

## КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА СВАРКИ

Контроль качества сварочных работ начинается еще до того, как сварщик приступил к сварке изделия. При этом проверяют качество основного металла, сварочных материалов (электродов, сварочной проволоки, флюса и т. д.), заготовок, поступающих на сборку, состояние сварочной аппаратуры и качество сборки, а также квалификацию сварщиков. Все эти мероприятия носят название *предварительного контроля*.

В процессе сварки проверяют внешний вид шва, его геометрические размеры, производят обмер изделия, осуществляют постоянное наблюдение за исправностью сварочной аппаратуры, наблюдают за выполнением технологического процесса. Указанные операции составляют *текущий контроль*.

Последней контрольной операцией является *проверка качества сварки в готовом изделии*. Для этой цели существуют следующие ВИДЫ контроля: внешний осмотр и обмер сварных соединений, испытание на плотность, просвечивание рентгеновскими или гамма-лучами, контроль ультразвуком, магнитные методы контроля, люминесцентный метод контроля, металлографические исследования, механические испытания.

Вид контроля качества готового изделия выбирают в зависимости от назначения изделия и требований, которые предъявляются к этому изделию техническими условиями или ГОСТом.

## КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА ИСХОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ

**Контроль качества основного металла.** Качество основного металла должно соответствовать требованиям сертификата, который посылают заводы-поставщики вместе с партией металла. В нем указывают наименование завода-изготовителя, марку и химический состав стали, номер плавки, профиль и размер материала, массу металла и номер партии, результаты всех испытаний, предусмотренных стандартом, номер стандарта на сталь данной марки. При отсутствии сертификата металл запускают в производство лишь, после тщательной проверки: необходимо

произвести наружный осмотр, пробу на свариваемость, установить механические свойства и химический состав металла. Методы испытания металла на свариваемость приведены в гл. 3.

При наружном осмотре металла проверяют отсутствие на металле окалины, ржавчины, трещин, расслоения и прочих дефектов. Предварительная проверка металла с целью обнаружения дефектов поверхности является необходимой и обязательной, поскольку она предупреждает применение некачественного металла для сварки изделия.

Механические свойства основного металла определяют путем испытания стандартных образцов на прессах и копрах.

**Контроль качества сварочной проволоки.** ГОСТ 2246—70 на стальную сварочную проволоку и 10543—63 на проволоку стальную наплавочную устанавливают: марку и диаметры сварочной проволоки, химический состав, правила приемки и методы испытания, требования к упаковке, маркировке, транспортированию и хранению.

Каждая бухта сварочной проволоки должна иметь металлическую бирку, на которой указано наименование и товарный знак предприятия-изготовителя, условное обозначение проволоки согласно стандарту и номер партии.

В сертификате, сопровождающем партию проволоки имеются следующие данные: товарный знак предприятия-изготовителя, условное обозначение проволоки, номер плавки и партии, состояние поверхности проволоки (омедненная или неомедненная), химический состав в процентах, результаты испытаний на растяжение, масса проволоки (нетто) в килограммах.

Таким образом, наличие бирки, прикрепленной к бухте сварочной проволоки, а также сертификата на проволоку является гарантией того, что проволока пригодна для сварки. На поверхности сварочной проволоки не должно быть окалины, ржавчины, грязи и масла. Проволока из высоколегированной стали не должна иметь остатков графитовой смазки.

Сварочную проволоку, на которую не имеется документации, подвергают тщательному контролю. Наиболее важным является проверка химического состава проволоки, для чего от каждой партии отбираю 0,5% бухт, но не менее двух. Стружку для химического анализа беру от обоих концов каждой контролируемой бухты или из двух участков на расстоянии не менее 5 м один от другого. Произведя химически анализ, устанавливают марку сварочной проволоки и определяют возможность ее применения для сварки в соответствии с технологическим процессом.

**Контроль качества электродов.** При сварке конструкций, в чертежах которых указан тип электрода, нельзя применять электроды, не имеющие сертификата. Электроды без сертификата тщательно контролируют. При этом в соответствии с ГОСТ 9466—60, 9467—60, 10051—62, 10052—62\* проверяют прочность покрытия, сварочные свойства электродов, определяют механические свойства металла шва и сварного соединения на образцах, сваренных электродами из проверяемой пар тин. О пригодности электродов для сварки судят также и по качеству наплавленного металла, который не должен иметь пор, трещин и шлаковых включений.

Внешний вид электродов должен удовлетворять требованиям стандарта, где указывается, что покрытие электрода должно быть прочным плотным, без пор, трещин, вздутий и комков неразмешанных компонентов. Электроды с отсыревшим покрытием в производство не допускаются

**Контроль качества флюсов.** Флюс проверяют на однородность по внешнему виду, определяют его химический состав, величину зерна, объемную массу и влажность.

Технические требования и методы испытания широко применяемых плавленных флюсов АН-348А, ОСЦ-45, АН-348АН, ОСЦ-45М регламентированы ГОСТ 9087—69. Так, например, для определения влажности флюса берут навеску в 100 г, сушат ее при температуре  $105 \pm 5^\circ \text{C}$  и взвешивают через определенные промежутки времени.

Когда результаты предпоследнего и последнего взвешивания будут одинаковы, дальнейшую сушку прекращают. По разности между последним и первым взвешиванием определяют количество содержащейся влаги во флюсе. Во избежание образования пор в металле шва влажность должна быть не более 0,1%.

Лучшим способом определения качества флюса является его испытание при сварке. Дуга под флюсом должна гореть устойчиво. Поверхность шва должна быть чистой, без пор, свищей и трещин. После остывания шва шлак должен легко отделяться от металла.

## **КОНТРОЛЬ ЗАГОТОВОК**

Перед поступлением заготовок на сборку проверяют: чистоту поверхности металла, габаритные размеры заготовок, качество подготовки кромок, углы скоса кромок.

Дефекты заготовок под сварку в значительной степени сказываются на качестве и производительности сварочных работ. Например, увеличение угла скоса кромок приводит к увеличению количества наплавленного металла, к увеличению времени сварки и к излишнему расходу электроэнергии и электродов. Кроме того, соединение после сварки будет сильнее деформироваться, так как чем больше наплавленного металла, тем больше его усадка при остывании. Предупреждение дефектов в заготовках избавит от лишней работы по их исправлению.

## **КОНТРОЛЬ СБОРКИ**

В собранном узле контролю подлежат: зазоры между кромками свариваемых деталей, отсутствие или малая величина которых приводит к непровару корня шва, а большая — к прожогам и увеличению трудоемкости процесса сварки; превышение одной кромки относительно другой в стыковом соединении, относительное положение деталей в собранном узле, правильное наложение прихваток. Примеры контроля соединений, собранных под сварку, показаны на рис. 198.

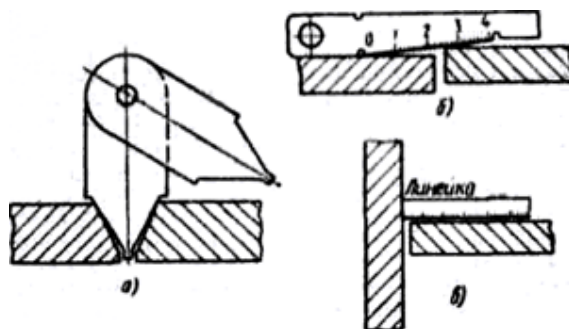


Рис. 198. Примеры контроля сборки:

*а* — проверка угла скоса и зазора между кромками стыкового соединения; *б* — проверка превышения кромок; *в* — проверка величины зазора

### ПРОВЕРКА КВАЛИФИКАЦИИ СВАРЩИКОВ

Квалификацию сварщиков проверяют: при установлении раз при допущении к выполнению ответственных сварочных работ, инспектируемых Госгортехнадзором СССР, непосредственно перед изготовлением ответственной конструкции путем сварки и испытания контрольных образцов. В каждом случае проверяют как теоретические знания, так и практические навыки.

Разряд устанавливают согласно требованиям, предусмотрен им тарифно-квалификационными справочниками. Испытание сварщиков перед допуском к ответственным работам производят по правил аттестации сварщиков, утвержденным Государственным комитетом по надзору за безопасным ведением работ в промышленности и горному надзору при Совете Министров СССР. Эти правила обязательны для всех министерств и ведомств.

После удовлетворительной сдачи испытаний специальной комиссии, создаваемой на заводе, сварщикам выдают удостоверение на право выполнения ответственных сварочных работ. В удостоверении указывают конструкции, которые может сваривать сварщик. Сварщики, допускаемые к ответственным работам, должны проходить ежегодные практические и теоретические испытания. Для выполнения ответственных работ по сварке специальных сталей сварщики проходят дополнительные испытания.

### КОНТРОЛЬ ЗА ИСПОЛНЕНИЕМ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА

Перед тем как приступить к сварке, сварщик знакомится с технологическими картами, в которых указывают последовательность операций, диаметр и марку применяемых электродов, режимы сварки и требуемые размеры сварных швов.

Несоблюдение порядка наложения швов может вызвать значительную деформацию изделия, трудно устранимую впоследствии.

Не менее важным является соблюдение режима сварки. Силу сварочного тока и напряжение на дуге контролируют по показаниям амперметра и вольтметра. Скорость сварки и скорость подачи электродной проволоки определяют по сменным шестерням и по положению регулятора скорости, а также путем непосредственных замеров.

При ручной дуговой сварке, кроме наблюдения за показаниями амперметра, проверяют технику наложения шва. Режим газовой сварки определяется номером применяемого наконечника.

После того как закончена сварка изделия, сварные швы зачищают от шлака, наплывов, а поверхность узла — от брызг металла. Затем готовое изделие проходит ряд контрольных операций.

## ПРОВЕРКА КАЧЕСТВА СВАРКИ В ГОТОВОМ ИЗДЕЛИИ

### Внешний осмотр и обмер сварных швов

Внешним осмотром выявляют несоответствие шва геометрическим размерам, наплывы, подрезы, глубокие кратеры, прожоги, наружные трещины, непровары, свищи и поры и другие внешние дефекты (рис. 199).

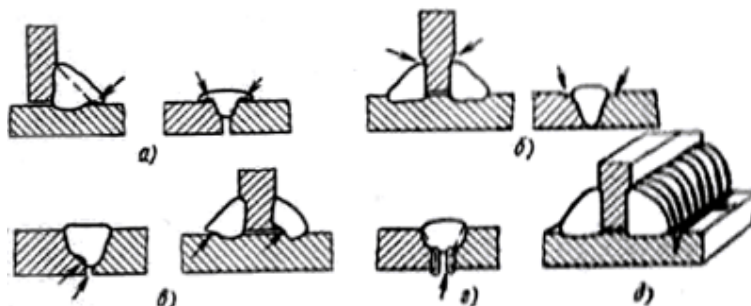


Рис. 199. Наружные дефекты сварного шва: а – наплывы, б – подрезы, в – непровары, г – прожог, д – трещина в основном металле.

Размеры швов должны соответствовать размерам, указанным в чертеже. Не допускается какое бы то ни было уменьшение фактического размера шва по сравнению с заданным, (номинальным) размером. На рис. 200 показан контрольный шаблон, имеющий вырезы под определенный размер шва.

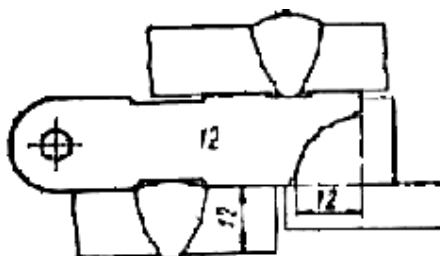


Рис. 200. Шаблон для измерения размеров швов.

Универсальный измеритель со шкалой (рис. 201) служит для определения катета углового шва, величины усиления и подрезов в стыковом шве.

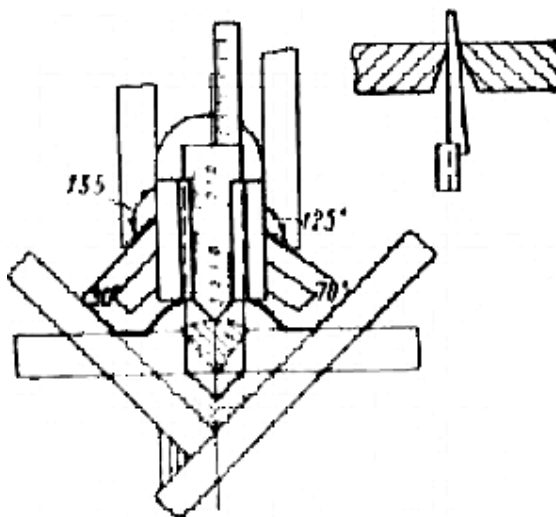


Рис. 201. Универсальный измеритель сварных швов.

Он может быть применен также для контроля подготовки деталей и под сварку. Для контроля шага прерывистого шва можно использовать обычный мерительный инструмент.

### **Методы контроля плотности сварных швов**

Испытаниям на плотность подвергают емкости для горючего, масла, воды, трубопроводы, газгольдеры, паровые котлы и др. Существует несколько методов контроля плотности сварных швов.

**Гидравлическое испытание.** При этом методе испытания в сосуде после наполнения его водой с помощью насоса или гидравлического пресса создают избыточное давление. Давление при испытании обычно берут в 1,5—2 раза больше рабочего. Величину давления определяют по проверенному и опломбированному манометру. Испытуемый сосуд под давлением выдерживают в течение 5—10 мин. В это время швы осматривают на отсутствие течи, капель и отпотеваний. Для гидравлического испытания применяют не только воду, но и авиационное масло или дизельное топливо (при контроле плотности швов в масляных и топливных баках, трубопроводах).

Кроме того, испытание может производиться наливом воды. Так испытывают вертикальные резервуары для хранения нефти и нефтепродуктов, газгольдеры и другие емкости.

**Пневматическое испытание.** При пневматическом испытании сжатый газ (воздух, азот, инертные газы) или пар подают в испытываемый сосуд. Сосуды небольшого объема погружают в ванну с водой, где по выходящим через неплотности в швах пузырькам газа обнаруживают дефектные места. Более крупные сварные резервуары и трубопроводы испытывают путем смазывания сварных швов пенным индикатором, который пузырится в местах неплотностей. Самым простым пенным индикатором является водный раствор мыла. Для испытания при отрицательных температурах пригодны смесь мыльного раствора с глицерином, льняное масло и др.

При пневматических испытаниях необходимо строго соблюдать правила техники безопасности. На подводящей магистрали должны быть запорные краны и предохранительные клапаны. Кроме рабочего манометра, при испытаниях предусматривают контрольный манометр. При испытании под давлением не допускается обстукивание сварных швов и исправление дефектов.

**Вакуум-испытания.** Участок шва, проверяемый на плотность, смачивают водным раствором мыла. На шов устанавливают вакуум-камеру, представляющую собой коробку с открытым дном и прозрачной верхней крышкой из плексигласа. По контуру открытого дна вакуум-камера имеет резиновое уплотнение. Из камеры выкачивают воздух до определенного разрежения. По вспениванию мыльного раствора, которое наблюдают через крышку, обнаруживают расположение дефектов. Этот метод нашел применение при контроле стыковых швов днищ резервуаров.

**Испытание керосином.** Этот метод испытания основан на явлении капиллярности, которое заключается в способности многих жидкостей, в том числе и керосина, подниматься по капиллярным трубкам (трубкам малого поперечного сечения). Такими капиллярными трубками являются сквозные поры и трещины в металле сварного шва. Одну сторону стыкового шва покрывают водным раствором мела, после высыхания которого другую сторону смачивают керосином. Время выдержки изделия после смачивания керосином зависит от толщины свариваемых деталей: чем больше толщина и чем ниже температура Воздуха, тем больше время выдержки.

**Испытание аммиаком.** Сущность этого метода заключается в том, что испытываемые швы покрывают бумажной лентой или марлей (рис. 202), которая пропитана 5%-ным водным раствором азотной кислоты или фенолфталеином. В изделие нагнетается воздух до определенного давления и одновременно подают некоторое количество газа (аммиака).

Проходя через поры шва, аммиак оставляет на бумаге черные (бумага пропитана раствором азотнокислой ртути) или красные (фенолфталеиновая бумага) пятна.

**Испытания с помощью течеискателей.** При этом методе испытания применяют гелиевые или галоидные течеискатели. При применении гелиевых течеискателей внутри испытуемого сосуда создают вакуум, а снаружи сварные швы обдувают смесью воздуха с гелием. При наличии неплотностей гелий проникает внутрь сосуда, а затем поступает в течеискатель, где имеется специальная аппаратура для его обнаружения.

В случае применения галоидных течеискателей внутри испытуемого сосуда создают избыточное давление и вводят небольшое количество галоидного газа. Газ проникает через неплотности шва, отсасывается снаружи сосуда и поступает в специальную аппаратуру. По наличию галоидного газа определяют неплотность шва.

Этот метод обладает высокой чувствительностью и применяется для контроля ответственных сварных изделий.

### Механические испытания сварных швов и изделий

От химического состава и структуры наплавленного металла, режимов сварочного процесса, наличия дефектов и металла шва зависят его механические свойства. Кроме механических свойств металла шва, во многих случаях надо определить и механические свойства сварного соединения в целом. При этом сравнивают прочность металла шва с прочностью основного металла и металла шипы термического влияния. Наплавленный металл часто является слабым местом сварного соединения. Для практической проверки квалификации сварщиков обязательным является испытание стыковых соединений на растяжение и изгиб.

При сварке ответственных изделий изготавливают контрольные образцы, результаты испытаний которых являются критерием качества сварки.

Характер механических испытаний образцов зависит от того, какую нагрузку несет сварное соединение при эксплуатации. Испытания бывают статические (с постоянной или медленно возрастающей нагрузкой), динамические (с ударной нагрузкой) и вибрационные. При вибрационном испытании, или испытании на выносливость нагрузка изменяется в течение определенного времени по величине и направлению большое количество раз. Порядок механических испытаний сварных швов и соединений регламентирован ГОСТ 6996—66.

Испытание металла различных участков сварного соединения на статическое (кратковременное) растяжение производят на стандартных образцах. При этом определяют: предел текучести (физический  $\sigma_T$  или условный  $\sigma_{0,2}$ ); предел прочности (временное сопротивление)  $\sigma_B$ ; относительное удлинение после разрыва (на пятикратных образцах)  $\delta_5$ ; относительное сужение после разрыва  $\psi$ ; ГОСТом предусмотрено пять типов образцов. Для испытаний, проводимых при нормальной или пониженной температуре, применяют образцы всех типов. При испытании при повышенной температуре применяют образцы типов IV и V.

Формы и размеры образцов должны соответствовать рис. 203 и табл. 278

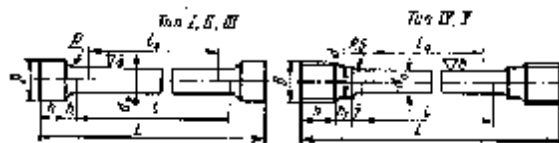


Рис. 203. Форма образцов для испытания различных участков сварного соединения на статическое растяжение

278. Размеры (мм) образцов для испытания металла различных участков сварного соединения (рис. 203)

Тип образца	$d_0$	$d$	$K^*$	$D$	$h$	$h_1$	$R$	$l_0$	$l$	$L$
I	$3 \pm 0,1$	—	0,03	6	4	2	1	15	18	$30 \pm 1$
II	$6 \pm 0,1$	—	0,03	12	10	2,5	1,5	30	36	$61 \pm 1$
III	$10 \pm 0,2$	—	0,04	16	10	3	3	50	60	$86 \pm 1$
IV	$6 \pm 0,1$	10	0,03	M12	15	5	—	30	36	$86 \pm 1$
V	$10 \pm 0,2$	12	0,04	M16	15	5	—	50	60	$110 \pm 1$

\*  $K$  — допускаемая разность наибольшего и наименьшего диаметров на длине рабочей части образца.  
Допускается увеличение диаметра головки образца.

Образцы вырезают из швов угловых или стыковых соединений или из специально подготовленных наплавов.

Испытание сварного соединения на статическое растяжение производят на образцах, форма и размеры которых даны на рис. 204 и в табл. 279.

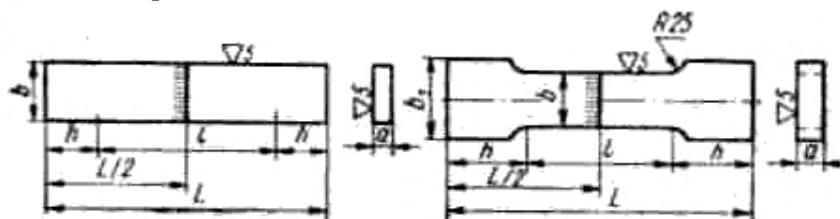


Рис. 204. Форма образцов для испытания сварного соединения на статическое растяжение

279. Размеры (мм) образцов для испытания сварного соединения на статическое растяжение (рис. 204)

Толщина металла $a$	Ширина рабочей части образца $b$	Ширина захватной части образца $b_1$	Длина рабочей части образца $l$	Общая длина образца $L$
До 6,0	$15 \pm 0,5$	25	50	$L = l + 2h$
Более 6,0 до 10	$20 \pm 0,5$	30	60	
» 10 » 25	$25 \pm 0,5$	35	100	
» 25 » 50	$30 \pm 0,5$	40	160	
» 50 » 75	$35 \pm 0,5$	45	200	
<p>Примечания: 1. Длину захватной части образца <math>h</math> устанавливают в зависимости от конструкции испытательной машины.</p> <p>2. Размеры образца при толщине металла более 75 мм устанавливают соответствующими техническими условиями.</p>				

Усиление шва снимают заподлицо с основным металлом. В отдельных случаях разрешается производить испытание образцов без снятия усиления. При этом площадь сечения образца принимают вне шва. При испытании образца со снятым усилением определяют прочность наиболее слабого участка соединения. Для испытания стыковых соединений стержней применяют образцы круглого сечения. Форма и размеры образцов должны соответствовать рис. 205 и табл. 280.

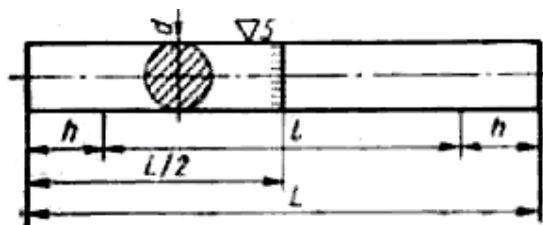


Рис. 205. Форма образцов для испытания стыковых соединений стержней

280. Размеры (мм) образцов для испытания стыковых соединений стержней (рис. 205)

Диаметр стержня $d$	Длина рабочей части образца $l$	Общая длина образца $L$
До 10 Св. 10 до 25 » 25 » 50 » 50 » 75	60 100 160 200	$L = l + 2h$
<p>Примечания: 1. Длину захватной части образца устанавливают в зависимости от конструкции испытательной машины.</p> <p>2. Размеры образцов при диаметре стержня более 75 мм устанавливают соответствующими техническими условиями.</p>		

Для определения прочности металла шва в стыковом соединении применяют образец, показанный на рис. 206.

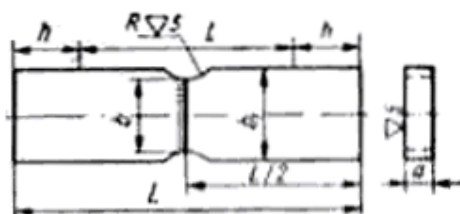


Рис. 206. Форма образцов для испытания прочности металла шва



Размеры образца в зависимости от толщины металла приведены в табл. 281.

281. Размеры (мм) образцов для определения прочности металла шва (рис. 206)

Толщина металла $a$	Ширина захватной части образца $b_1$	Ширина рабочей части образца $b$	Радиус закругления $R$	Длина рабочей части образца $l$	Общая длина образца $L$
До 6,0	25	$15 \pm 0,5$	$6 \pm 1$	40	$L = l + 2h$
Св. 6,0 до 10	30	$20 \pm 0,5$	$12 \pm 1$	60	
» 10 » 25	38	$25 \pm 0,5$	$20 \pm 2$	70	
» 25 » 40	45	$30 \pm 0,5$	$25 \pm 2$	90	
» 40 » 50	55	$35 \pm 0,5$	$30 \pm 2$	110	

Примечания: 1. Длину захватной части образца  $h$  устанавливают в зависимости от конструкции испытательной машины.  
2. Размер образца при толщине металла более 50 мм устанавливают техническими условиями.

Усиление шва должно быть снято механической обработкой до уровня основного металла. Предел прочности ( $\text{кгс/см}^2$ ) при испытании таких образцов определяют по формуле

$$\sigma_{\text{в}} = K \frac{P}{F},$$

где  $K$  — поправочный коэффициент;  $P$  — максимальное усилие, кгс;  $F$  — площадь поперечного сечения образца в наименьшем сечении до испытания,  $\text{мм}^2$

Для углеродистых и низколегированных конструкционных сталей коэффициент  $K$  принимают равным 0,9. Для других металлов значение коэффициента  $K$  устанавливается соответствующей технической документацией.

Испытание на изгиб дает представление о пластических свойствах стыкового соединения. Форма и размеры образцов приведены на рис. 207 и в табл. 282.

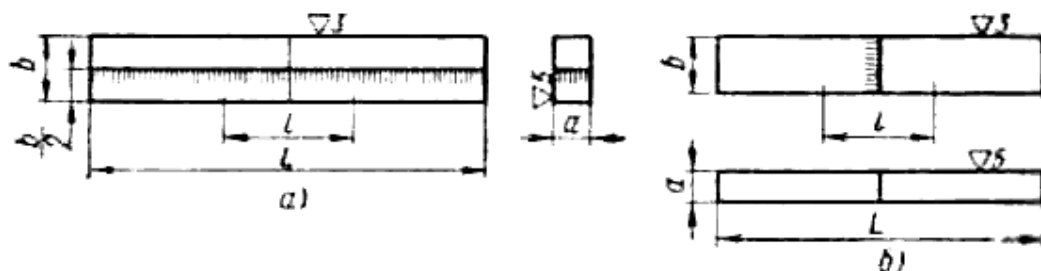


Рис. 207. Форма образцов для испытания на изгиб при расположении сварного шва

282. Размеры (мм) образцов для испытания ив изгиб (рис. 207)

Тип образца	Толщина основного металла $a$	Ширина образца $b$	Общая длина образца $L$	Длина рабочей части образца $l$	Рис.
А	До 5 Св. 5 до 50	$a+15$ $a+30$	$2,5D+80$	$\frac{L}{3}$	207, а
Б	До 50	1,5 а, но не менее 10	$2,5D+80$		207, б
В	До 10 Св. 10 до 25	20 30	$3D+80$		207, в
Примечание. $D$ — диаметр оправки, мм.					

Испытание образцов типа А (рис. 207а) производят по схеме, показанной на рис. 208а, а испытание типов Б и В (рис. 207б) — по схеме рис. 208б; причем для образцов типа Б  $K=2,5D$ , а для образцов типа В  $K=3D$ . Нагрузку прикладывают равномерно до появления первой трещины. Угол загиба до появления трещины является мерой пластических свойств сварного соединения.

Ударную вязкость металла шва и переходной зоны определяют при испытании образцов с надрезом на ударный изгиб, форма образца показана на рис. 209, а размеры даны в табл. 283

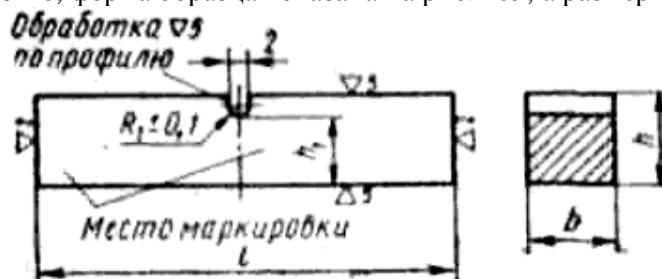


Рис. 209. Образец для определения ударной вязкости

283. Размеры (мм) образцов для определения ударной вязкости (рис. 209)

Тип	$b$	$h_1$	$h$	$l$
I	$10 \pm 0,1$	$8 \pm 0,1$	$10 \pm 0,1$	$55 \pm 0,5$
II	$5 \pm 0,1$	$8 \pm 0,1$	$10 \pm 0,1$	$55 \pm 2$
III	$S^*$	$6 \pm 0,1$	$8 \pm 0,1$	$55 \pm 2$
* Толщина металла.				

Надрез образца делают по шву, по линии сплавления или по зоне термического влияния в зависимости от цели испытания.

Твердость сварного соединения, характеризующая прочность металла, измеряют с помощью приборов Роквелла и Виккерса. Отдельные схемы измерения твердости показаны на рис. 210.

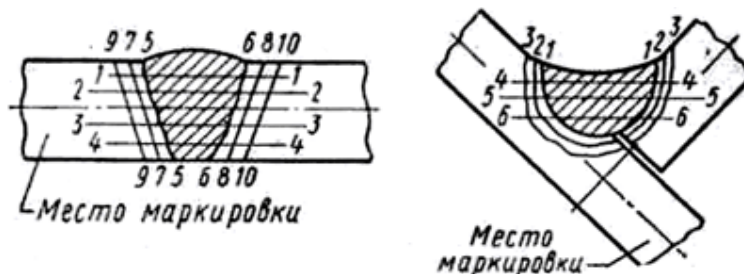


Рис. 210. Схемы замеров твердости (твердость измеряют в точках пересечения линий 1—10)

Кроме испытания стандартных образцов, механическим испытаниям подвергают готовые изделия и конструкции. Целью такого испытания, которое большей частью проводят в условиях, близких к условиям работы изделия, является выявление его прочности.

### Рентгеновское просвечивание

Рентгеновские лучи являются электромагнитными волнами. Они обладают следующими свойствами: способны проникнуть сквозь непрозрачные тела, действуют на фотографическую пленку, как и световые, под действием рентгеновских лучей некоторые вещества, например сернистый цинк, светятся (люминесцируют), вызывают ионизацию газов, в том числе и воздуха, и делают его электропроводным в больших дозах, вызывают вредное физиологическое действие на живой организм, разрушая его ткани.

В промышленности для просвечивания изделий применяют серийные рентгеновские аппараты типа РУП. Так, аппарат РУП-120-5-1 применяют для просвечивания металла из стали толщиной до 25 мм и легки! сплавов толщиной до 100 мм.

Схема просвечивания сварного соединения показана на рис. 211.

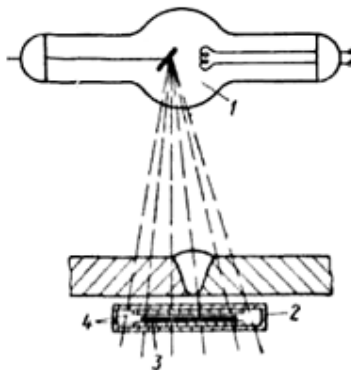


Рис. 211. Схема просвечивания рентгеновскими лучами: 1—рентгеновская трубка; 2 - кассета; 3 — фотопленка; 4 — экраны

Источник излучения (рентгеновскую трубку) помещают на определенном расстоянии от шва, так, чтобы лучи были направлены перпендикулярно к его оси. С противоположной стороны крепят светонепроницаемую кассету, которая должна плотно и равномерно прилегать к просвечиваемому участку изделия. В кассете расположены рентгеновская пленка и два листа усиливающих экранов. При просвечивании пленку выдерживают под лучами в течение определенного времени, называемого экспозицией. Экспозиция зависит от толщины

просвечиваемого металла, фокусного расстояния, интенсивности излучения и чувствительности пленки. Усиливающие экраны служат для сокращения экспозиции. После просвечивания пленку вынимают из кассеты и проявляют. Затем негатив промывают и фиксируют для получения стойкого фотографического изображения. Полученное на негативе изображение участка шва будет неодинаковым по степени потемнения отдельных мест. Лучи, попавшие на пленку, через дефект поглотятся в меньшей степени по сравнению с лучами, прошедшими через плотный металл, и окажут более сильное засвечивающее действие на определенный участок светочувствительного слоя пленки.

При просвечивании рядом со швом (параллельно ему), со стороны источника излучения, устанавливают дефектометр (рис. 212), который служит для определения глубины залегания и величины обнаружения дефекта.

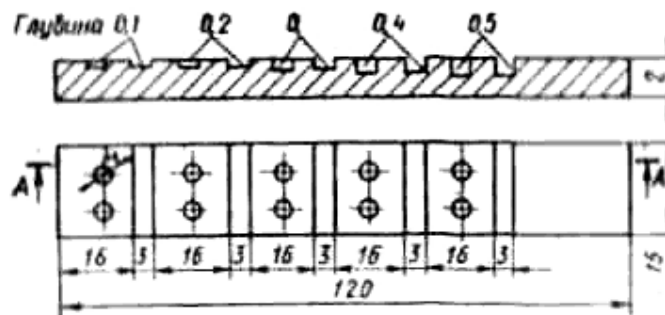


Рис. 212. Устройство пластинчатого дефектометра

Дефектометр — это пластинка, изготовленная из того же материала, что и просвечиваемый металл. Толщина пластинки должна, равна усилению шва. На дефектометре выфрезерованы канавки различной глубины. При одинаковой интенсивности потемнения пленки под одной из канавок с потемнением дефекта, при известной глубине канавки, определяют величину дефекта (по высоте). Качество просвеченного шва определяют путем сравнения пленки с эталонными снимками, установленными для определенного изделия или группы изделий. Просвечиванием можно обнаружить большинство внутренних дефектов: непровар, поры, включения, крупные трещины.

При просвечивании стыкового шва с V-образной подготовкой кромок кассету с пленкой обычно устанавливают со стороны нижней части разделки, что позволяет выявить непровар вершины. Для обнаружения непровара по кромкам источник лучей устанавливают в два различных положения (// и ///), как показано на рис. 213.

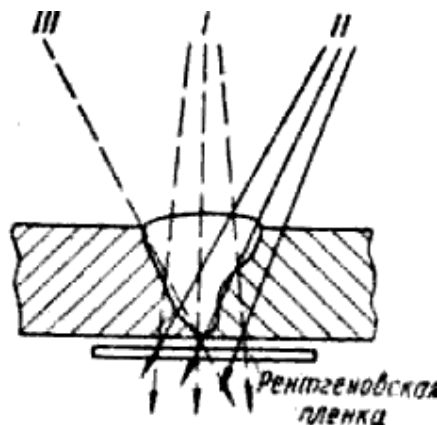


Рис. 213. Схема просвечивания стыкового соединения

Непровар по кромке, фиксируется на пленке в виде темной полоски выделяющейся на более светлом фоне сварного шва. Газовые поры и шлаковые включения одинаково выявляются при любой схеме просвечивания.

### Просвечивание сварных швов гамма-лучами

Гамма-лучи, так же как и рентгеновские, представляют собой электромагнитные волны. Получение гамма-лучей связано со свойствами некоторых элементов (уран, радий, торий) самопроизвольно испускать лучи. Это явление называется радиоактивностью.

Недостатком применения для просвечивания естественных радиоактивных веществ является их дороговизна. Сейчас при просвечивании применяют более дешевые искусственные радиоактивные вещества. Их получают облучением какого-либо химического элемента ядерными частицами — нейтронами. Из искусственных радиоактивных изотопов чаще применяют для просвечивания изотопы кобальт-60, тулий-170 и иридий-192.

Из-за вредного действия гамма-лучей на организм человека радиоактивные изотопы хранят в специальных контейнерах.

Для просвечивания в цеховых условиях промышленность выпускает установки ГУП-Со-0,5-1, ГУП-Со-5-1 и ГУП-Со-50.

Техника просвечивания сварных соединений гамма-лучами подобна технике рентгеновского просвечивания. Схемы гамма-просвечивания показаны на рис. 214.

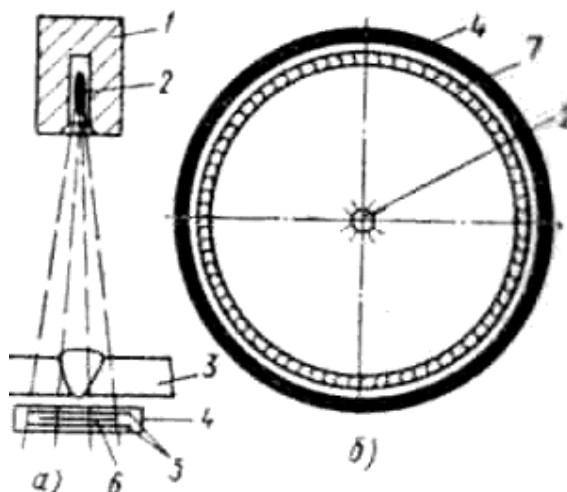


Рис. 214. Схемы гамма-просвечивания: а — стыкового шва; б — кольцевого шва; 1 — свинцовый кожух; 2 — ампула; 3 — сварная деталь; 4 — кассета; 5 — экран; 6 — пленка; 7 — шов

По сравнению с рентгеновским контролем просвечивание гамма-лучами имеет следующие преимущества: радиоактивный препарат можно установить для просвечивания в такие места конструкции, где не поместится громоздкая рентгеновская установка;

гамма-лучами возможно одновременно контролировать несколько деталей, а также кольцевые швы изделий;

контейнер с ампулой удобен в полевых условиях благодаря легкости его транспортировки; затраты на гамма-просвечивание меньше;

препарат радиоактивного изотопа (кобальт-60) безотказен в работе и может непрерывно использоваться пять с лишним лет.

Недостаток просвечивания гамма-лучами — меньшая чувствительность к выявлению дефектов в швах толщиной меньше 50 мм.

Длительное воздействие на человека больших доз излучения приводит к лучевой болезни. При соблюдении установленных правил можно работать по просвечиванию в течение длительного времени без ущерба для здоровья.

Методы контроля сварных швов рентгенографированием и гамма-графированием регламентированы ГОСТ 7512—69.

### Ультразвуковой метод контроля

Этот метод основан на способности ультразвуковых волн отражаться от границы раздела двух сред, обладающих разными акустическими свойствами. При помощи • ультразвука можно обнаружить трещины, раковины, расслоения в листах, непровары, шлаковые включения, поры.

Ультразвук представляет собой упругие колебания материальной среды с частотой колебания выше 20 кГц, т. е. выше верхней границы слухового восприятия. Существует несколько способов получения ультразвуковых колебаний. Наиболее распространенным является способ, основанный на пьезоэлектрическом эффекте некоторых кристаллов (кварца, сегнетовой соли) или искусственных материалов (титаната бария). Этот эффект заключается в том, что если противоположные грани пластинки, вырезанной из кристалла, например кварца, заряжать разноименными зарядами электричества, то она будет деформироваться в такт изменениям знаков зарядов. Изменяя знаки электрических зарядов с частотой выше 20 тыс. колебаний в секунду, получают механические колебания пьезоэлектрической пластинки той же частоты, передающейся в окружающую среду в виде ультразвука.

На пьезоэлектрическом эффекте основана работа ультразвуковых дефектоскопов — приборов для выявления дефектов в изделиях, в том числе и в сварных швах. Для проверки качества сварного шва дефектоскоп подключают к сети переменного тока (рис. 215).

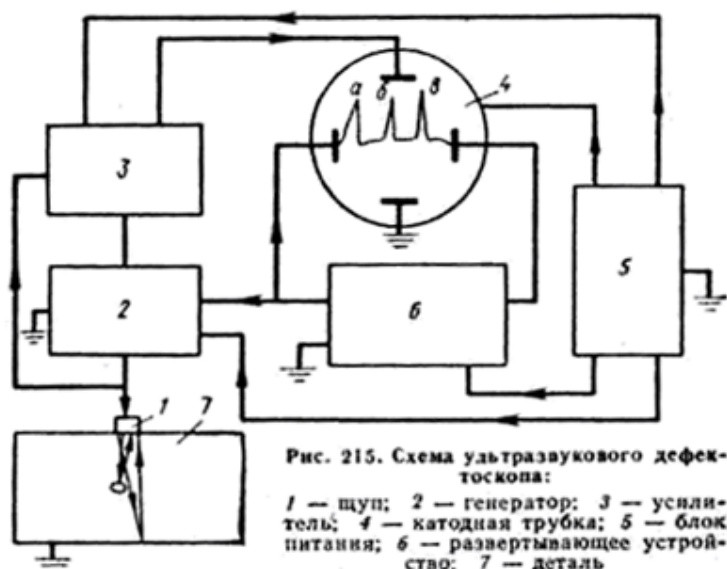


Рис. 215. Схема ультразвукового дефектоскопа:  
1 — щуп; 2 — генератор; 3 — усилитель; 4 — катодная трубка; 5 — блок питания; 6 — развертывающее устройство; 7 — деталь

Рядом со сварным швом устанавливают пьезоэлектрический щуп 1 с пластинкой из титаната бария. Автоматическое изменение знаков зарядов на поверхности пластинки достигают при помощи лампового генератора 2. Если от этого генератора сообщить пластинке импульс электрических колебаний, то пластинка пошлет в шов короткий ультразвуковой импульс такой же частоты. Первоначальный электрический импульс после его усиления в усилителе 3 будет зарегистрирован на экране катодной трубки 4 в виде пика *a* светящегося луча. Попадая в бездефектный шов, пучок ультразвука достигает противоположной стороны сварного соединения, и отразившись от него, снова попадает на пластинку. К этому моменту пластинка уже прекратит испускать ультразвук из-за кратковременности электрического

импульса. Вместо источника ультразвуковых колебаний она становится их приемником. Ультразвуковые колебания, отразившиеся от дна изделия и попавшие на пластинку, преобразуются в механические, а затем и в электрические колебания. Последние после усиления попадают на катодную трубку осциллографа. На его экране появится донный сигнал в виде пика *в*.

Если же в шве имеется какой-либо дефект, например трещина, то часть пучка ультразвука отразится от нее, а другая часть — от противоположной стороны сварного соединения. В этом случае на экране будут видны уже три пика. По среднему пику *б* устанавливают, что в шве залегает какой-то дефект. Расстояние между пиками *а* и *б* позволяет определить, на какой глубине находится дефект.

По принципу отражения ультразвуковых волн работают ультра звуковые дефектоскопы УЗД-7, УДМ-Ш, УДМ-З, с помощью которых можно обнаружить дефекты, расположенные на глубине 1—2500 мм под поверхностью.

### Люминесцентный метод контроля.

Этот метод основан на свечении некоторых веществ при действии на них ультрафиолетовых лучей. Люминесцентный метод контроля приме ним для обнаружения поверхностных дефектов, главным образом мельчайших трещин.

Перед контролем исследуемый участок шва очищают от загрязнений, затем на очищенные места наносят жидкий раствор, содержащий люминофор. Таких веществ—люминофоров известно несколько. Например, раствор дефектоля в бензине светится ярким желто-зеленым том при освещении его ультрафиолетовыми лучами. После 10—15 мин выдержки раствор смывают и изделие сушат в струе теплого воздуха. Облучая изделия ультрафиолетовыми лучами в затемненном помещении, по свечению раствора, оставшегося в трещинах, обнаруживают дефектные места.

### Магнитные методы контроля

Магнитные методы контроля основаны на принципе использования магнитного рассеяния, возникающего над дефектом при намагничивании контролируемого изделия. Если сварной шов не имеет дефектов, то магнитные силовые линии по сечению шва распределяются равномерно (рис. 216, *а*). При наличии дефекта в шве вследствие меньшей магнитной проницаемости дефекта магнитный силовой поток будет огибать дефект, создавая магнитные потоки рассеяния (рис. 216, *б*).

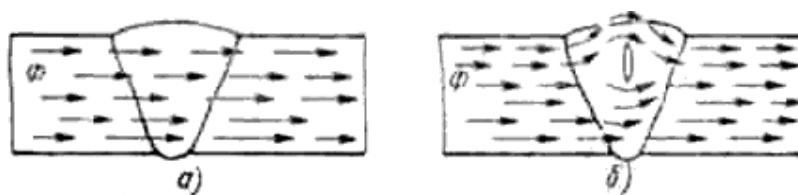


Рис. 216. Прохождение магнитного силового потока по сварочному шву: *а* — без дефекта; *б* - с дефектом

В зависимости от способа фиксирования потоков рассеяния существует метод магнитного порошка и индукционный метод. В первом случае неравномерность поля определяют по местам скопления ферромагнитного порошка, нанесенного на поверхность изделия. Во втором случае потоки рассеяния улавливают индукционной катушкой. Изделие намагничивают электромагнитом, соленоидом или пропуская ток непосредственно через сварное соединение.

При выборе метода намагничивания нужно учитывать, что выявление дефектов магнитным методом возможно только в случае, когда они расположены перпендикулярно направлению

магнитного потока.

Существуют два способа контроля магнитным порошком — сухой и мокрый. При сухом способе порошок закиси-окиси железа равномерно наносят на поверхность изделия, применяя ручное сито или пульверизатор. Во многих случаях, в качестве порошка применяют железную окалину, которую предварительно измельчают в шаровой мельнице и просеивают через тонкое сито. В момент пропускания электрического тока изделие слегка обстукивают, что обеспечивает подвижность частиц порошка, распределяющихся в наведенном магнитном поле. Излишек порошка сдувают с детали слабой воздушной струей. При мокром способе применяют так называемую магнитную суспензию — смесь какой-либо жидкости (керосин, трансформаторное масло) с магнитным порошком, мельчайшие частицы которого равномерно распределены по ее объему. Операцию контроля начинают с того, что контролируемый участок сварного соединения поливают или опрыскивают суспензией. Дефекты обнаруживают по скоплениям магнитного порошка. Один и тот же участок проверяют дважды. После проверки качества всех сварных швов изделие размагничивают.

Метод магнитного порошка пригоден для контроля только в ферромагнитных материалах. Этим методом можно обнаружить все поверхностные трещины и те внутренние трещины и непровары, которые залегают на глубине до 6 мм. Для контроля сварных соединений применяют магнитные дефектоскопы, выпускаемые промышленностью, например переносный магнитный дефектоскоп 77ПМД-3М и др.

По принципу индукционного метода контроля работает дефектоскоп системы К-К-Хренова и С. Т. Назарова, упрощенная схема которого показана на рис. 217.

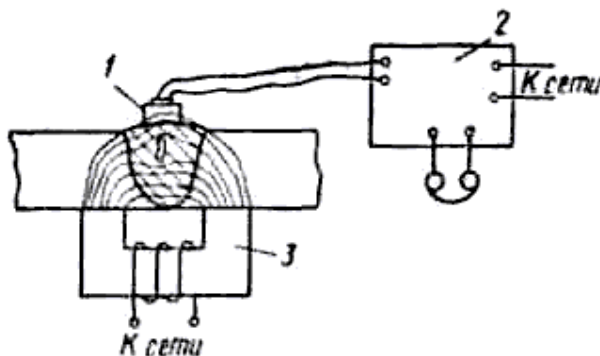


Рис. 217. Схема дефектоскопа системы К. К. Хренова и С. Т. Назарова: 1 — искатель; 2 — усилитель; 3 — электромагнит

В контролируемом изделии наводят переменный магнитный поток при помощи электромагнита, подключенного к сети переменного тока. Если в шве есть дефект, магнитные силовые линии поведут себя точно так же, как и при контроле методом магнитного порошка. Рассеянные магнитные поля над дефектом обнаруживают при помощи искателя. Индукционный ток усиливается ламповым усилителем, с которым соединена катушка искателя. Усиленные электрические сигналы попадают на телефон, в котором слышатся резко усиленные звуки. Одновременно с этим загорается сигнальная лампа.

При помощи дефектоскопа можно выявлять дефекты в сварных швах стыковых соединений толщиной 6—25 мм.

Разновидностью магнитной дефектоскопии является магнитографический способ контроля, при котором поля рассеяния фиксируются на ферромагнитной ленте.

Магнитные методы контроля часто применяют для составления предварительного заключения о качестве сварного соединения. Окончательное установление качества производится по снимку, полученному просвечиванием рентгеновскими или гамма-лучами.



## **Металлографические исследования**

Посредством металлографического анализа проверяют качество структуры металла сварного соединения. В зависимости от того, с каким увеличением рассматривают зерно металла, различают макроструктуру и микроструктуру.

Под макроструктурой понимают структуру металла сварного соединения, рассматриваемую или в натуральную величину или через лупу. Макроструктуру исследуют на шлифах, травленных специальными реактивами. После травления на макрошлифе ясно видны дефекты, попавшие в его сечение. Кроме того, на макрошлифе можно обнаружить скопления серы и фосфора по границам кристаллов. Скопление серы выявляют следующим образом: на макрошлиф накладывают засвеченный листок фотобумаги, смоченный 15%-ным раствором серной кислоты. В тех местах, где бумага соприкасалась с сернистыми включениями на ней остаются коричневые пятна. Макроструктуру исследуют не только на специально обработанных шлифах, но и по излому образцов после их механических испытаний. Макрошлиф или излом сварного соединения исследуют тогда, когда программой испытания предусмотрено изготовление контрольных образцов.

Макроконтроль сварного соединения можно осуществлять также с помощью засверловки. В этом случае определенное место шва засверливают так, чтобы образовавшееся углубление вскрыло вершину шва. Засверленное место шлифуют наждачной бумагой, затем травят реактивом, рассматривают через лупу и в случае отсутствия дефектов снова заваривают.

В отличие от макроскопического исследования, которое дает представление о металле шва в целом при микроскопическом исследовании, изучают отдельные участки сварного соединения. Микроисследование проводят при помощи микроскопа с увеличением в 100—500 раз. Микроисследование позволяет выявить дефекты структуры, микротрещины и др.