ЭФФЕКТИВНЫЙ ИНЖИНИРИНГ

Методы повышения прочностных и коррозионных свойств деталей оборудования.

Докладчик:
Руководитель ДСМ ООО «ИТ-Сервис», к.т.н.
Чистопольцева Елена Александровна

Способы защиты от коррозии

Причины коррозии промыслового оборудования:

- Высокая температура и давление в скважине;
- Наличие агрессивных сред (водной фазы, солей, сероводорода, углекислого газа);
- Механическое воздействие составляющих сред на поверхность металла;
- Электрохимические процессы между различными металлами.

Основные методы защиты промыслового оборудования:

- Защита химическими реагентами: ингибиторами коррозии, ингибиторами солеотложений, бактерицидами;
- Защитные покрытия: эпоксидно-полимерные, термодиффузионные, азотирование;
- Катодная защита;
- Материалы повышенной устойчивости;
- Коррозионно-стойкая наплавка.

Эффективность каждого способа зависит от конкретных условий эксплуатации оборудования, состава рабочей среды и экономических возможностей предприятия. Выбор оптимального метода должен основываться на тщательном анализе ситуации и учитывать технические характеристики используемого оборудования.

Комплексный подход к защите оборудования позволит существенно повысить надежность работы оборудования, продлить сроки его эксплуатации и минимизировать затраты на обслуживание и ремонт.

Ингибиторы коррозии

Ингибиторами называют вещества, способные замедлять или предотвращать процесс коррозии металлов. Они вводятся непосредственно в рабочую среду, образуя защитную пленку на поверхности металла. Ингибиторы делятся на следующие группы:

Адсорбционные — адсорбируются на поверхности металла, создавая защитный слой.

Пленкообразующие — образуют плотную пленку, препятствующую контакту металла с агрессивной средой.

Пассивирующие — вызывают образование пассивной пленки окислов на поверхности металла.

Преимущества: высокая эффективность, простота введения, совместимость с большинством рабочих жидкостей.

Недостатки: необходимость постоянного контроля концентрации ингибитора, риск снижения эффективности при изменении условий среды.

Защитное покрытие

Покрытие поверхностей специальными материалами также эффективно защищает оборудование от коррозии. Покрытия бывают следующих видов:

Лакокрасочные покрытия — применяются для внешней защиты оборудования, создают барьер против влаги и химически активных веществ.

Цинкование — метод нанесения слоя цинка на поверхность стальных изделий путем горячего погружения или гальванического метода.

Полимерные покрытия — используются различные полимеры (например, полиуретан), обладающие высокой стойкостью к механическим повреждениям и агрессивным веществам.

Преимущества: длительный срок службы, возможность ремонта покрытий, устойчивость к различным видам воздействия.

Недостатки: сложность нанесения толстых слоев покрытий, возможное появление дефектов во время эксплуатации.

Катодная защита

Метод катодной защиты основан на подключении защищаемого объекта к отрицательному полюсу внешнего источника тока либо использованием протекторов — расходуемых анодов, создающих электрохимический потенциал, смещающий нормальный потенциал стали в область, соответствующую образованию устойчивой оксидной пленки.

Преимущества: надежная защита даже при наличии повреждений основного материала, длительное действие без замены компонентов системы.

Недостатки: требует дополнительного энергоснабжения, сложно организовать защиту сложных конструкций.

Материалы повышенной устойчивости

Использование специальных сплавов и легированных сталей, содержащих хром, никель, молибден и титан, значительно повышает стойкость оборудования к воздействию коррозионных факторов. Такие материалы обладают улучшенными характеристиками по сравнению с обычными углеродистыми сталями.

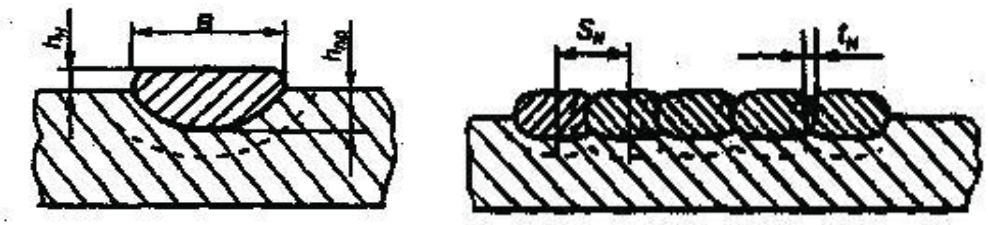
Преимущества: повышенная прочность и надежность конструкции, снижение риска аварий и поломок.

Недостатки: высокая стоимость материалов, ограниченность применимости в некоторых условиях эксплуатации.

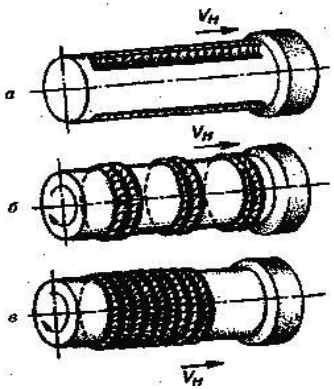
Наплавка

Наплавкой называется технологическая операция нанесения одного или нескольких слоев специального материала поверх базовой основы (матрицы) посредством сварки плавлением. Наплавляемый материал обладает высокими физико-химическими свойствами, такими как твердость, износоустойчивость и сопротивление коррозии.

Наплавочный слой образует прочное соединение с основным металлом, обеспечивая надежную работу оборудования в экстремально тяжелых условиях.



Способы наложения слоёв: *B, h, hr* – соответственно ширина валика, высота наплавки, глубина проплавления; *Sм* – шаг наплавки



Наплавка тел вращения: *а* – по образующей; *б* – по окружности; *в* – по винтовой линии

Преимущества наплавки перед другими методами защиты.

- Высокое качество соединения наплавленного слоя с основой благодаря диффузии атомов.
- Возможность точного подбора химического состава наплавочного материала для конкретных условий эксплуатации.
- Повышение прочности, коррозионной стойкости и износостойкости обрабатываемых деталей. Устойчивость к механическому истиранию и абразивным частицам.
- Экономичность и сокращение затрат на изготовление новых запчастей.

Виды наплавки металла

Существует несколько основных методов наплавки, которые различаются по типу источника энергии, способу подачи материала и условиям процесса. Наиболее распространенными методами считаются такие варианты наплавки:

- **электродуговая;**
- **вибродуговая;**
- **газопламенная;**
- **плазменная;**
- **электрошлаковая;**
- **лазерная;**
- **индукционная;**
- **электроискровая.**

Электродуговая наплавка

Это один из наиболее распространенных методов упрочнения металлических поверхностей. Способ основан на применении электрической дуги, которая плавит присадочный материал и основу, создавая прочное и однородное покрытие.

Преимущества::

1) Высокая производительность. Метод позволяет наносить толстые слои покрытия за один проход, значительно ускоряя процесс.

2) Разнообразие применяемых материалов. Можно использовать разные виды присадочных материалов, в том числе порошки и проволоки на основе углеродистых и легированных сталей, никелевых и кобальтовых сплавов.

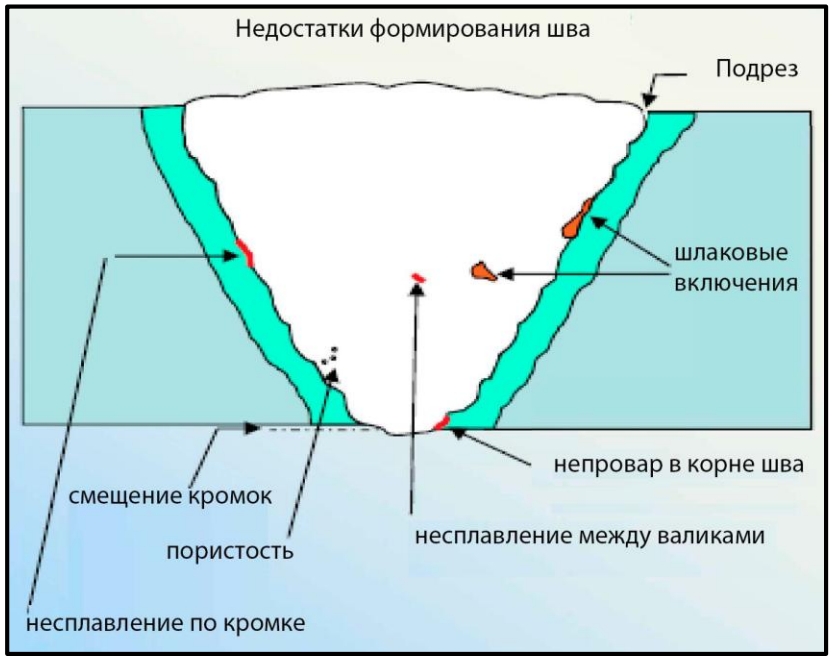
3) Глубокое проплавление. За счет высокой температуры дуги достигается надежное сцепление покрытия с основной поверхностью.

4) Экономичность. Метод позволяет восстановить изношенные детали, продлевая срок их службы без необходимости замены на новые.

Варианты электродуговой наплавки;

- Ручной метод;
- Полуавтоматическая электродуговая наплавка;
- Автоматическая электродуговая наплавка.

Дефекты сварных швов



•**Наружные дефекты**. Проявляются на поверхности шва и обнаруживаются при тщательном визуальном осмотре или измерительными приборами:

- подрезы — углубления вдоль края шва;
- наплывы — излишки металла шва на поверхности основного металла;
- кратеры — углубления на поверхности шва;
- прожоги — сквозные отверстия в металле.

•**Внутренние дефекты**. Находятся внутри шва или области нагрева, их обнаружение требует использования специализированных методов неразрушающего контроля:

- поры — пустоты внутри шва;
- трещины — разрывы металла;
- свищи — сквозные отверстия, соединяющие внутреннюю и внешнюю поверхность шва;
- посторонние включения — наличие в структуре шва примесей шлака, грязи и т.д..

ЭФФЕКТИВНЫЙ ИНЖИНИРИНГ

Формирование структуры сварных соединений. Свойства металла шва. Особенности коррозионно-механического разрушения сварных соединений при эксплуатации в средах высокой агрессивности.

Докладчик:
Руководитель ДСМ ООО «ИТ-Сервис», к.т.н.
Чистопольцева Елена Александровна

Схема строения сварного соединения

Сварка является одним из основных технологических процессов изготовления и упрочнения деталей и строительных конструкций. Сварка это процесс неразъемного соединения деталей местным сплавлением при молекулярном или атомном взаимодействии металлов.

Основной характеристикой свариваемости является отсутствие холодных или горячих трещин при сварке.

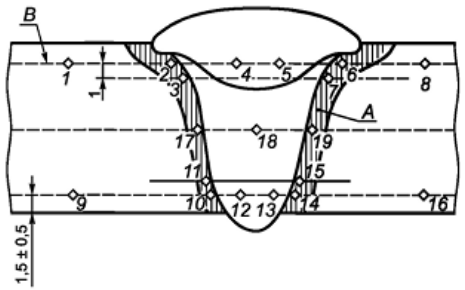
Обычно при сварке углеродистых и низколегированных конструкционных сталей ставится задача получения пластичного сварного соединения, и в частности металла ЗТВ.

Для достижения необходимого комплекса свойств, включая стойкость к растрескиванию технологию сварки и сварочные материалы подбирают специально. Сварочные работы выполняются в соответствии с действующими правилами и стандартами по согласованию между потребителем и производителем. По требованию потребителя производитель должен предоставить технические условия на выполнение сварочных работ и квалификационную документацию на технологию сварки.

Требования к сварным швам ISO 15156/ГОСТ 53678-2009

Твердость основного металла и сварных швов, а также зон термического влияния играет важную роль в стойкости к растрескиванию углеродистых и низколегированных сталей. Регулирование твердости может быть достаточным средством достижения стойкости к SSC. Процессы, происходящие при сварке углеродистых и низколегированных сталей, влияют на их чувствительность к растрескиванию.

Размеры в миллиметрах

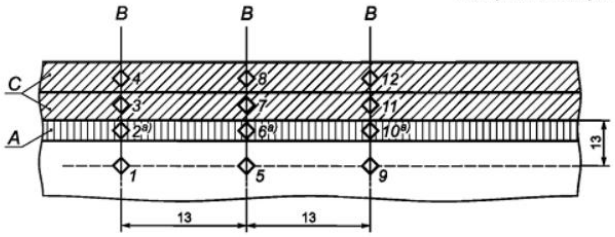


A — зона термического влияния (видимая после травления); *B* — линии обследования

Отпечатки *2, 3, 6, 7, 10, 11, 14, 15, 17 и 19* должны полностью находиться в пределах зоны термического влияния и располагаться как можно ближе к линии сплавления. Верхнюю линию обследования следует располагать таким образом, чтобы отпечатки *2* и *6* совместились с зоной термического влияния конечного прохода или изменением профиля линии сплавления, соответствующей конечному проходу

Рисунок 2 — Метод обследования стыкового сварного шва для измерения твердости по Виккерсу

Размеры в миллиметрах



A — зона термического влияния шва (видимая после травления); *B* — линии вдавливаний при анализе твердости (с *1* по *12*); *C* — слой наплавления (видимый после травления).

[a] С помощью методов измерения твердости по Виккерсу или Роквеллу (шкала № 15) отпечатки *2, 6* и *10* должны полностью располагаться в зоне термического влияния и как можно ближе, но не ближе чем 1 мм от линии сплавления между наплавленным слоем и HAZ.

Метод измерения твердости по Роквеллу (шкала *C*) можно использовать в соответствии с требованиями 7.3.3.2. Отпечатки HRC в зоне HAZ должны располагаться в пределах 2 мм от границы сплавления

Рисунок 6 — Сварка наплавлением

*Выдержка из ГОСТ 53678-2009

Методика измерения твердости	Места измерения твердости для аттестации технологии сварки	Ед. твердости, не более
HV10 или HV5 по Виккерсу или HRN 15 по Роквеллу	Корень шва: Основной металл, металл HAZ и корня шва в соответствии с рисунками 2,3 или 4	250HV 70.6 HRN
	Основной металл, металл и HAZ для сварки наплавлением в соответствии с рисунком 6, см. также A2.1.5, перечисление b)	250HV 70.6 HRN
HV10 или HV5 по Виккерсу или HRN 15 по Роквеллу	Верхняя часть шва: Основной металл, металл HAZ и металл верхней части вне зоны HAZ в соответствии с рисунком 2 или 4	275 HV[a)] 73,0 HRN 15
HRV по РОквеллу (см. 7.3.3.2)	Как показано на рисунке 5	22 HRC
	Основной металл, металл и HAZ для сварки напылением в соответствии с рисунком 6, см также A2.1.5. перечисление b)	22 HRC

a) Максимальное значение должно быть 250 HV или 70,6 HRN 15, если:
- пользователь оборудования не установил альтернативные пределы твердости верхней части сварного шва;
- основной материал(ы) не имеет толщину выше 9 мм;
- на верхнюю часть сварного шва непосредственно действует сероводородсодержащая среда;
- удалению водорода препятствует, например, катодная защита.

*Выдержка из ГОСТ 53678-2009

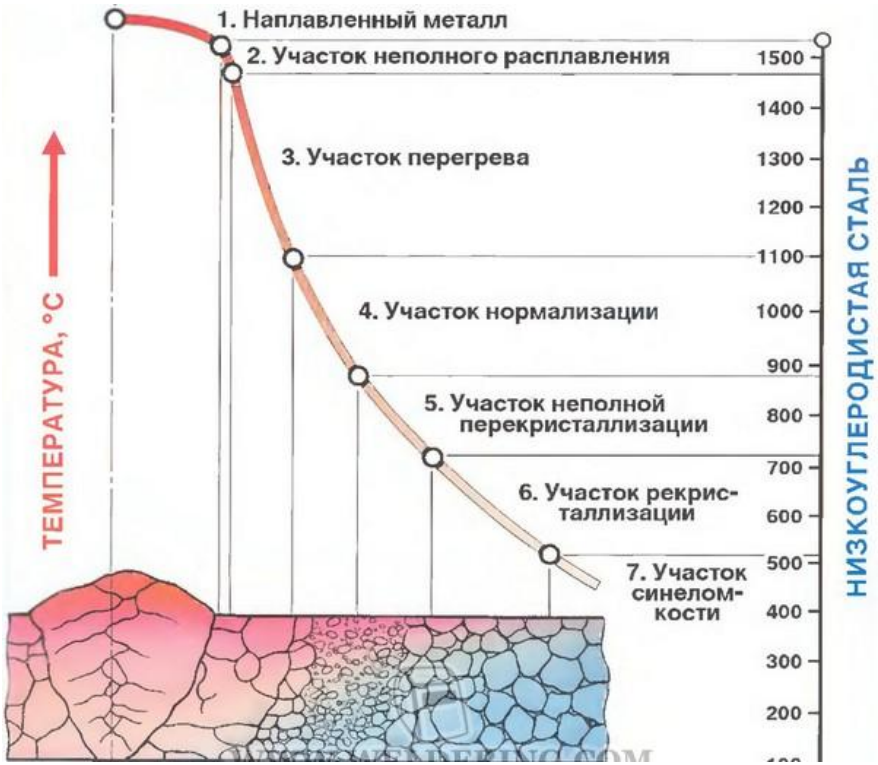
Таблица B.1 — Лабораторные испытания SSC для эксплуатации в среде, содержащей сероводород

Область применения	Тип испытания[a), b), h)]	Приложенное напряжение[c), d)]	Среда	Парциальное давление H_2S	Критерии приемки	Примечание
Специфическое применение или зоны SSC 1 и SSC 2 (рисунок 1)	UT	≥ 90 % AYS	5 % масс. NaCl + 0,4 % масс. CH_3COONa, pH регулируется до требуемого значения с помощью HCl или NaOH[e)]	Соответствует предполагаемому применению или области SSC	Отсутствие трещин SSC в соответствии с методом оценки [18]	Конкретное применение или менее жесткие условия[f)]
	FPB[i)] или CR					Применение в качестве оценки на усмотрение пользователя оборудования и с документальным обоснованием
	DCB[g)]	Не применяется			Оценка должна соответствовать [18]. Критерии приемки должны быть документально оформлены соглашением	
Все области SSC по рисунку 1	UT FPB[i)] или CR	≥ 80 % AYS	Среда A по [18] (5 % масс. NaCl + 0,5 % масс. CH_3COOH)	100 кПа в соответствии с [19]	Отсутствие трещин SSC в соответствии с методом оценки [18]	Применение в качестве оценки на усмотрение пользователя оборудования и с документальным обоснованием
	DCB[g)]	Не применяется			Оценка должна соответствовать [18]. Критерии приемки должны быть документально оформлены соглашением	

a) Типы испытаний:
- UT (одноосное растяжение) — испытание в соответствии с [18] (метод A);
- FPB (изгиб в четырех точках) — испытание в соответствии с [19] (приложение 2);
- CR (разрезное кольцо) — испытание в соответствии с [18] (метод C);
- DCB (двухконсольная балка) — испытание в соответствии с [18] (метод D);
- - если целесообразно, могут быть использованы другие образцы для испытаний, включающие компоненты в натуральную величину. Их использование возможно при наличии договоренности между покупателем и поставщиком.
- ь) **Испытания FPB, CR или UT являются предпочтительными для оценки сварных соединений деталей (см. 7.3 и 7.4). Сварные образцы: обычно образцы для испытаний берут в направлении, поперечном сварному шву' испытание следует проводить при фактическом пределе текучести основного металла**.
- c) Для тех случаев применения, когда гарантируют низкий уровень рабочих напряжений конструкций, напряжение при испытании можно понизить до уровня максимального рабочего напряжения конструкции. В таких случаях критерии испытаний и приемки результатов должны быть согласованы с пользователем оборудования. Такое согласование должно быть документально зафиксировано.
- d) AYS — фактический предел текучести материала в его окончательной форме при температуре испытаний. AYS должен быть равен значению Rp0i2, указанному в технической характеристике изделия.
- e) Для целей испытаний SSC при определенном уровне pH значение pH во время испытаний следует контролировать с точностью ± 0,1 pH.
- f) Испытание в условиях, перечисленных в таблице B.2, обеспечивает оценку для использования в рассматриваемой зоне.
- g) В особых случаях для заготовок крупного сечения или сечения сложной формы испытания DCB могут быть использованы для обоснования проектных разработок, опирающихся на механику разрушения.
- h) Типы испытаний не обязательно являются эквивалентными, и их результаты могут быть не сопоставимы.
- i)Если выполняют оценку стойкости к SOHIC и/или SZC (см. 7.2.2), следует выполнять требования данной таблицы и B.4

Структура сварного соединения

Термический цикл сварки



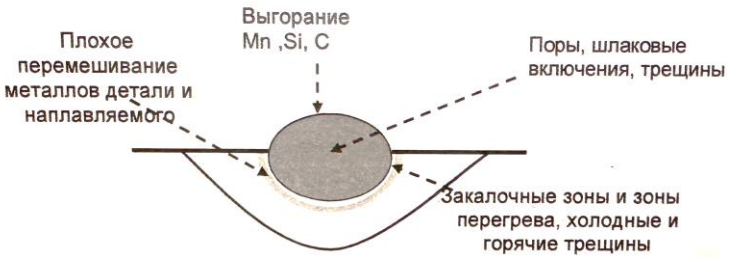
Свойства сварного соединения определяются характером тепловых воздействия на металл в околошовных зонах.

Степень проплавления свариваемых кромок

Вид сварного соединения	Свариваемая сталь	Степень проплавления (%) при сварке			
		ручной дуговой	автоматической под флюсом	наплавке ленточным электродом	электрошлаковой
Наплавка валика	Перлитная Аустенитная	15—40 25—50	25—50 35—60	8—20 15—25	— —
Однослойные стыковые соединения	Перлитная Аустенитная	20—40 30—50	25—50 40—60	— —	20—40 30—50
Корневые швы многослойных стыковых и тавровых соединений	Перлитная Аустенитная	25—50 35—50	35—60 40—70	— —	— —

В зоне термического влияния могут быть участки:
- старения (200-300 ºС)
- отпуска (250-650 ºС)
- неполной рекристаллизации (700-870 ºС)
- нормализации (840 -1000 ºС)
- перегрева (1000-1250 ºС)
- околошовный участок, примыкающий к линии сплавления (1250 -1600 ºС)

Возможные дефекты в сварном шве



При сварке возможны два случая предельных случая:
- резкая закалка при быстром охлаждении околошовной зоны;
- перегрев при медленном охлаждении и образование крупных зерен.

Особенности процесса сварки разнородных сталей

Изменение состава и образование промежуточных слоев при сплавлении

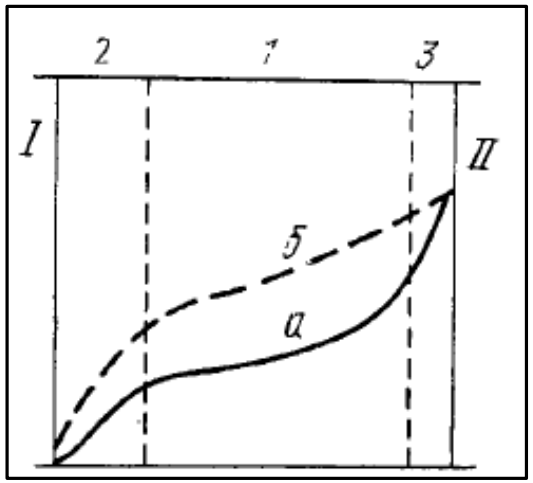
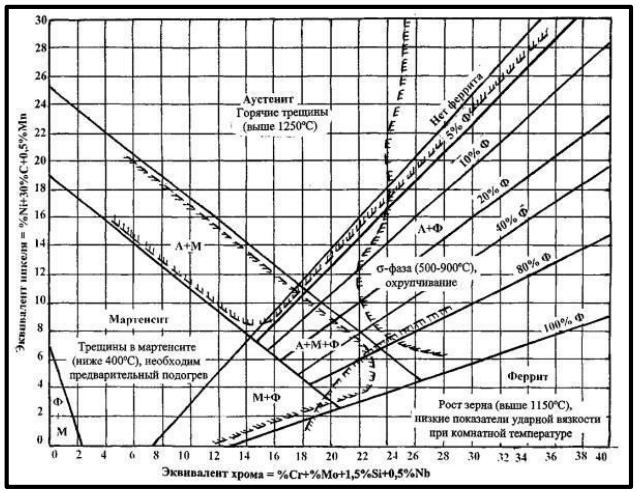


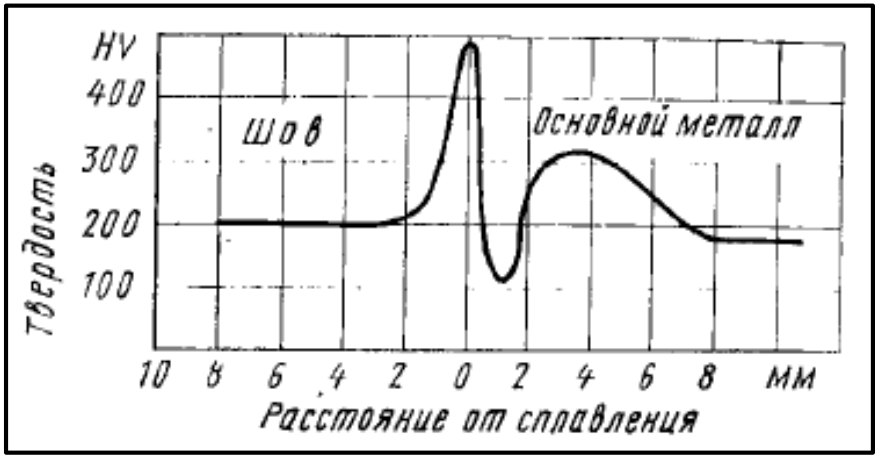
Диаграмма Шеффлера



Кинетика микроструктурных изменений разнородных металлов в сварном шве



Твердость на участке сплавления стали 30ХМА с 08Х18Н10



Влияние легирующих элементов на величину обезуглероженного слоя

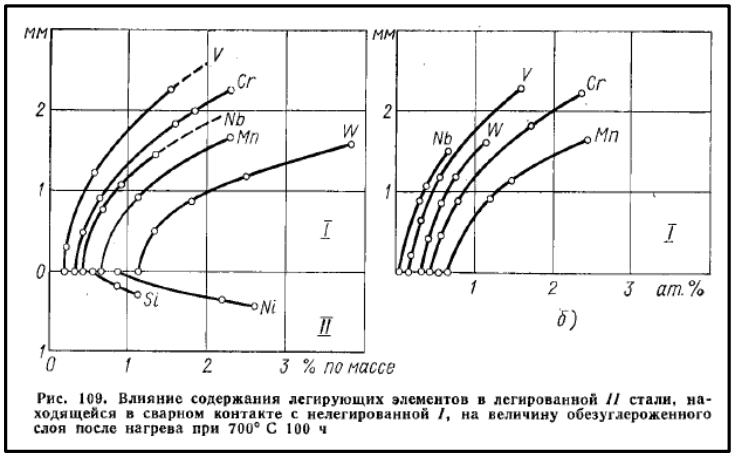
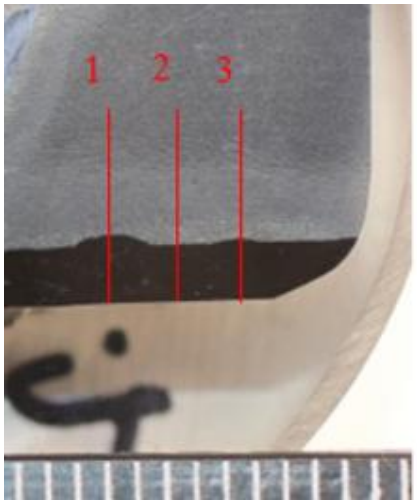


Рис. 109. Влияние содержания легирующих элементов в легированной *II* стали, находящейся в сварном контакте с нелегированной *I*, на величину обезуглероженного слоя после нагрева при 700° С 100 ч

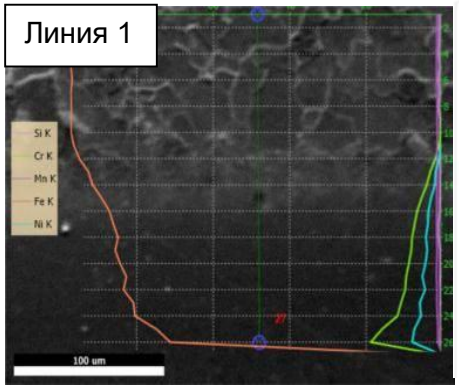


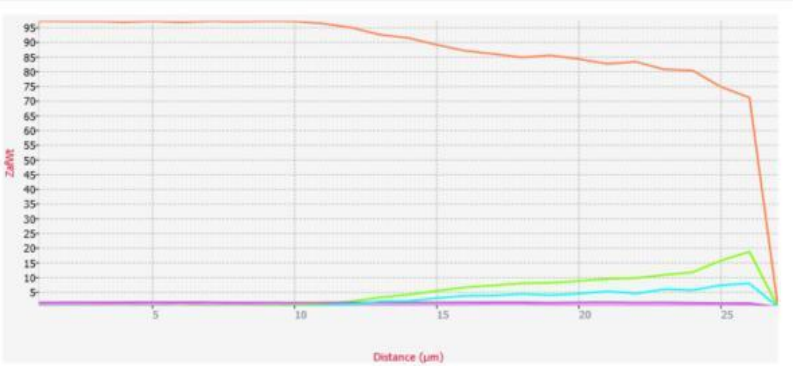
Рис. 110. Влияние относительного легирования Me/C стали на величину обезуглероженного слоя в нелегированной стали после нагрева при 700° С 100 ч

Химический состав переходной зоны от наплавки к основному металлу

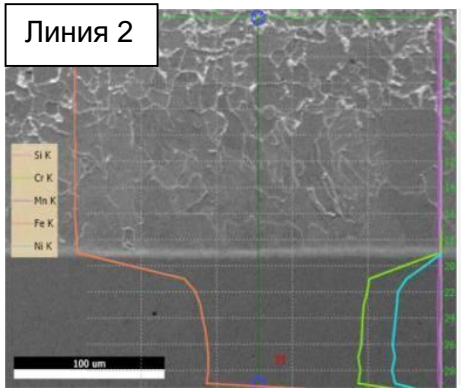


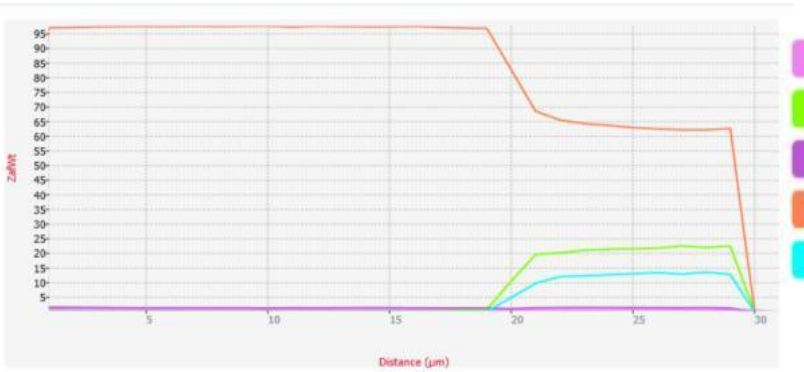
Линия 1



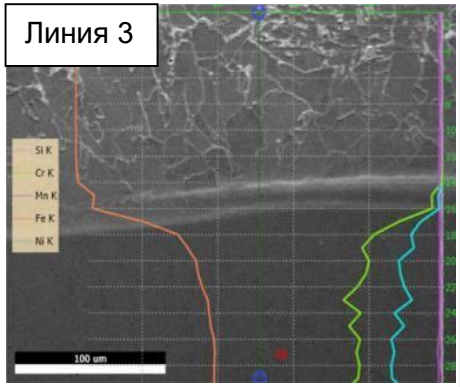


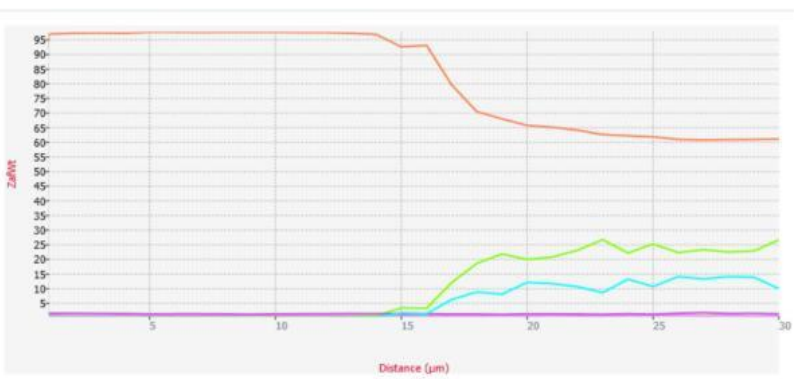
Линия 2



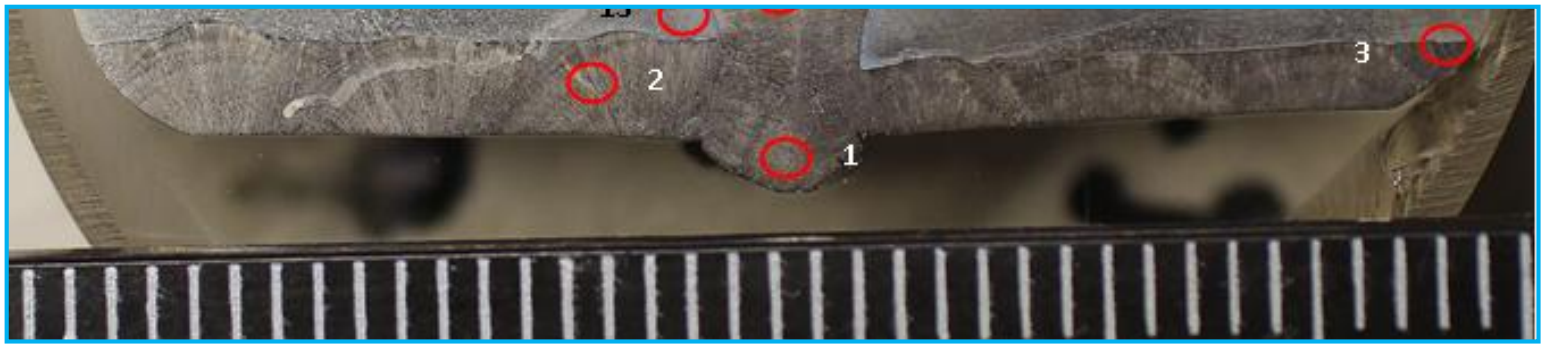


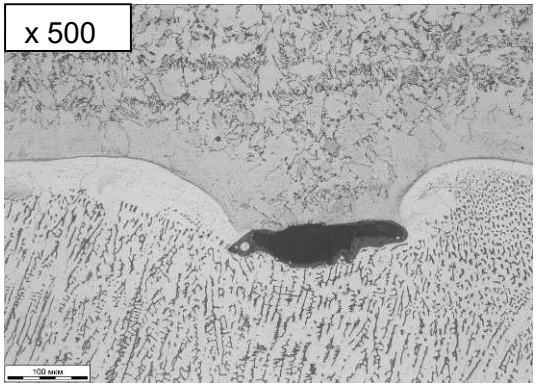
Линия 3

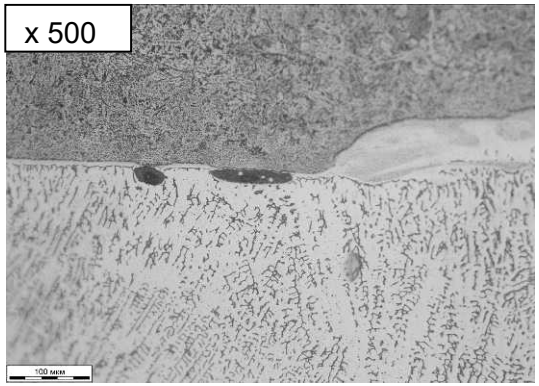


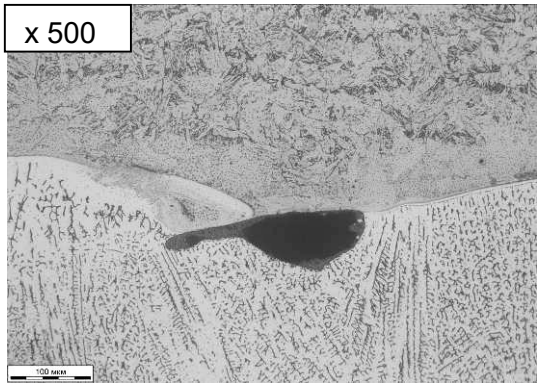


Дефекты наплавки

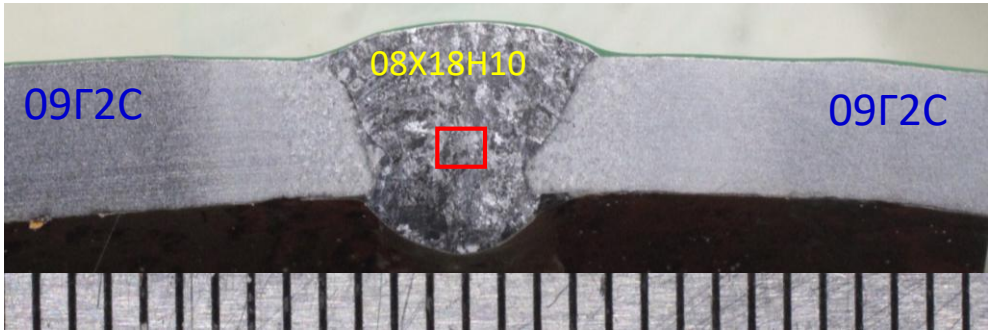






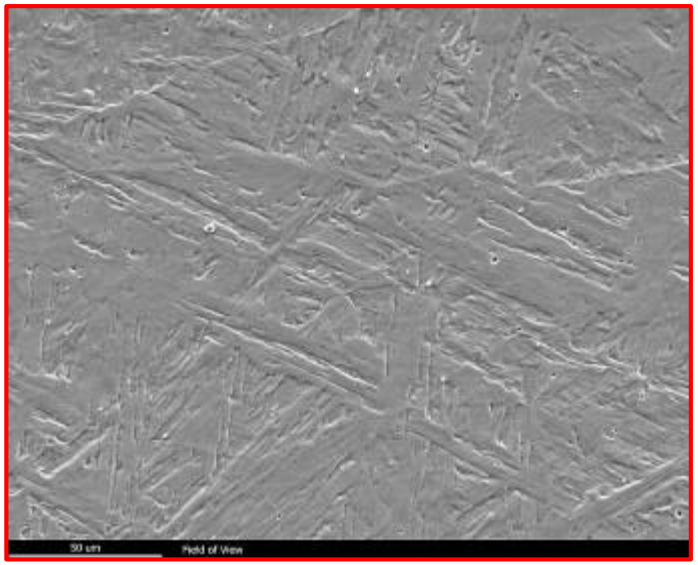


Сварное соединение 09Г2С+08Х18Н10



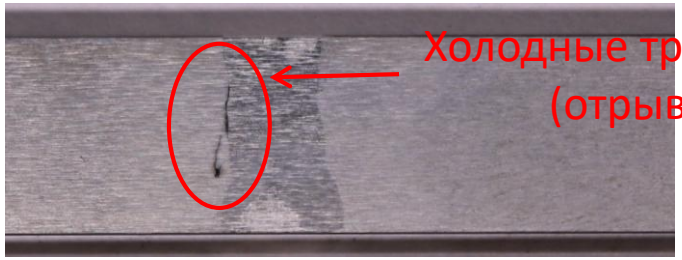


Твердость HV ^{200}, кг/мм^2 (HRC)									
Область измерения	Наружная поверхность			Центральная область			Внутренняя Поверхность		
Сварное соединение	395,1 (40)	417,3 (42)	401,9 (41)	404,6 (41)	407,4 (41)	413,0 (42)	386,0 (39)	397,8 (41)	392,5 (40)



№	Массовая концентрация элементов, %				
	Si	Mn	Cr	Ni	Fe
1	1,11	1,95	12,65	5,59	Ост.

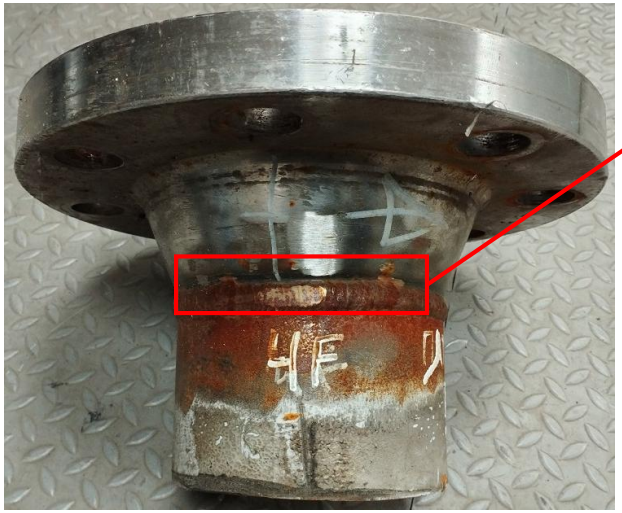
Дефекты в сварном шве



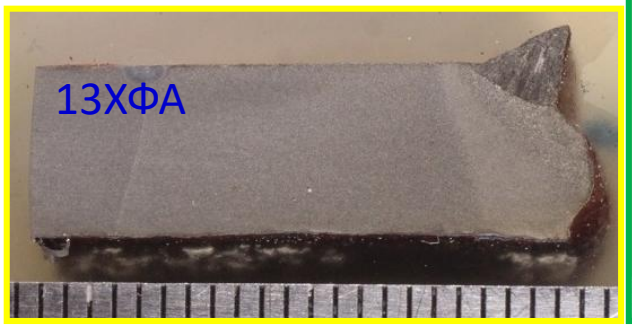
Образец после испытания на статический изгиб



Сварное соединение разнородными материалами

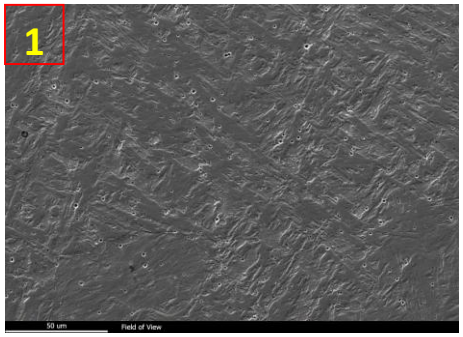


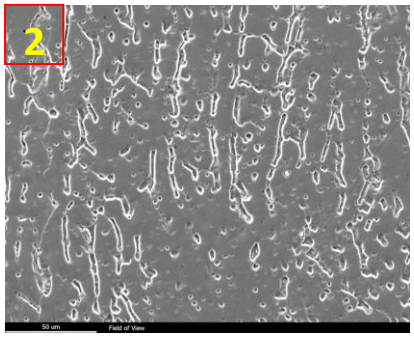


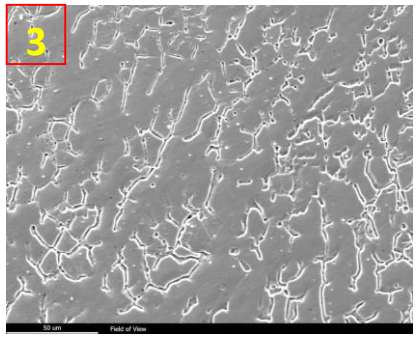




Твердость HV ^{200}, кг/мм^2 (HRC/HRB)												
Область измерения	Облицовочный слой (обл.1)				Заполняющий слой (обл.2)			Корневой слой (обл.3)				
Сварное соединение	397,8 (40)	404,6 (41)	438,3 (44)	361,5 (37)	207,9 (94)	210,4 (95)	215,7 (96)	225,1 (97)	221,7 (97)	210,9 (95)	222,3 (97)	233,9 (99)







№	Массовая концентрация элементов, %					
	Si	Mo	Cr	Mn	Ni	Fe
1	0,70	-	7,10	1,00	3,70	Ост.
2	1,07	0,42	19,20	0,97	9,34	Ост.
3	1,07	0,74	18,92	0,74	9,31	Ост.

Вид дефектов в сварном соединении

