.



Национальный исследовательский Томский политехнический университет  
Система менеджмента качества  
Издательства Томского политехнического университета сертифицирована  
NATIONAL QUALITY ASSURANCE по стандарту BS EN ISO 9001:2008



ИЗДАТЕЛЬСТВО  ТПУ . 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30. Тел./факс: 8(3822) 56-35-35, www.tpu.ru