

Справочник по ВИГ-сварке
в узкощелевую разделку

2014 - Оригинальное издание, Polysoude Nantes France SAS (г. Нант, Франция)

Фотографии, схемы и чертежи предназначены для обеспечения лучшего понимания и, следовательно, не являются частью договора.

Все права защищены. Запрещено любое воспроизведение, полное или частичное, настоящего документа, в любой форме или какими бы то ни было средствами, электронными или механическими, в том числе с помощью фотокопирования, записывающих устройств или компьютерной техники, без письменного разрешения издателя.

Напечатано в Москве.

Опубликовано компанией Polysoude, г. Нант, Франция

www.polysoude.com

info@polysoude.com



СОДЕРЖАНИЕ

1. Введение	5
2. Требования к ВИГ-сварке	6
3. ВИГ-сварка на высоких токах	6
3.1. Общая информация	6
3.2. Особенности оборудования	7
3.3. Сварочные токи	7
4. Применения	10
4.1. Граница рентабельности сварки в узкощелевую разделку	10
4.2. Толщины от 30 до 300 мм	12
5. Конструкция горелки	14
5.1. Горелки для сварки в узкощелевую разделку NG-V2 и -V3	16
5.2. Горелки для сварки в узкощелевую разделку NG-7	17
5.3. Горелки с колеблющимся электродом NG-OSC для сварки в узкощелевую разделку	19
5.4. Интеграция видеосистемы	19
5.5. Специальный случай стандартных горелок с приводом сопла	22
5.6. Тестирование горелок для сварки в узкощелевую разделку NG	23
6. Техника сварки горелками NG	24
6.1. ВИГ-сварка с подачей "горячей" и "холодной" проволоки	25
6.2. Техника заполнения разделки	26
6.3. Однопроходная сварка в узкощелевую разделку	26
6.4. Сварка в узкощелевую разделку с выполнением одного или нескольких ниточных проходов за слой	27
6.5. Однопроходная сварка в узкощелевую разделку с колебаниями	28
6.6. Многопроходная сварка в узкощелевую разделку с колебаниями	29
7. Разработка технологии сварки в узкощелевую разделку	30
7.1. Корневой проход	30



7.2.	"Сглаживающие" проходы	35
7.3.	Заполняющие проходы	36
7.4.	Завершающие заполняющие проходы	37
7.5.	Облицовочный проход	37
7.6.	Ремонт и низкопроизводительные режимы	39
7.7.	Трудности и вынесенные уроки	39
8.	Выбор оборудования	43
8.1.	Толщина менее 45 мм	44
8.2.	Толщины до 100 мм	45
8.3.	Толщины свыше 100 мм	45
8.4.	Роботизированные решения	46
9.	Выводы	47
10.	Приложение 1 - Разработка методологии однопроходной сварки в узкощелевую разделку	49
11.	Приложение 2 - Сварочная усадка	52

1. Введение

Повышенные требования к качеству и производительности сварки заставляют промышленные предприятия внедрять автоматические процессы.

Однако, к данным первостепенным задачам добавляются такие вопросы, как контроль энергопотребления, повторяемость сварных соединений и даже их эстетический вид.

Многолетнее развитие ВИГ-сварки показывает, что данный процесс не только широко используется, но также имеет технологические ограничения по сравнению с относительно новыми процессами: лазерной и электроннолучевой сваркой.

Эффективность производства сварных соединений в отношении контроля ванны во всех пространственных положениях является началом многих автоматических процессов, включая орбитальную сварку.

Этот способ получил широкое распространение после создания множества установок, которые утвердили ВИГ-процесс в качестве реальной альтернативы для автоматической сварки широкого спектра материалов.

Усилия, приложенные для улучшения дизайна установки (уменьшение размеров и массы, улучшенная прочность, увеличенная ПН), упростили эксплуатацию и сервисное обслуживание оборудования.

Преимущества ВИГ-сварки позволили не только автоматизировать процессы, которые раньше выполнялись вручную, но также стали отправной точкой для применений, где необходимо работать с заготовками больших размеров.

Разработки по созданию источников питания большой мощности, применение дополнительных функций, таких, как использование горячей проволоки или подача двух проволок, создание специальных инструментов, например, горелок для наплавки или сварки в узкощелевую разделку решительно расширили поле для применения ВИГ-сварки.

В настоящее время стало возможно производить сварку заготовок толщиной от 30 до 300 мм, имея при этом значительные преимущества по сравнению с другими предлагаемыми на рынке процессами.

Применение ВИГ-сварки к большим толщинам не требует специальных знаний по выбору и использованию оборудования, а также по подготовке изделия и применения техники сварки.



2. Требования к ВИГ-сварке

При применении ВИГ-сварки к толстостенным заготовкам необходимо учитывать некоторые технологические факторы:

- Получение высокого качества шва;
- Подходящая подготовка (допуски, состояние поверхности, очистка);
- Материалы и способ производства заготовки;
- Меры подготовки (защита от влаги, сквозняка);
- Техническая возможность применять автоматический процесс;
- Выбор ВИГ-сварки является компромиссом между уровнем качества, производительностью, металлургией и т.д.

При выполнении этих условий технологию можно применять во многих отраслях промышленности, например, в энергетике (строительство ГЭС, ТЭЦ, АЭС), нефтехимии, металлообработке, а также при производстве и ремонте толстостенных труб.

3. ВИГ-сварка на высоких токах

3.1. Общая информация

Основные принципы ВИГ-сварки не изменяются независимо от свариваемой толщины стенки изделия.

ВИГ-сварка - это процесс, характеризующийся возбуждением электрической дуги в нейтральной атмосфере между тугоплавким (вольфрамовым) электродом и заготовкой. Электрод способен противостоять высокой температуре дуги, и благодаря специальной заточке направлять дугу в зону плавления для создания сварочной ванны, в которую подается присадочная проволока. Сварка возможна благодаря нейтральной газовой атмосфере, создаваемой вокруг дуги и ванны расплавленного металла.

Особенно высокие сварочные токи необходимы для сварки толстостенных изделий, поэтому нужно применять соответствующие вольфрамовые электроды (диаметром от 3,2 до 4,0 мм)

Важно знать, что при работе на высоких токах при поджиге дуги необходимо использовать плавное нарастание тока, это также касается управления синхронизацией других функций (АРНД, линейная осцилляция, подача проволоки, управление током горячей проволоки).

Для обеспечения функции подачи горячей проволоки используется дополнительный встроенный источник питания, который отвечает за нагрев проволоки посредством Джоулева эффекта (сопротивлением). Ток от этого источника питания не производит расплавление проволоки, но значительно снижает количество теплоты дуги, которое идет на плавление проволоки. Таким образом, обеспечивая относительную независимость между коэффициентом наплавки и энергетическими параметрами ВИГ-дуги. Для сварки больших толщин в большинстве случаев используются высокие импульсные токи.

3.2. Особенности оборудования

Базовый набор оборудования включает в себя источник питания большой мощности (максимальный ток от 300А до 450А), внешний блок охлаждения и опора (консольная балка, орбитальная головка, робот и т.д.), оснащенная специальной горелкой.

В источниках питания для ВИГ-сварки всегда применяется прямая полярность, т.е. электрод подсоединяется к отрицательному терминалу источника.

Источники питания, используемые в ВИГ-сварке имеют падающие ВВАХ для обычно используемых напряжений (от 9В до 18В).

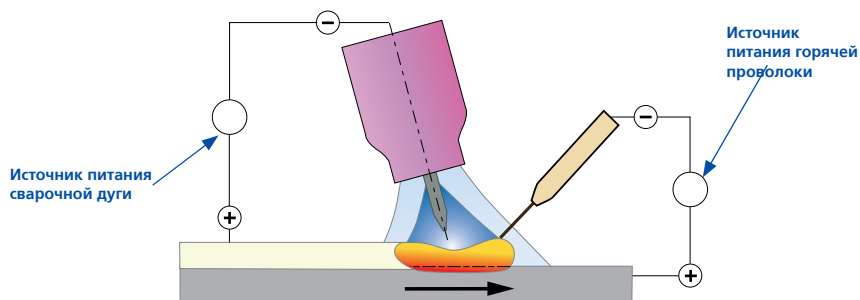


Рис.1: Схема ВИГ-сварки с подачей горячей проволоки. Электрод и присадочная проволока имеют отдельные источники питания, несмотря на то, что оба являются катодами.

С этим типом характеристики, которая обычно применяется для ВИГ-сварки, сварочный ток может оставаться постоянным, несмотря на изменения длины дуги.

Сварочные источники постоянного тока, используемые для подогрева проволоки, имеют идентичную технологию, но более низкую мощность (150А при ПН100%). Проволока имеет отрицательную полярность, как и сварочный электрод.

Однако, для подогрева проволоки можно использовать источники переменного тока. В этом случае выходной ток немного выше (около 250 А при ПН100%).

Что касается сварочного тока, то для нагрева проволоки часто используется импульсный ток. Этот импульс синхронизирован с импульсом сварочного тока. Импульсы тока, в свою очередь, синхронизируются с импульсами подачи проволоки.

3.3. Сварочные токи

ВИГ-сварка больших толщин возможна как в поворотном (нижнем), так и в неповоротном положении, если заготовку нельзя вращать (орбитальная сварка).

Технологическая сложность, связанная с положением при сварке, а также необходимость использовать высокие токи практически исключает применение



неимпульсного постоянного тока (за исключением сварки горизонтальных швов и сварки в нижнем положении). С другой стороны, при высоких скоростях подачи проволоки в импульсе ограничиваются пределы регулировки тока импульса. Ток импульса должен обеспечивать контроль за относительно большой сварочной ванной.

Следовательно, для сварки корневого прохода, применяются обычные настройки, а также параметры формы тока (см. руководства по наплавке и орбитальной сварке), однако, для сварки заполняющих слоев рекомендуется придерживаться следующих правил.

3.3.1. Однопроходная сварка

Термические формы тока (особенно, моноимпульс) выбираются предпочтительно с частотой от 2 (оптимально) до 1,5 импульсов в секунду.

Более высокая частота импульса не может использоваться, т.к. она делает невозможной синхронизацию механических перемещений слайдов с АРНД и подачей проволоки. Более низкая частота может стать причиной образования пор во время паузы в случае неправильной комбинации с подачей проволоки.

Амплитуды тока между периодами импульса и паузы варьируют от 100А до 150А. Предпочтительна синхронизация АРНД по паузе, а время импульса не должно быть больше 50% времени цикла.

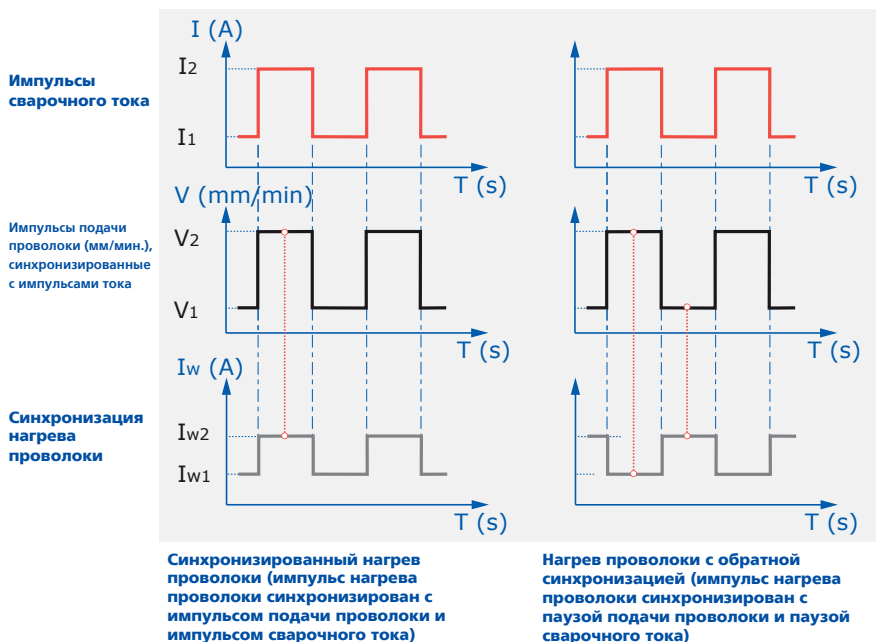


Рис. 2: Синхронизированный нагрев проволоки и нагрев с обратной синхронизацией

Обратите внимание, что для очень высоких плотностей сварочного тока и очень широких настройках амплитуд ВИГ-дуги для нагрева присадочной проволоки часто используется обратная полярность.

Это объясняется влиянием сварочного тока высокой плотности. Он может нарушить настройки тока нагрева присадочной проволоки (нарушается контакт проволоки со сварочной ванной) при каждом импульсе.

3.3.2. Двухпроходная или многопроходная сварка

Этот способ заключается в выполнении нескольких проходов в одном слое (см. ниже). Принципы идентичны выполнению одного прохода за слой, но осуществляется на меньших токах.

3.3.3. Проходы с колебаниями

Проходы с колебаниями выполняются при сварке толстостенных изделий с использованием колеблющегося электрода.

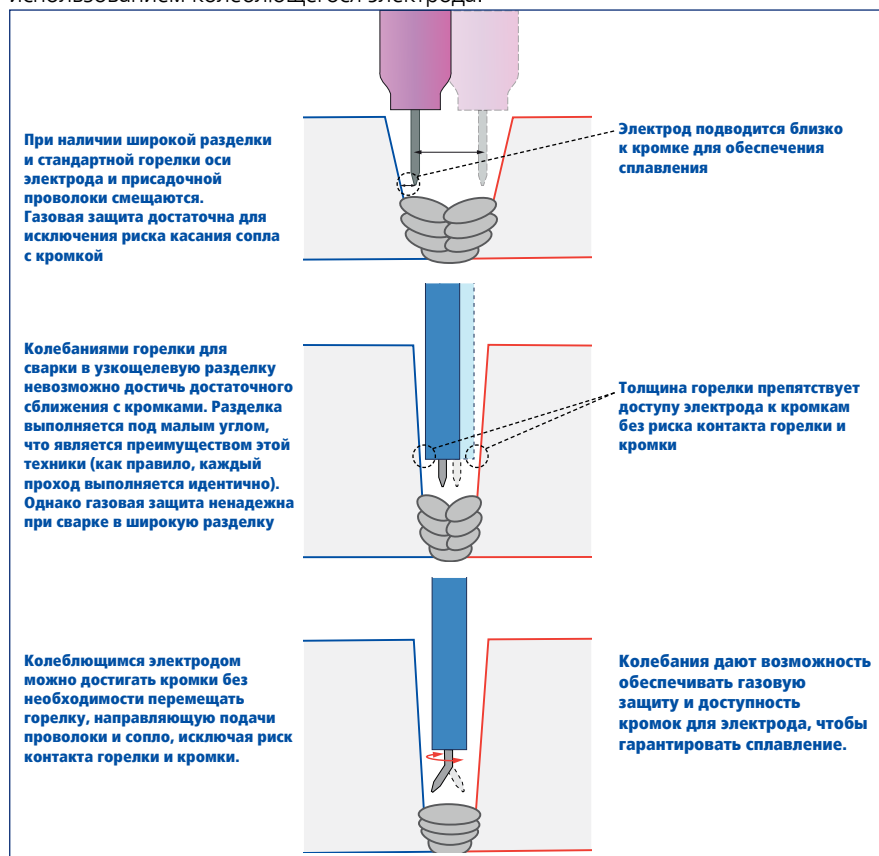


Рис. 3: Принцип и преимущества сварки колеблющимся электродом



Электрод совершает поперечные колебания на облицовочном проходе. Однако, на других проходах может применяться круговое движение.

Данная технология сварки сравнима с обычной орбитальной сваркой в импульсном режиме с синхронизацией сварочного тока с колебаниями.

В такой ситуации возможна сварка с применением неимпульсного тока, и средние токи, как правило, значительно ниже, чем при однопроходной сварке. Обычно используется электрод диаметром 3,2 мм (средний ток 250-300 А при ПН100%).

Время задержки на кромках варьирует от 0,3 до 0,6 с. Предпочтительно иметь активную АРНД при переходе от кромки к кромке.

Активирование АРНД возможно при переходе между кромками и на самих кромках, однако, это сложнее, поскольку существует риск некорректной центровки электрода.

Нагрев проволоки с обратной синхронизацией не используется в данном способе сварки.

4. Применения

Производительность - это вопрос, который неизменно движет развитие узкощелевой ВИГ-сварки. Однако, для того, чтобы выбрать технологию сварки, должны быть заранее известны ее сильные и слабые стороны.

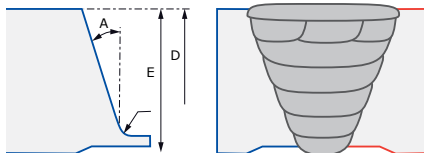
Выигрыш в производительности – значительный и увеличивается пропорционально толщине свариваемого изделия. Но все-таки очень важно оценить ограничение, до которого издержки сварки в узкощелевую разделку превосходят выгоды.

4.1. Граница рентабельности сварки в узкощелевую разделку

На первый план при анализе этого вопроса выходят несколько решающих факторов, и финальный выбор должен учитывать относительность между различными ситуациями.

Рентабельность видна из сравнительного теста. Для толщин от 12 до 15 мм увеличение в производительности между сваркой в стандартную разделку (угол приблизительно 20 градусов) и сваркой в узкощелевую разделку не значительно. Рентабельность увеличивается при толщине от 55 до 60 мм.

Стандартная технология сварки трубы Ø 168x3 мм

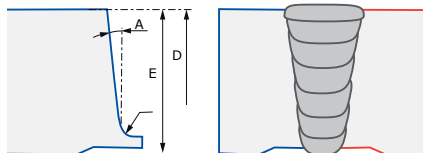


Техника: выполнение каждого слоя за один проход с поперечными колебаниями.

От 15 мм: амплитуда колебаний становится широкой.

От 20 мм: целесообразно изменить угол разделки (с 12 на 10 градусов). Следовательно, сплавление кромок становится сложной задачей. Двусторонняя разделка может быть использована до 30 мм с выполнением каждого слоя за один проход с колебаниями и после этого многопроходная техника (технология заполнения зависит от квалификации оператора).

Технология сварки трубы Ø168x3 мм в узкощелевую разделку



Техника: один ниточный шов за проход (и два прохода-сплавления)

При контроле усадки технология заполнения остается такой же.

По сравнению с обычной сваркой производительность увеличивается только от толщины, когда выполнение нескольких проходов в одном слое становится неизбежным.

Технология с колебаниями				Технология сварки в узкощелевую разделку	
Диаметр трубы - D - (мм)	Толщина - E - (мм)	Угол разделки - A - (°)	Время цикла (мин)	Угол разделки - A - (°)	Суммарное время цикла (мин)
168	13	20	35	10	45
270	28	15	135	4	110
270	25	37/10°	190	/	/

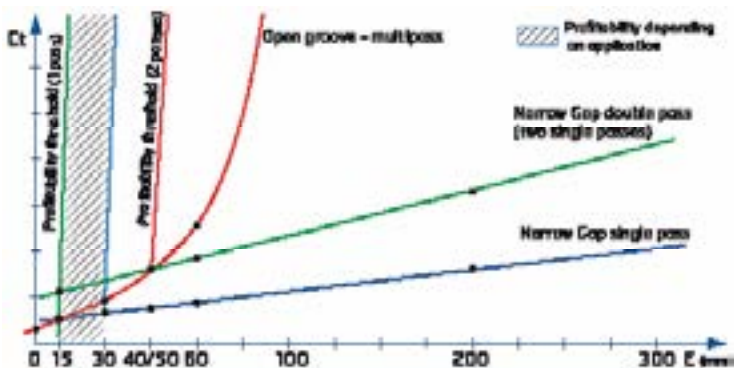


Рис. 4: Предел рентабельности сварки в узкощелевую разделку



4.2. Толщины от 30 до 300 мм

При толщинах выше 30 мм, кроме специальных случаев сварки деталей единичного производства, должна быть использована технология сварки в узкощелевую разделку.

Чтобы выбрать технологию сварки в узкощелевую разделку должны быть приняты во внимание трудности, относящиеся к материалам и другие технологические ограничения.

**Свариваемые
толщины, мм**

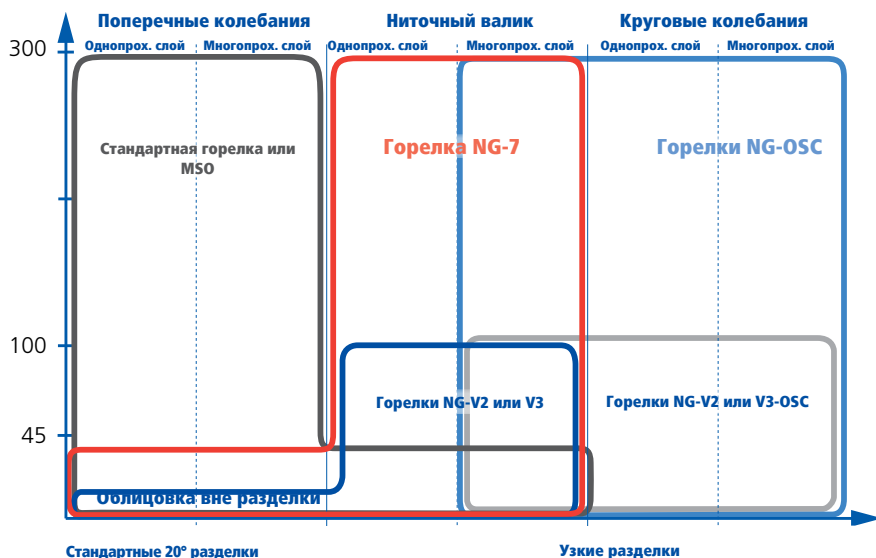
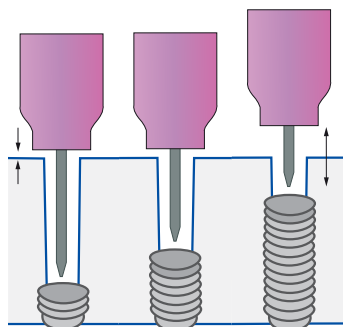


Рис. 5: Горелки для сварки толщин от 0 до 300 мм и более толстых

Сегодня Полисуд имеет широкую линейку горелок для сварки в узкощелевую разделку для всех толщин от 30 до 300 мм (по специальному запросу - для более толстых стенок).

Сварочные горелки подбираются в соответствии со свариваемыми толщинами и на основании технологических ограничений применения.

Каждая горелка может использоваться для сварки всего стыка, начиная от корня (максимальное погружение горелки в разделку) и заканчивая сваркой облицовки.



Узкощелевая разделка:

- Установка "вылета" электрода
- Настройка положения присадочной проволоки
- Минимальный "вылет" электрода от 15 до 20 мм можно не изменять при выполнении последнего заполняющего прохода, а затем облицовки (т.к. – внутренний диаметр сопла 19 мм для расхода от 22 до 30 л/мин).



Рис. 1: Стандартная горелка

При сварке толщин 0 до 45 мм, вылет электрода стандартной горелки должен составлять от 5 до 10 мм.

Так называемые «стандартные горелки», фактически, являются универсальными, и подходят для всех видов работ.

Категория «переходных» горелок, которые называются V2 и V3, применяется для изделий толщиной от 0 до 100 мм. Эти горелки имеют такие особенности, как изоляция и лучший подвод газа к корню шва.

При глубине погружения горелки в разделку более 45 мм к этим соплам присоединяется съемная сборка для подачи охлаждающего газа для выполнения шва целиком (включая облицовочный проход с колебаниями).



Рис. 7: Горелка NG-V2 или V3 для толщин от 0 до 100 мм



Для толщин от 0 до 150 мм, от 0 до 250 мм и, наконец, от 0 до 300 мм также доступна линейка горелок со съемной сборкой охлаждающего газа для всех проходов: от корня до облицовки.



Рис.8: Модуль горелки NG - толщины свариваемых заготовок до 250 мм

Все решения для сварки в узкощелевую разделку (т.е. от 0 до 100 мм сопла V2 и V3, горелки NG от 0 до 150 мм, от 0 до 250 мм и от 0 до 300 мм) представлены в исполнении с закрепленным или с колеблющимся электродом.

5. Конструкция горелки

Конструирование горелки для сварки в узкощелевую разделку является ключевой стадией в создании и популяризации сварки в узкощелевую разделку.



Рис. 1: многочисленные требования к конструкции горелки

Предпочтение одного из аспектов может разрушить всю концепцию и сделать систему недееспособной



Рис. 10: Принцип сбалансированной конструкции

Необходимо отметить, что горелка – это эффективный инструмент, когда ее конструкция обеспечивает хорошо сбалансированный ответ различным функциональным ограничениям, налагаемым условиями работы.

Ниже представлены несколько основных параметров, которые оказывают влияние на конструкцию горелки:

- Гарантированный выходной ток от 350 до 400 А при ПН100%.
- Работоспособность при межпроходной температуре до 350°C.
- Как можно более тонкая (от 6 до 7 мм для исполнения с закрепленным электродом и не более 10 мм для исполнения с колеблющимся электродом).
- Быстрый доступ для замены электрода (от Ø3.2 до Ø4 мм).
- Обеспечить надежную газовую защиту, совместимую с применениями на нелегированной, низколегированной и высоколегированной сталях или никелевых сплавах.
- Необходимость полной изоляции в случае контакта горелки с кромками разделки.
- Надежность при работе в данных условиях.
- Легкость и пригодность для применения в орбитальной сварке.
- Возможность исполнения для сварки толщин до 300 мм.
- Совместимость с «горячей проволокой» (двойная изоляция).



- Возможность применять диаметр присадочной проволоки от 0.8 до 1.2 мм.
- Возможность встроить видеосистему с двумя камерами. Спереди – между проволокой и электродом, т.е. мониторинг длины дуги и подачи проволоки), и сзади – для мониторинга сплавления с кромок.

5.1. Горелки для сварки в узкощелевую разделку NG-V2 и V3

Горелки V2 и V3 созданы по принципу стандартных горелок.

Металлическое сопло имеет специальную форму, чтобы гарантировать удовлетворительный уровень газовой защиты.

Преимущество этих горелок –надежная конструкция, простота в использовании и минимальное техническое обслуживание.

Их использование, однако, ограничено 100-миллиметровой толщиной заготовки из следующих соображений.

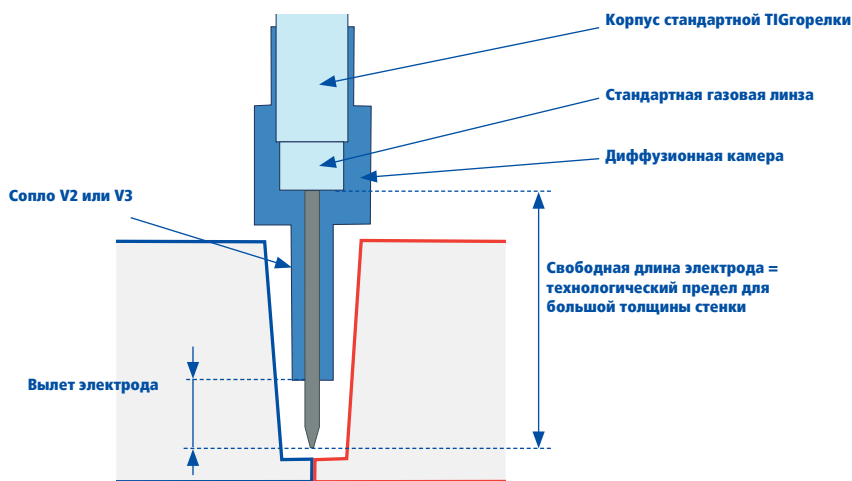


Рис. 11: Конструкция горелок V2 и V3

- ▶ При большей толщине стенки вылет электрода увеличивается, и, как следствие, он сильнее нагревается. Поэтому электрод должен иметь больший диаметр по сравнению со стандартным процессом.
- ▶ Трудности с точным подводом электрода.
- ▶ Необходимость отрезать электрод определенной длины.

Необходимо заметить, что сопла NG-V2 и V3 изготовлены из материала, содержащего медь, имеют собственный тракт охлаждения и ширину 7.8 мм при токе 350А и ПН100% для диаметра вольфрамового электрода 3.2 мм.

По запросу может быть изготовлено специальное хромированное исполнение (в случаях, когда контакт медных изделий и кромок воспрещен).

По запросу также возможен выпуск сопел шириной 9 мм в случаях, когда требуется выполнить несколько проходов в одном слое или когда необходимо использовать электрод диаметром 4 мм.

Эти сопла изолированы от корпуса горелки таким образом, что они могут касаться кромки разделки без риска короткого замыкания.



Рис. 12: Горелка для сварки в узкощелевую разделку

5.2. Горелки для сварки в узкощелевую разделку NG-7

Эти горелки построены на принципах, отличных от V2 и V3.



Рис. 13: Горелки NG-7 (толщина 7 мм) с изолированным сварочным копьём

Благодаря своей конструкции они могут гарантировать максимальную нагрузку в независимости от глубины разделки, а также в условиях предварительного подогрева до температуры 350°C.

Горелки состоят из электрододержателя, который изолирован от других частей корпуса горелки, поэтому контакт между соплом и разделкой не создает короткого замыкания.

Основная характеристика этих горелок – конструктивная толщина ограничена 7 мм.

На основании вышесказанного можно утверждать, что эти инструменты подходят для применения в самых сложных случаях сварки в узкощелевую разделку.

Поэтому они могут использоваться в разделке шириной 8.5-9 мм и дают возможность с помощью горячей проволоки выполнять однопроходную сварку во всех пространственных положениях.

Для точности ввода горелки в узкощелевую разделку и ее позиционирования по разделке горелки NG-7 часто оснащаются направляющим механизмом.



Для применения в орбитальной сварке горелки оснащаются локаторами – устройствами для центровки горелки по разделке.

Горелка устанавливается на плавающее устройство трехосевого суппорта, чтобы была возможность предотвратить касания с разделкой.

Расстояние между корпусом горелки и стенками разделки очень часто менее 1 мм.

В конфигурации с поворотными трубами локаторы заменяются боковым устройством слежения.

В этом случае горелка устанавливается свободно (с обратной пружиной на ось перпендикулярную движению подачи проволоки).

С этой конфигурацией кромка может быть взята в качестве базовой точки слежения, и в отличие от первого устройства могут быть выполнены несколько валиков смещенных относительно центра.

Поэтому этот тип устройств слежения устанавливается на механический слайд для обеспечения регулировки электрода относительно базовой точки.

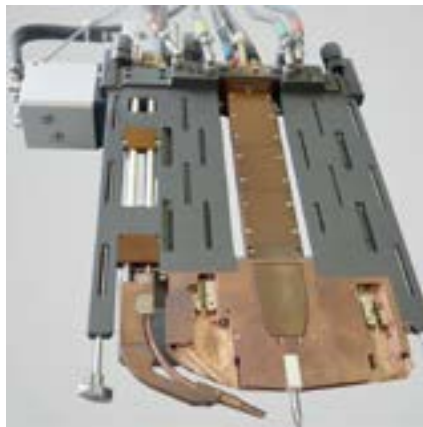


Рис. 14: Горелка NG-7 с самоцентрирующими устройствами, вмонтированными непосредственно в корпус горелки. Они автоматически центрируют электрод по разделке. Горелка установлена на плавающем устройстве суппорта (трехосевое движение). Это устройство не позволяет смещать горелку (при необходимости нужно снять центраторы и зафиксировать оси в смещенном положении)



Рис. 15: Горелка NG-7 и система бокового слежения. Система слежения позиционирована позади горелки и принимает кромку трубы в качестве базовой точки. Это приспособление используется для сварки заготовки, вращающейся на поворотном столе, или когда требуется смещение по отношению к оси симметрии разделки (слой, состоящий из нескольких проходов)

5.3. Горелки с колеблющимся электродом NG-OSC для сварки в узкощелевую разделку

Эти горелки подобно горелкам NG-7 изолированы от разделки.

Электрод и проволока колеблются, совершая круговые движения.

Индивидуальный привод синхронизирует движения электрода с движениями проволоки.

Механизм позволяет устанавливать различную амплитуду между движением проволоки и электрода.

Горелки могут использоваться для сварки с колеблющимся электродом или просто для сварки ниточных валиков с автоматической установкой электрода.

Из-за сложности, связанной с управлением движениями осцилляции, минимальная толщина горелки в настоящее время 10- мм.

Гибкость горелок NG-OSC нивелируется ее недостатками: она тяжелее и занимает больше рабочего пространства.

Рекомендуется использование боковых систем слежения. Адаптация амплитуд колебания к разностям или изменениям ширины разделки снижет ограничение по прохождению по разделке и дает возможность ручной перенастройки центровки посредством слайда осцилляции.



Рис. 16: Горелка NG-OSC. Электрод прикреплен к вращающемуся сварочному копы, которое проходит через весь корпус горелки и изолировано от него. Проволока синхронизируется с электродом посредством либо второго мотора, либо с помощью зубчатого рычажного механизма. В обоих случаях выполняются круговые движения. Амплитуды могут регулироваться, возможна установка дифференциала, чтобы амплитуду проволоки можно было регулировать отдельно.

5.4. Интеграция видеосистемы

Уменьшение количества наплавленного металла, являющееся главной целью сварки в узкощелевую разделку, выявляет несколько практических трудностей, включая недостаток обзора для оператора во время сварки.

Эти трудности объясняются сочетанием различных факторов, которые немного изменяются в зависимости от конкретного применения, но включают:

- ▶ Ширина разделки обычно между 10 и 20 мм при глубине от 100 до 300 мм.
- ▶ Сварка на плоских листах или заготовках большого диаметра, когда обзор в плоскости горелки практически невозможен.
- ▶ Предварительный подогрев, который очень часто используется при сварке толстостенных заготовок.

В добавление к этим техническим аспектам, также целесообразно удалить оператора от дуги, излучающей высокую радиацию из-за применения высоких токов, в более комфортное место.



Чтобы остаться совместимым с промышленным оборудованием и исключить перегрузку инструментов, можно встроить видео систему в горелку, и не будет необходимости встраивать внешние громоздкие камеры.

Ограничения особенно касаются с одной стороны электромагнитной совместимости, чтобы предотвратить взаимовлияние магнитных полей, и с другой стороны – термической устойчивости рабочей среде.

Что касается контроля охлаждения видеосистемы, то датчики должны быть изолированы и одновременно защищены от изменений температуры. С внешней стороны датчики подвержены тепловому воздействию со стороны нагретой заготовки, а с внутренней – тепловому воздействию со стороны горелки, которая нагревается из-за применения высоких токов в автоматической сварке.

Обычной практикой является использование оборудования на токах 350А при ПН 80%.

Конечные цели в случаях с использованием видеосистемы могут быть обобщены согласно их главным функциям:

- ▶ Обеспечить обзор спереди – между электродом и проволокой.
- ▶ Обеспечить обзор сзади под наименьшим углом, чтобы можно было видеть сплавление с кромками.
- ▶ Однако камеры не должны препятствовать прямому обзору
- ▶ Польза увеличения изображения спереди, которое сходно с изображением сзади, несмотря на разные положения камеры.
- ▶ Фильтр, чтобы обеспечить, по меньшей мере, вид спереди с дугой и без.
- ▶ Наличие фокусирующего устройства.
- ▶ Наличие функции охлаждения, совместимой с рабочей температурой CCD, которая не превышает 50°C.
- ▶ Получение возможно широких углов обзора, совместимых с мониторингом выполнения облицовочного прохода, без виньетирования (уменьшение поля изображения вследствие присутствия постороннего объекта, такого как горелка в разделке или окна, поддерживающие фильтры и т.д.).
- ▶ Уровень промышленной интеграции позволяет избежать повреждений при работе.

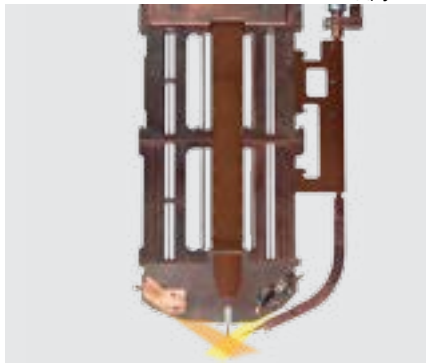


Рис. 17: Интеграция CCD камеры в горелки NG-7 и NG-OSC .

Передняя камера оборудована отодвигаемым фильтром (просмотр с и без дуги). У задней камеры постоянный фильтр. Обеспечивается волоконно-оптическое освещение.

Камера устанавливается в верхнюю часть горелки, тогда как линза расположена в нижней части, рядом с призмой, которая обычно изготавливается для соответствия угла обзора архитектуры горелки.

Оптическое устройство, изготавливаемое под заказ, передает изображение между линзами и прибором с зарядовой связью (ПЗС). Спереди на корпусе горелки установлено возвращающее устройство, чтобы переключать режимы «сварка»-«без сварки».

Выбор автоматического режима или непосредственно программируется и управляется сварочной программой, как и любая другая функция, или синхронизируется с подачей защитного газа.

Освещение, требуемое для обзора в режиме «без сварки», осуществляется внешним источником света (высокомощным светоизлучающим диодом – СИД), который монтируется на машину (орбитальная головка, сварочная консоль или другое положение) и подводится к концу горелки через оптоволокно в ее корпусе.

Эффект тени предотвращается организованным распределением источников света, расположенных как спереди, так и сзади.

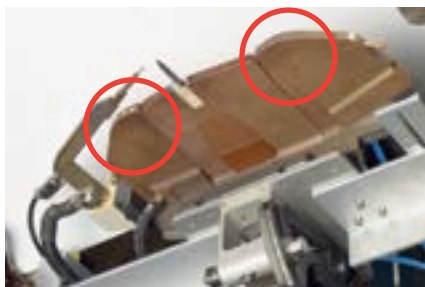


Рис. 18: Горелки V2 и V3 с установленной ПЗС-камерой

Для сварки горелками NG-V2 и V3 толщин более 100 мм доступны упрощенные версии.

В этом случае видеосистема не является необходимой, но она может быть приобретена опционально. Обзор обеспечивается менее интегрированными, но более универсальными модулями, т.к. они используются с несколькими типами горелок.

Система охлаждения имеет более низкий уровень интеграции.

Однако, эти модули используют технологию жидкокристаллического фильтра, похожую на ту, которая применяется в сварочных масках, обеспечивая тем самым наибольший комфорт и более гибкую настройку изображения.

Заметьте, что технологии, применяемые для уменьшения картинки, не позволяют использовать технологию кристаллического фильтра в корпусах горелок от 150 до 300 мм.

Как показано выше, каждая технология, применяемая в сварочной горелке должна удовлетворять определенным требованиям конструкции, что приводит к характеристикам с изменяемым пределом толщины.

Ограничения по конструкции нужно сравнить со сварочными ограничениями, присущими различным технологиям.



5.5. Специальный случай стандартных горелок с приводом сопла

В данном случае сварки толстостенных заготовок, когда требуется применять горелки для сварки в узкощелевую разделку совместно с видеосистемой, вылет электрода – это важный параметр, который должен отслеживаться.

Т.к. угол обзора передней и задней камеры неизменны (чтобы ограничить вмешательство оператора), электрод всегда должен располагаться одинаково, чтобы сварочная ванна была в центре изображения на экране.

Вылет электрода в горелках для сварки в узкощелевую разделку всегда одинаковый и зависит от конструкции горелки. Следование этому правилу гарантирует:

- ▶ Поле изображения камер.
- ▶ Точку ввода проволоки (и диапазон ее регулировки).
- ▶ Качество защиты (в соответствии с рекомендуемым расходом газа).

Когда применяется охлаждение корня, вылет должен контролироваться на всех проходах (от корня до облицовки).

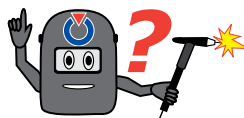
Когда свариваемая толщина менее 45 мм, проще использовать стандартные горелки, где только электрод и направляющая проволоки помещается в разделку.

В таких конфигурациях обычно необходимо убедиться, что расстояние между поверхностью заготовки и керамическим соплом не превышает 10 мм во избежание влияния сквозняков.

Для того, чтобы удовлетворить это требование вылет электрода должен изменяться примерно каждые четыре заполняющих слоя. Направляющая подачи проволоки, соответственно, должна смещаться параллельным переносом.

Точно также при использовании охлаждающего газа рекомендуется

регулировать его вертикальное положение как можно чаще (каждые 2-3 прохода), чтобы обеспечить постоянную защиту надлежащего качества.



*Регулировки
во время*

сварки:

- Использование шестигранников для настройки стандартной горелки, горелок NG-V2 (V3), NG-7 и NG-OSC
- Настройка подачи охлаждающего газа



Со стандартной горелкой без видеосистемы, вылет электрода должен быть отрегулирован, чтобы избежать изменения газового потока. С горелкой для сварки в узкощелевую разделку вылет изменяется, но для завершающих 45 мм нужно будет либо заменить горелку на стандартную, либо использовать подачу охлаждающего газа и регулировать ее каждые два-четыре прохода

Вышеперечисленные настройки могут осуществляться во время смены электрода. В специальных случаях при сварке изменяемых толщин или высокой степени автоматизации при использовании стандартных сварочных горелок, возможно использовать программируемую приводную горелку, что дает двойное преимущество: с одной стороны – работа без операторов, и с другой – гарантия центровки электрода для того, чтобы была совместимость с ориентацией видеосистемы. В некоторых случаях может быть необходимо использовать привод для устройства подачи охлаждающего газа.

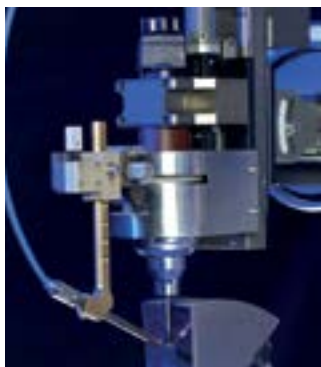


Рис. 19: Горелка MSO. Установка с приводным соплом позволяет избежать ручной корректировки вылета электрода

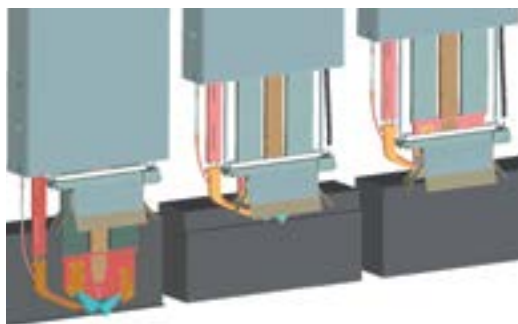


Рис. 20: Приводное устройство для подачи охлаждающего газа. Пример полной автоматизации с приводом устройства подачи охлаждающего газа для последнего заполняющего и облицовочного слоев

5.6. Тестирование горелок для сварки в узкощелевую разделку NG

Горелка – не только самое сложное устройство, но и элемент, который оказывает наибольшее воздействие на качество сварного соединения. Следовательно, были разработаны методы тестирования для проверки главных функций, которые могут повлиять на результаты сварки.

Должны учитываться два главных фактора:

- Нагрузка.
- Качество защиты шва.

Тестирование каждой новой горелки выполняется в отношении таких функций, как видеосистема и газовая защита.

Более объёмные тесты выполняются для линейки горелок или в результате внедрения технологических новшеств.

Когда горелка проверена и оттестирована, результаты распространяются на всю линейку изделий для того, чтобы снизить время и расходы на разработку.

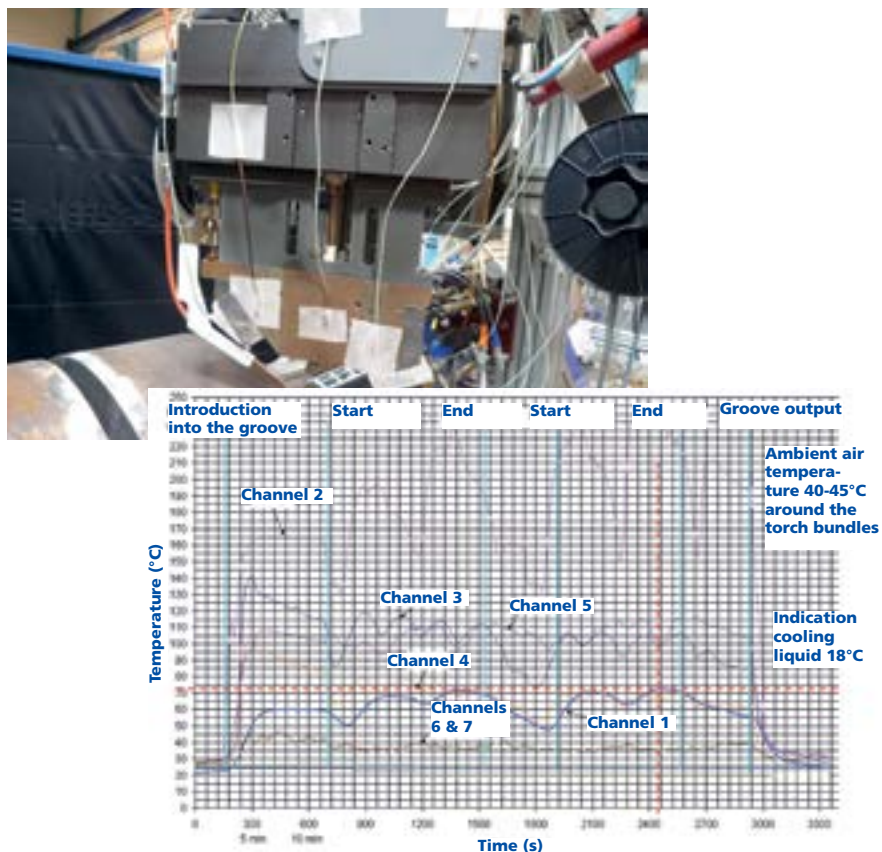


Рис. 21: Горелка с установленными на нее датчиками и кривые измерения температуры

6. Техника сварки горелками NG

В настоящее время больше не существует технологических препятствий в использовании горелок для сварки в узкощелевую разделку применительно к толщинам от 30 до 300 мм.

Это означает, что операторы могут выбирать технику сварки безотносительно к технологии, продукту или поставщику.

Технологический барьер отсутствует и должен рассматриваться один технологический критерий.

Основываясь на этом факте, какие альтернативы, особенности, сильные и слабые стороны существуют в каждой методологии?

6.1. ВИГ-сварка с подачей «холодной» и «горячей» проволоки

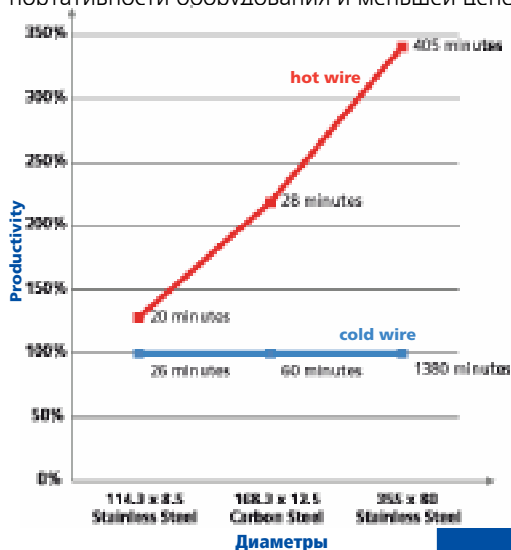
Первый выбор, который необходимо сделать в ВИГ-сварке – это использование холодной или горячей присадочной проволоки.

Сварочные источники с функцией горячей проволоки обычно имеют более высокую нагрузку с возможностью использовать токи до 450 А.

По сравнению с холодным процессом горячий имеет огромное преимущество, он также все чаще используется для сварки толщин более 10 мм.

Источники питания для сварки горячей проволокой универсальны, и могут использоваться также для сварки холодной проволокой.

Единственное преимущество сварки холодной проволокой может заключаться в портативности оборудования и меньшей цене.



Однако, оборудование для ВИГ-сварки с подачей холодной проволоки нельзя применять для однопроходной сварки нелегированных сталей. Это применение требует высокий ток импульса (близкий к 350 А) для обеспечения достаточно

мощной дуги и предотвращения таких дефектов, как несплавления. Следовательно, ВИГ-сварка в узкую разделку с подачей холодной проволоки

Рис. 22: Сравнение производительности ВИГ-сварки с подачей холодной и горячей проволоки

		Диаметр		
		114,3x8,5 коррозионно-стойкая сталь	168,3x12,5 углеродистая сталь	355x80 коррозионно-стойкая сталь
Производительность	Коэффициент наплавки ВИГ с холодной проволокой	100%	100%	100%
	Коэффициент наплавки ВИГ с горячей проволокой	128%	218%	341%
Время (мин.)	Коэффициент наплавки ВИГ с холодной проволокой	26	60	1380
	Коэффициент наплавки ВИГ с горячей проволокой	20	28	405

применяется при толщинах менее 20 мм для коррозионностойких сталей и благородных сплавов.

Также заметьте, что некоторые менее мощные машины для сварки холодной проволокой не обладают всеми функциями для управления колебаниями

проволоки, а также приводами сопла и направляющей подачи проволоки. Следовательно, случаи, где применяется ВИГ-сварка с холодной проволокой, являются исключением, особенно, если разность в производительности по сравнению с процессом с горячей проволокой – в 2-3 раза.

6.2. Техника заполнения разделки

Технологии сварки отличаются выполнением заполняющих слоев (см. Сравнение техник сварки в узкощелевую разделку).

Необходимо рассмотреть четыре главных подхода и их преимущества:

- ▶ Однопроходная сварка, чтобы обеспечить высокую производительность в всех пространственных положениях, когда усадка полностью контролируется.
- ▶ Несколько ниточных проходов за слой для оптимального контроля сварочной энергии и сложных биметаллических соединений.
- ▶ Однопроходная сварка с осцилляцией в положениях 5GT и 6GT с ограниченными изменениями в ширине – хороший компромисс между производительностью и простотой выполнения.
- ▶ Несколько проходов с осцилляцией в одном слое (используется редко) применяется для адаптации процесса сварки в узкощелевую разделку к существующей подготовке кромок.

6.3. Однопроходная сварка в узкощелевую разделку

ТС помощью этой техники получается наилучший результат, но разработка технологии такой сварки достаточно сложна.

В зависимости от положения сварки, технологии и источника питания

Техника заполнения	Один проход	Осмещенные ниточные валики	 Проходы с колебаниями
Производительность	+++	+	++
Простота выполнения	++	-	+++
Контроль усадки – точность обработки	-	++	+++
Чувствительность к растрескиванию	-	+++	+
Сложность оборудования	+++	++	+
Орбитальная сварка в положении 5G	++	-	+++
Орбитальная сварка в положении 2G-6G	++	++	-

Рис. 23: Сравнение техник сварки в узкощелевую разделку

можно достигнуть скоростей от 15 до 18 см/мин. при сварке нелегированных и низколегированных сталей, а также от 25 до 30 см/мин. при сварке коррозионностойких сталей и благородных сплавов (см. Приложение 1: Развитие методологии однопроходной сварки в узкощелевую разделку).

Эти ограничения касаются сварки на постоянном токе в нижнем или горизонтальном положении в то время, как использование термоимпульса обычно ограничивает скорость между 8 и 12 см/мин. в остальных положениях.

С практической точки зрения ширина разделки не должна превышать 9.5 мм (или 10 мм в нижнем положении при условии, что параметры адаптированы), тогда как требуется минимальная ширина 8 мм, чтобы гарантировать беспрепятственное прохождение горелки (ограничена до 7 мм).

Поэтому сложность состоит в возможности выполнить достаточное количество предварительных тестовых сварок, чтобы гарантировать разброс ширины между кромками в пределах 1,0...1,5 мм.

К счастью, усадка при данной технологии является относительно постоянной величиной и имеет высокую повторяемость от шва к шву. (см. Приложение 2: Сварочная усадка).

Сложности связаны с механической подготовкой кромок, условиями сборки и напряжениями изгиба.

Как правило, если вышеупомянутые напряжения контролируются и уже изучены во время разработки технологии, то однопроходная сварка имеет наилучший результат и проста в исполнении.

Заметьте, что использование стандартной горелки для заполнения последних 45 мм высоты разделки дает большую гибкость и возможность сваривать изделие с шириной разделки 7.5 мм.

6.4. Сварка в узкощелевую разделку с выполнением одного или нескольких ниточных проходов за слой

В этой технике чаще всего применяется два прохода за слой при заполнении и до трёх проходов для последнего заполняющего прохода и облицовки.

Для использования этой техники есть несколько критериев.

Первый относится к энергии сварки. Энергия достаточно высока при однопроходной сварке, что позволяет гарантировать сплавление сразу с обеими кромками.



Рис. 24: Многопроходная сварка загнутым электродом



Выполнение однопроводной сварки не рекомендуется для некоторых видов материалов, склонных к растрескиванию из-за тепловложения и напряжений, возникающих при остывании сварочной ванны (появление «горячих» трещин).

Альтернативой в данном случае будет концентрация дуги на одной кромке при соответствующей корректировке уровня тепловложения.

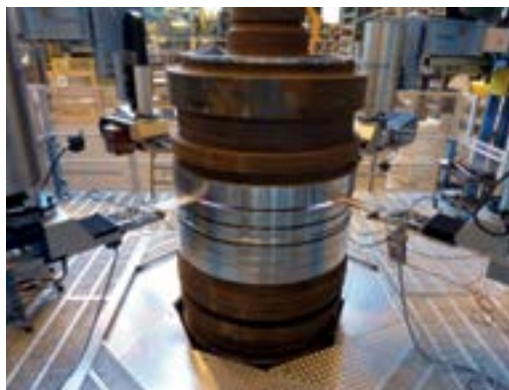


Рис. 25: Сварка двумя горелками. (нижний проход – одной горелкой, верхний проход – второй на 180°). Этим методом возможна сварка без остановок, исключаются угловые смещения (баланс напряжения усадки)

Другой критерий касается контроля сварочной усадки, которая может изменяться из-за допусков на механическую обработку и сборки.

Заметьте, что высокий уровень производительности обеспечивается в нижнем и горизонтальном положении, тогда, как производительность значительно падает при непрерывной сварке во всех пространственных положениях.

Также нужно отметить несколько интересных случаев сварки разнородных соединений, где двупроводная техника обеспечивает лучшую стабильность (разные параметры, выбранные в соответствии с материалом заготовки используются для наплавки переходных слоёв).

Как правило, ширина разделки при сварке варьирует от 10 до 13 мм. Угол разделки, как правило равен углу, который применяется при однопроводной сварке.

6.5. Однопроводная сварка в узкощелевую разделку с колебаниями

Эта сварочная технология наиболее доступна в плане гибкости и производительности.

Использование прохода с колебаниями облегчает настройку параметров, которые, в данном случае, оказывают меньшее влияние на сплавление с кромками.

Единственное ограничение относится к сварке в горизонтальном положении, которую можно выполнять с колебаниями, но она менее производительна. Этот случай также применяется для сварки в промежуточном положении (6G) при ведении мониторинга сварки.

Разделка для однопроходной сварки с колебаниями похожа на ту, которая используется при двухпроходной сварке ниточными валиками (однако, она расширяется до 12-16 мм, а иногда до 18 мм).

В результате этого сходства возможно выполнение двухпроходной технологии, используя горелку с колеблющимся электродом. В этом случае выход оборудования в рабочее положение может быть автоматизирован приводами электрода и проволоки.

6.6. Многопроходная сварка в узкощелевую разделку с колебаниями

Эта сварочная технология используется редко за исключением случаев, когда в наличии имеется оборудование для сварки в узкощелевую разделку и, когда имеющиеся разделки не могут быть изменены.



Рис. 26: Проход, выполненный с колебаниями

Быстрый обзор выбора горелки и технологии сварки

Производительность, контроль усадки, всепозиционная сварка

⇒ **Эффективное решение – однопроходная сварка**

Гибкость и ограниченное изменение ширины разделки во всех положениях (кроме горизонтального)

⇒ **Однопроходная сварка с колебаниями – гибкое и эффективное решение**

Необходимость контролировать тепловложение при сварке сложных биметаллических соединений

⇒ **Многопроходная сварка ниточными швами является альтернативой сварке в узкощелевую разделку**

Уже имеющаяся широкая разделка

⇒ **Выходом может быть многопроходная сварка с колебаниями**

7. Разработка технологии сварки в узкощелевую разделку

7.1. Корневой проход

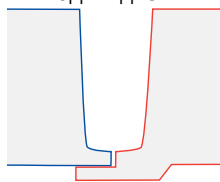
Это один из наиболее тонких шагов.

Необходимо определить случаи, когда сварка может выполняться на подкладке без проникновения. В большинстве случаев подкладка удаляется механическим способом.

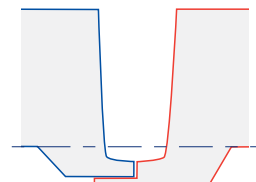
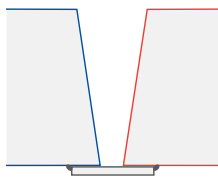
Есть практики, когда корень должен выполняться проплавляющим проходом с обратной стороны. Иногда нужно иметь возможность доступа с обратной стороны для выполнения герметизирующих и ремонтных швов.

И наконец, бывают очень сложные случаи выполнения корневого прохода без доступа изнутри.

Когда применение ограничивает доступ изнутри (малый диаметр трубы или сложная конфигурация изделия), необходимо учитывать конфигурацию На подкладке



Постоянная подкладка



Удаляемая подкладка

С проплавлением и герметизирующим проходом

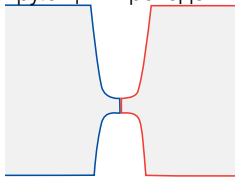
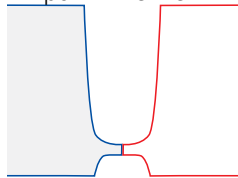
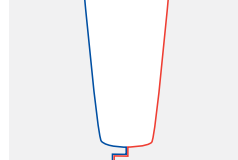
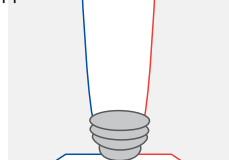
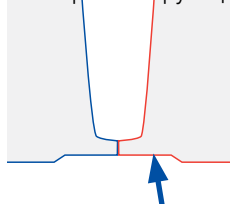


Рис. 27: Различные конфигурации корневого прохода

Без герметизирующего прохода



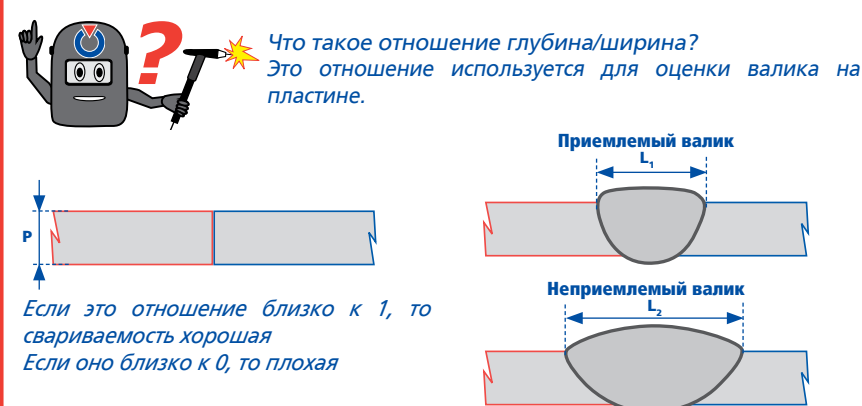
Механическая обработка для совмещения "усов"

Муфтовое соединение (более хрупкое, но эффективное при плохой сборке)

соединения, а также убедиться, что контроль сборки напрямую связан с условиями сварки корневого прохода.

Несколько основных правил для сварки корневого прохода:

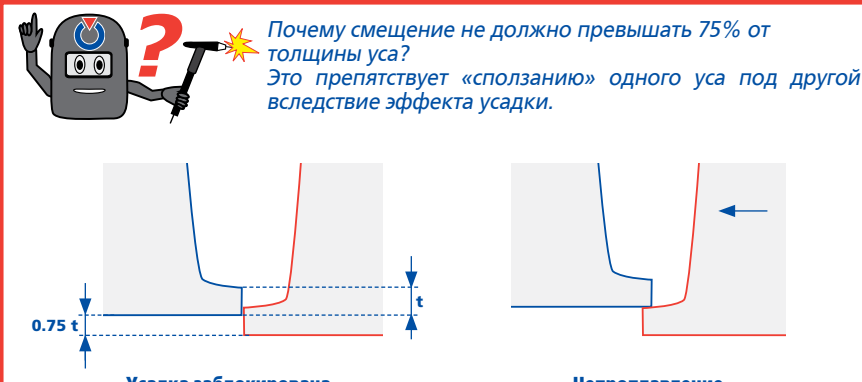
- ▶ Толщина усов выбирается с учётом основного материала. Существует связь между толщиной уса и практической свариваемостью (отношение глубины к ширине). Следовательно, для нелегированных сталей толщина уса изменяется от 2.5 до 3.5 мм, тогда, как для остальных сталей – в диапазоне от 2 до 2.5 мм. Толщина менее, чем 2,0 мм используется только для дуплексных или супердуплексных коррозионноустойчивых сталей, а также, возможно, для титана.



Что такое отношение глубина/ширина?
Это отношение используется для оценки валика на пластине.

Если это отношение близко к 1, то свариваемость хорошая
Если оно близко к 0, то плохая

- ▶ Смещение двух усов не должно превышать 75% от общей толщины уса. В зависимости от применения и материала, выбирается критерий для геометрии уса и сборки. Разница более 1,5...2 мм часто запрещена нормативными документами.

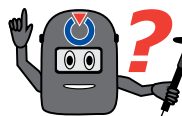


Почему смещение не должно превышать 75% от толщины уса?
Это препятствует «сползанию» одного уса под другой вследствие эффекта усадки.

Усадка заблокирована Непроплавление



- ▶ Профиль разделки в сочетании со сварочными параметрами гарантирует отсутствие подрезов в потолочном положении.



Утяжка – это типичное явление в сварке труб. Она появляется в результате комбинации сил поверхностного натяжения и силы тяжести.



Поперечное сечение трубы

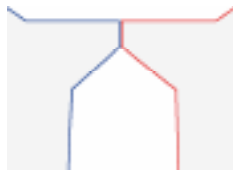
Направление сварки

Зона чувствительности к утяжке

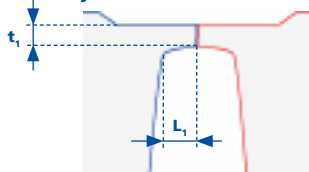
Примечание: утяжка может появиться в положениях 6G и 2G

Решение: найти такую форму разделки и параметры, чтобы можно было избежать негативного влияния силы тяжести (G) и поверхностного натяжения (F_{ts})

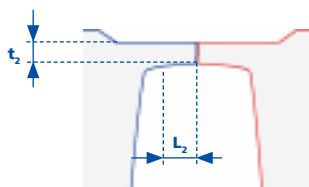
V-образная разделка



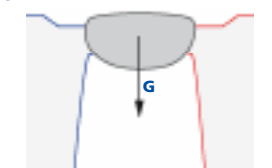
Тип разделки, благоприятный для образования утяжек



Утяжки очень часты (почти систематичны)

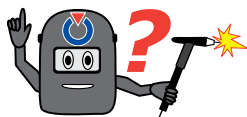


Эффект схож с полученным на V-образной разделке



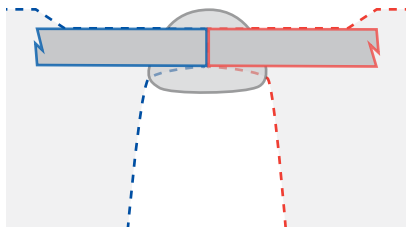
Отсутствие смачивания кромок ограничивает уровень сил поверхностного натяжения. Образование утяжек контролируется

- ▶ Толщина слоя обычно составляет 5-6 мм. Это толщина достаточная для того, чтобы избежать переплавления корня первым заполняющим проходом. Первый заполняющий проход выполняется на параметрах, которые гарантируют оптимальную производительность.
- ▶ Зазор после сборки не должен превышать 1 мм. Даже, где зазор близок к 1 мм, нужно убедиться, что он уменьшается вследствие сварочной усадки до значения, не больше 0.5 мм в месте, близком к фронту сварочной ванны. Если этого сделать не получается, то изменение ширины зазора на 1 мм будет несовместимым с использованием однопроводной сварки.
- ▶ Когда допускаются отклонения в сборке (зазор и смещение кромок), рекомендуются средние значения сварочных параметров, с помощью которых будет получено удовлетворительное проплавление безотносительно к условиям сборки и пространственному положению.
- ▶ Зазор больше всего влияет на «прожег» в нижнем положении и утяжку в потолочном. Он также увеличивает ширину проплавления изнутри.
- ▶ По сравнению с условиями сборки без зазора смещение усов снижает внутреннюю ширину проплавления.
- ▶ Когда есть зазор, смещение усов увеличивает риск прожога.
- ▶ Однопроводная технология не рекомендуется для материалов, которые не свариваются без проволоки, т.к. в этом случае не происходит переплавления, которое гарантирует успешную заварку корня.
- ▶ Технологическая свариваемость материалов влияет на размеры и даже геометрию корня. Для применения сварки в узкую разделку должны учитываться отличия отливок. Необходимо сопоставлять результаты химического анализа, соотношения глубина-ширина, сварки на одних и тех же параметрах, выполнения прихваток и т.д.
- ▶ Свариваемость с использованием присадочного материала должна быть изучена. Технологические параметры проволоки безотносительно к соответствию проволоки нормативной документации является фактором,



В каких пропорциях должны быть толщина уса и ширина разделки.

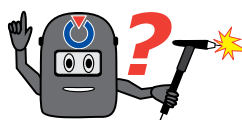
Поиск параметров (сила тока паузы для ограничения смачивания кромок) должен осуществляться, принимая во внимание отношение «глубина-ширина» и представляя ус разделки в виде пластины.





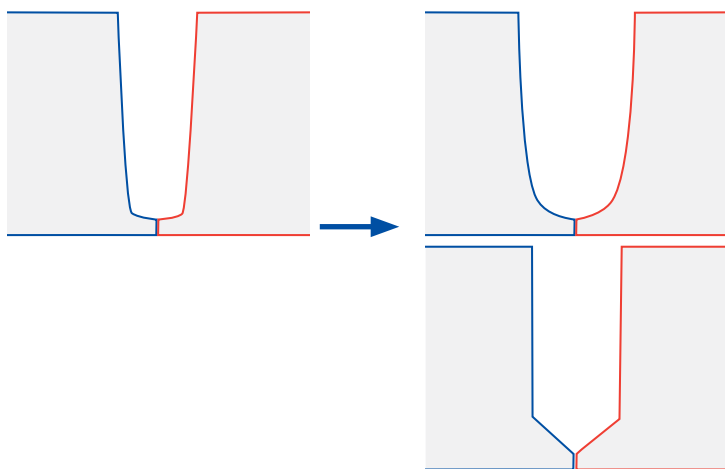
определяющим успех или неудачу разработки технологии. Перед выбором проволоки должны приниматься во внимание некоторые критерии: жидкотекучесть ванны, механические характеристики (не рекомендуется применять проволоку с малой жесткостью) и чрезмерное содержание оксидов. На первый взгляд эти критерии могут показаться непринципиальными, но когда несколько проволок сравнивают при поиске параметров, то результаты могут быть разными в зависимости от катушки. Более того, т.к. свариваемость определенной проволокой легко контролировать, то важно избегать замены катушек без необходимости. Нужно проверять маркировку продукта. Также рекомендуется оценивать качество проволоки при приемке (как предварительное условие закупки).

- ▶ Когда нет риска получения утяжек (это относится к сварке в нижнем положении и в меньшей степени к горизонтальному), то возможно модифицировать разделку заменой усов на радиус. Это может снять вопрос выполнения корректирующих проходов. В сварке в узкую разделку (особенно в однопроходной и двупроходной) могут возникать технологические трудности для сварки на 360°. Как правило, такие трудности случаются в положении 5GT, где оператор сталкивается с проблемами удержания сварочной

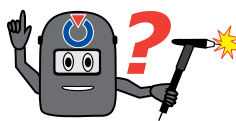


Изменяйте разделку при отсутствии риска получения утяжек.

Когда нет риска получить утяжку (проплавление на подкладке или при сварке в нижнем положении), можно упростить разделку.



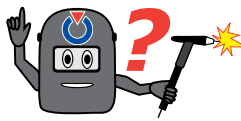
ванны на подъеме. Именно в этом случае, требуется или машина, оборудованная двумя подающими механизмами, или горелка с возможностью менять направление подачи проволоки. С этими двумя условиями корень выполняется сваркой двух полуокругов.



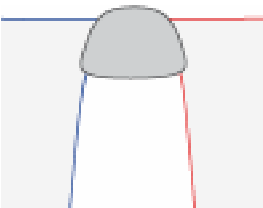
Что может быть сделано, если соотношение глубина-ширина не совместимо с требуемой шириной для сварки в узкую разделку. В этом случае остановите выбор на сварке корня на подъем за два прохода по 180°

7.2. «Сглаживающие» проходы

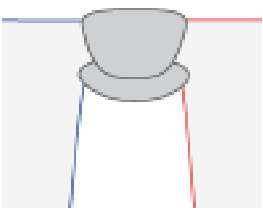
Они представляют собой два прохода, выполненные по углам корневого прохода без проволоки для обеспечения сплавления.



Роль «сглаживающих» проходов.

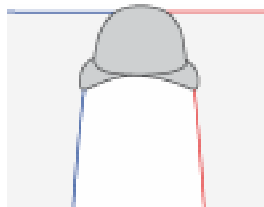


Риск несплавления



Полное переплавление и появление утяжек

Два прохода по краям гарантируют боковое сплавление без переплавления нижнего слоя. Эти два прохода подготавливают нужную форму шва для обеспечения сплавления с кромками при следующем проходе. Эти проходы вызывают дополнительную утяжку, которая влияет на соотношение глубина-ширина.



2 "сглаживающие" проходы

Как следует выполнять эти «сглаживающие» проходы? При помощи загнутых электродов.



Эти проходы обычно выполняются с помощью однопроходной технологии.

Их цель – гарантировать качественное выполнение первого поддерживающего прохода (который иногда называется горячим), избегая полного переплавления слоя, обеспечивающего проплавление.

Сплавление выполняется загнутыми электродами, чтобы направить дугу к краю разделки.

Эти два прохода подготавливают почву для хорошего сплавления следующего прохода, а также обеспечивают дополнительную усадку.

При сварке некоторых трудносвариваемых сталей и больших толщин возможно выполнение трех техник сплавления для гарантии отсутствия дефектов.

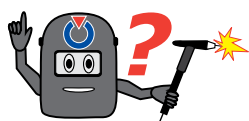
«Сглаживающие» проходы также могут использоваться на заполнении для ремонта дефектов сплавления.

7.3. Заполняющие проходы

Это основная часть разработки технологии сварки.

Безотносительно к выбранной технике, разработка технологии будет иметь две технологические цели:

- ▶ Определить базовые параметры для обеспечения производительности и компактности, а также «металлургическую реакцию материала». Это подразумевает гарантию отсутствия вредных эффектов, которые стремятся охрупчить структуры и ухудшить характеристики до неприемлемого уровня. Конечно, это не означает, что данный подход подразумевает изменение технологических параметров (режимы, газ и т.д.), чтобы учесть металлургические аспекты.
- ▶ Изучить влияние параметров режима сварки на материал для определения усадки.
Цель – определить условия усадки в предварительных тестах для того, чтобы



Как загнуть вольфрамовый электрод?

- Возьмите электроды диаметром 3,2 мм
- Заточите их под углом 25°
- Зажмите их в тиски
- Оставьте выступающим конусный конец электрода
- Нагрейте ацетиленокислородным пламенем до изменения цвета на красный/оранжевый
- К конусной части приложите ударное усилие специальным инструментом/зубилом
- До тех пор, пока угол не станет 40-45°
- Сделайте образец

проводить сварку при постоянной ширине разделки. При контроле ширины легче всего применять идентичные параметры от прохода к проходу, таким образом, облегчая работу оператора. В идеале, контроль ширины разделки будет выполняться одинаково, несмотря на то, какая техника применяется: однопроводная ниточными швами или с колебаниями. Это запрещено при



Рис. 28: Головка с двумя катушками проволоки, адаптированная для сварки полупроходов

однопроводной сварке, тогда, как варьирование ширины при применении других техник приведет к необходимости изменять параметры от прохода к проходу.

Из-за вопросов свариваемости при однопроводной сварке для корневого прохода возможно выполнение полупроходом. Принимая во внимание число проходов, очень важно адаптировать машину к этому требованию (горелка с подачей двух проволок или две головки – каждая выполняет половину прохода).

7.4. Завершающие заполняющие проходы

При приближении выхода из разделки температура трубы меняется, что может привести к чрезмерному плавлению на кромках или прожегам.

Последовательность заполнения выхода из разделки подразумевает минимизацию тепловложения и производительности наплавки во избежание преждевременного повреждения кромок.

Обратите внимание, что нетерпеливость при выполнении сварки в положении 5GT может послужить причиной несплавления между проходами, особенно при сварке на спуск.

При сварке больших толщин в положении 5GT на выходе обычно прибегают к выполнению частичных проходов для выравнивания поверхности перед облицовкой.

Это обычная ситуация и является результатом действия силы тяжести, которая изменяет поперечное сечение валиков в зависимости от пространственного положения.

7.5. Облицовочный проход

Единственная цель этого прохода – косметическая. Перед его выполнением важно убедиться, что до выхода из разделки остаётся не более 1,0 или 1,5 мм. В такой ситуации для выполнения облицовки с колебаниями потребуются дополнительный материал, чтобы соединить два диаметра без образования



подрезов при сварке на подъём.

Для положение 2G и 6G последовательность выполнения облицовки предусматривает наложение нескольких ниточных швов вместо одного прохода с колебаниями, чего обычно достаточно в положении 5GT

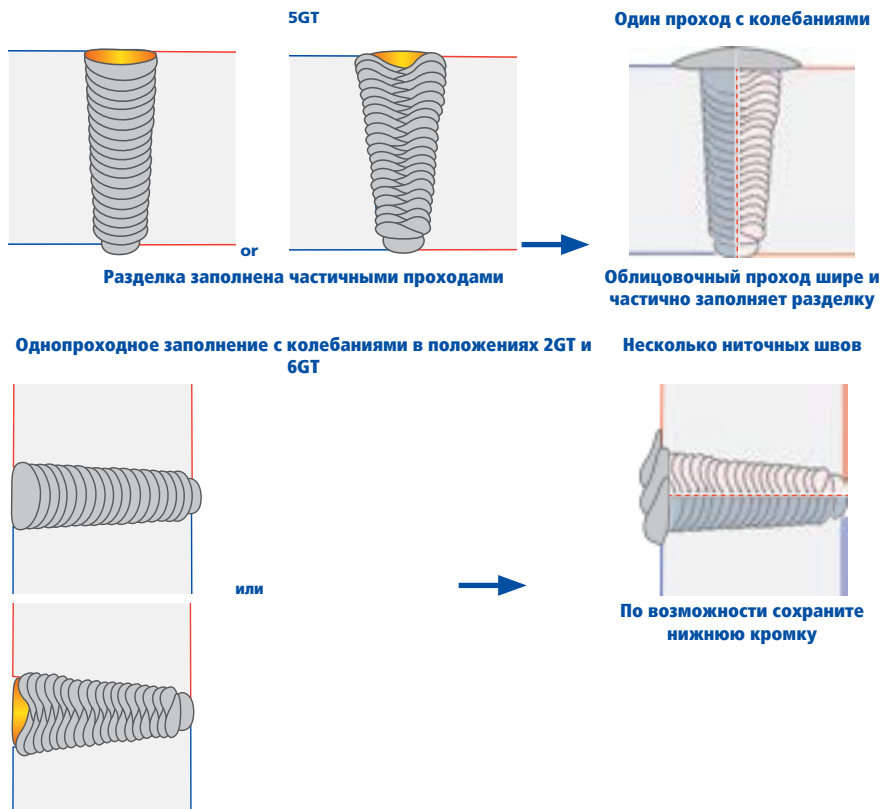


Рис. 29: Техника выполнения облицовки в зависимости от пространственного положения

7.6. Ремонт и низкопроизводительные режимы

Этот раздел посвящен всем ситуациям, выходящим за границы нормальной процедуры сварки

Наиболее встречающиеся ситуации:

- Прерывание во время выполнения прохода (намеренное или случайное).
- Дефект сплавления во время прохода.
- Частичное завершение прохода.
- Отличие ширины разделки от необходимой для используемых параметров.

После сварки:

- Стратегия заполнения в зависимости от результата неразрушающего контроля со случаями частичного ручного ремонта, случаями частичного автоматического ремонта, резкой и новыми швами.

Каждый случай должен быть проанализирован во время тестов, необходимо заранее найти специальные параметры.

7.7. Трудности и вынесенные уроки

Здесь представлены типичные ситуации с анализом возможных причин и предлагаемые решения.

- ▶ В положении 5GT корневой проплавляющий проход выполняется без особых проблем и получается удовлетворительная форма обратного валика. Однако, горячий проход стремится образовать утяжку.

⇒ Это ситуация, когда отношение L/t не применяется.

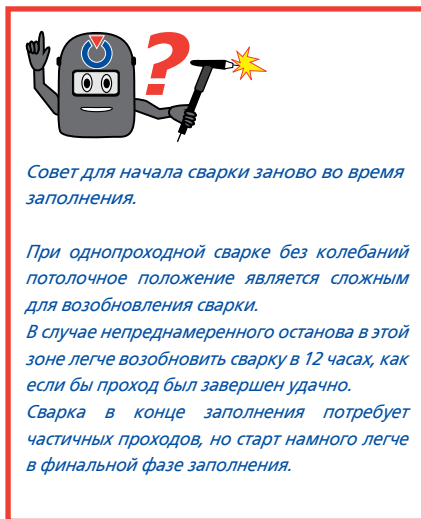
L = Общая ширина разделки (включая радиусы)

t = Толщина уса

Ширина L обычно определяется в соответствии с горелкой (9-9,5 мм для горелки NG 7 и обычно 12-13 мм для горелки NG с колебаниями). Большой радиус скругления уса допустим при использовании горелки с колебаниями, тогда, как для 7-мм горелки толщина уса должна быть адаптирована к марке стали, и имеет радиус от 1,0 до 1,5 мм.

- ▶ При сварке на спуск в положении 5GT проплавление не получается, но на остальной части окружности внутреннее проплавление достигает 2-3 мм.

С другой стороны, толщина уса увеличена, особенно, если при регулировке



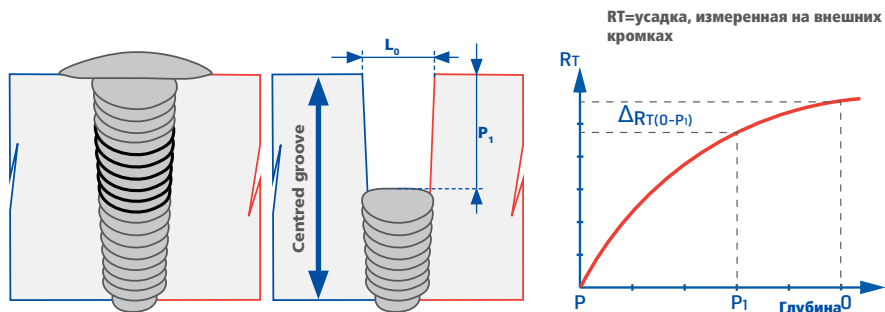
Применяемая стратегия зависит от времени горения дуги и ответственности соединения.

Шов, имеющий дефектный корень часто легче разрезать и сварить заново, чем пытаться выполнить его точечный ремонт (кроме случаев, когда возможно выполнения герметизирующих швов или ручного ремонта изнутри на средних толщинах стенки).

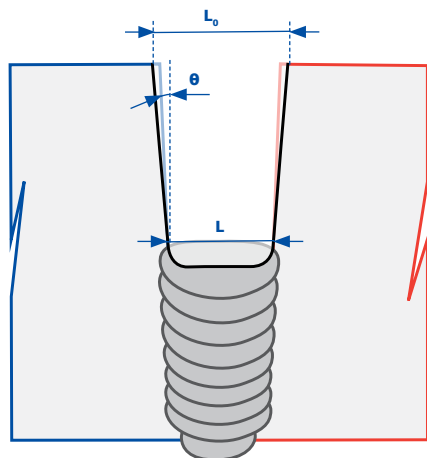
При сварки по дефектам сплавления с кромками возможно использование «сглаживающих» проходов (по центру или кромкам).

В зависимости от глубины данную операцию может предварять механическая обработка дефекта, например, шлифмашинкой.

Возможно образование небольшой канавки либо в центре, либо ближе к одной из кромок, но обычно это требует опыта.



Определение профиля шва, который должен получиться в результате ремонта



L = номинальная ширина заполнения

θ = номинальный угол

$$L_0 = L + \Delta RT + P(0 - P_1)$$

- Если несплавление находится на одной стороне, допустимо выбирать дефект с получением смещенной канавки (если отсутствует переходный слой). Начало сварки на полученной канавке – обычно лучший выход.

- Можно выполнять локальные ремонты дефектов, расположенных в приповерхностной зоне. Выбор зависит от предполагаемого времени на ремонт.

Время на выполнение сглаживающих проходов ремонтов должно учитываться при составлении технологии сварки.

Фиг. 30: Стратегия ремонта при сварке в узкую разделку

тока, смачивание кромок получилось между ванной и стенкой разделки. Обратите внимание, что разделка правильна, когда она представляет собой лучший компромисс между сложностью плавления толщины уса (получением необходимой формы обратного валика - достаточно выпуклый) и сложностью выполнения горячих проходов.

► При сварке в положении 5GT проплавление пропорционально, но проволока «тянется» на старте сварки на подъем, или сварка останавливается после прожига.

- 1 - Проверьте, что ось АРНД достаточно наклонена вперед.
- 2 - Остановите выбор на сварке корня на спуск за два прохода.

Если это невозможно, замените катушку проволоки или присадочный материал. ПРИМЕЧАНИЕ: Этот случай применяется к сварке только ниточными швами.

► При сварке ниточным швом разрушения сварочной ванны на подъеме не смотря на ширину 8-9 мм.

- 1 - Проверьте длину дуги и соответствующее напряжение. Напряжение должно регулироваться во время действия тока паузы и конус (давление дуги во время действия тока импульса) должен быть виден на поверхности сварочной ванны за электродом.

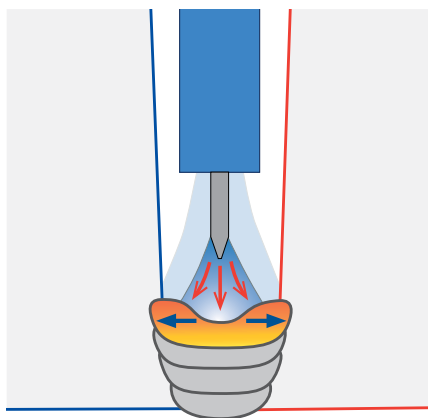


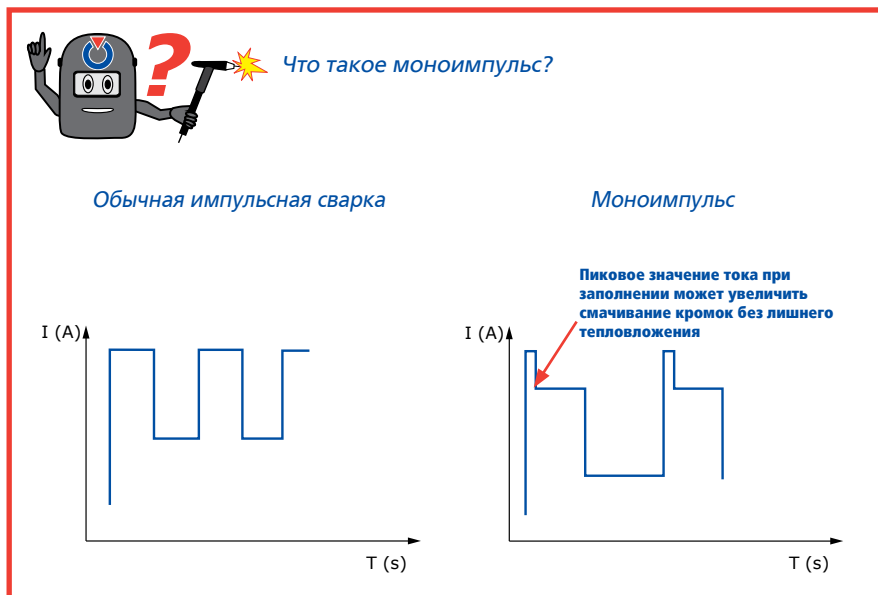
Рис. 31: Давление дуги создает конус в расплавленном металле. Это давление преобразуется предыдущими проходами в радиальную составляющую, которая обеспечивает смачивание кромок. В отличие от сварки пластин смачивание будет улучшено посредством снижения напряжения дуги.

- 2 - Проверьте наклон слайда АРНД вперед. Не превышайте 10° , т.к. это может привести к несплавлению при сварке на спуск.
- 3 - Если наклон корректен, вероятно, проволока является причиной.
- 4 - В некоторых случаях можно применить моноимпульс (25-50 мс с пиковым значением от 30 до 50 А). Если это не тот случай, замените проволоку или заполняйте разделку полупроходами на спуск. В этом случае слегка



наклоните ось АРНД вперед (на 5°).

- ▶ Несплавление при сварке в положении 5GT(в основном, при сварке на спуск).
 - 1 - Определите направление движения (360° или иное).



- 2 - Убедитесь, что толщина наплавленного слоя составляет максимум 2-2,5 мм. Толщина наплавленного слоя должна иметь соотношение с шириной (тонкий слой имеет меньшую ширину и толщину близкую к 2,5 мм для больших толщин).
 - 3 - откорректируйте наклон АРНД (уменьшите угол) особенно в отсутствии технологических трудностей при сварке на подъем. Для информации: несплавление очень редко происходит в вертикальном положении на подъем. Наиболее частые вопросы – технологические (сварочная ванна удерживается или стекает. Если удерживается, то шов обычно удовлетворительный. С другой стороны сварочная ванна удерживается очень легко при прохождении на спуск, но это может вызвать компактные дефекты, которые сложнее обнаружить при наблюдении за ванной).
- ▶ Наличие пористости (2GT, 5GT, 6GT или 1GT)
 - 1 - проверьте импульс на разумный баланс между уровнем тока импульса, скорости подачи проволоки в импульсе и соответствующие нагрев проволоки и корректные пропорции времени действия тока паузы.
 - 2 - Проверьте положение точки, куда подается проволока (особенно важно убедиться, что проволока расположена не под сварочной ванной во время

действия тока паузы).

- ▶ Если во время сварки с колеблющимся электродом нет смачивания кромок.
 - 1 - Проверьте значение скорости сварки (макс. 60-100 мм/мин).
 - 2 - Увеличьте тепловложение на кромках, таким образом, увеличив сварочную ванну (с помощью увеличения скорость подачи и подогрева проволоки), оставаясь в пределах 2-2.5 мм (кроме нижнего положения).
 - 3 - Проверьте настройки высоты дуги и уровень напряжения.
 - 4 - Проверьте время задержки на кромках.
- ▶ Контроль окончания программы заполнения является довольно сложным, т.к. он должен компенсировать снижение тепловложения через снижение погонной энергии. Однако, иногда утечка в тракте подачи газа также может ухудшить смачивание без каких-либо других предупредительных сигналов. Следовательно, если действие этого эффекта продолжается достаточно долго, то это может спровоцировать появление оксидов или даже пор. Таким образом, должны выполняться рекомендации по выставлению длины вылета электрода и рабочее место должно быть защищено от сквозняков, которые могут негативно повлиять на сварку (предосторожность, которой обычно пренебрегают при ВИГ-сварке).
- ▶ При выполнении заполнения в однопроходной сварке сплавление не идеально, и увеличение напряжения не улучшает ситуацию (даже ухудшает её). Эта нормальная ситуация. При сварке в узкощелевую разделку АРНД работает как по краям разделки, так и при переходе через корень. Следовательно, разделка, которая стремится «сузиться», увеличивает «отскок электрода». Вертикальное перемещение вверх снижает давление дуги на сварочную ванну, которую становится сложнее контролировать. В подобной ситуации в отличие от обычного случая (например, сварка листового металла) напряжение дуги должно быть снижено для того, чтобы настроить электрод на вертикальное положение по отношению сварочной ванны.

Для выявления описанной ситуации используются две подсказки:

- 1 - Теряется контакт горячей проволоки со сварочной ванной.
- 2 - Конус в расплавленном металле (под электродом) менее выражен.

Внимание: если разделка расширяется, применяется обратная логика, производится настройка на свободной поверхности.

8. Выбор оборудования

Наиболее важные факторы, влияющие на определение необходимого сварочного оборудования – конфигурация изделия, диапазон толщин и условия окружающей среды.

Сварочные источники, как правило, должны соответствовать применяемому исполнительному механизму.

Ниже приведены несколько типичных примеров конфигурации оборудования в соответствии с толщиной свариваемой заготовки.



8.1. Толщина менее 45 мм

Для свариваемых толщин менее 45 мм подходит обычное механизированное или орбитальное сварочное оборудование, если оно способно выдерживать требуемые нагрузки.

Источник Р6 HW рекомендуется для однопроходной сварки и стандартных применений сварочных головок.



Рис. 32: Источник питания Р6 HW



Рис. 33: Интерфейс сварочной консоли



Рис. 34: сварочная головка MU

Более универсальные модульные источники РС используются для механизированных применений или более сложных применений, таких, как роботизированные решения или орбитальные машины резки.

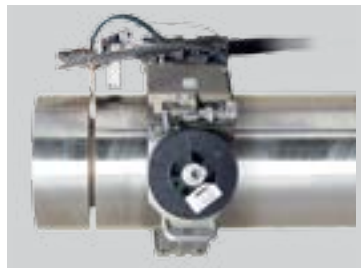


Рис. 35: Сварочная головка Polycar



Рис. 36: Сварочная головка SPX

Интерфейсы сварочной колонны, орбитальные головки, такие, как MU с подачей горячей проволоки или Polycar (версия 60-3-MP) или даже головка SPX являются наиболее подходящими.

Головки кареточного типа имеют преимущество – они могут использоваться на кольцевых и прямых направляющих. Polycar MP может применяться на направляющих, имеющих сложную конфигурацию (кривые, эллипсы и т.д.). Благодаря простоте головки Polycar MP заказчик может самостоятельно произвести необходимый инструмент.

Помимо экономического аспекта этот подход открывает возможность создания приспособлений для определенной формы заготовок

8.2. Толщины до 100 мм

Держатели горелки такие же, как и для стандартных горелок. Однако для кольцевых соединений на горизонтальной поверхности требуются горелки для сварки в узкощелевую разделку с изогнутым профилем, кроме особых случаев сварки т.н. самоограничивающих швов (высокая концентрация напряжения).

8.3. Толщины свыше 100 мм

Конечные изделия в настоящий момент имеют массу, в некоторых случаях достигающую нескольких сотен килограмм (например, ротора турбин).

Для т.н. механизированных применений решения идентичны, но основаны на более надёжных компонентах, адаптированных для данных обстоятельств, геометрии и массы узлов.

Однако, для орбитальной сварки масса горелок и необходимость использования 15-киллограммовых катушек определяет применение больших инструментов, чем Polycar 60-3 и MP. В этом случае нужно выбирать головки, способные перемещать тяжелую оснастку (80 кг) со значительным смещением, имея достаточную гибкость для адаптации к работе с листовыми заготовками с большими нагрузками.

Также рекомендуется использовать сварочные роботы для сварки по всем траекториям, кроме кольцевых, а также тогда, когда компания-клиент предпочитает приобрести более универсальный инструмент.



Рис. 37: Сварочная головка для сварки роторов турбин



8.4. Роботизированные решения

Для решений, предусматривающих применение горелок для сварки толщин до 45 мм, нет специальных рекомендаций. Горелка с выдвижным соплом предлагает многоцелевое решение при условии, что допускается ручная замена электрода.

Для сварки больших толщин горелка монтируется на руку робота, которая имеет грузоподъёмность от 10 до 50 кг.

Траектория связана с профилем горелок, он ограничивает перемещения и подразумевает изучение позиционирования горелки по трём осям.

Использование горелки для сварки в узкощелевую разделку все же подразумевает отход от автоматизации при техническом обслуживании, например, при смене электрода.

Другие подходы являются специальными для роботизированного применения и определяются с размерами заготовки и степенью автоматизации (портал, станция с несколькими роботами, слежение за стыком).



Рис. 38: Робот и горелка NG-OSC

9. Выводы

Теперь ВИГ-сварка в узкощелевую разделку не является решением для исключительных обстоятельств.

Это решение целесообразно, когда толщины свариваемого изделия превышают 30 мм.

Выполнение первичного анализа необходимо для определения потенциальных выгод, а также чтобы выбрать наиболее подходящие методологию и оборудование.

Существует множество решений со значительным уровнем промышленной завершенности, подтвержденной многочисленными примерами.

Трудности, встречающиеся при выполнении определенной технологии сварки, изменяются в соответствии с выбранной техникой. Желание выбрать наипростейший подход и избежать скрупулезной оценки необходимо избежать, т.к. универсального решения не существует.

Более того, с точки зрения сварочных инструментов, толщины заготовок от 30 до 300 мм закрываются различными техническими решениями.

С точки зрения производственных предприятий ввод в эксплуатацию сварки в узкощелевую разделку требует структурированного подхода, включающего следующие шаги:

- Знания условий сварки (средства, окружающая обстановка и т.д.).
- Проверка технологических возможностей (точность механической обработки, металлургические аспекты и т.д.).
- Информация об усадке и ограничивающих условиях.
- Цели с точки зрения производительности (критерий приёмки, уровень производительности).
- Выбор присадочного материала.
- Выбор методологии (техника, инструменты).
- Определение сварочной технологии и ограничений.
- Резервные решения.
- Обучение персонала (квалификация персонала + послепродажная поддержка).
- Мониторинг производства.

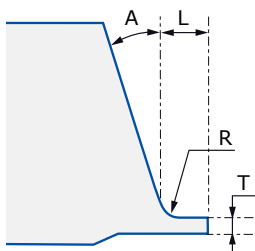
Должны применяться соответствующие подходы к инструментам механической обработки, соблюдение качества материалов и методов контроля.

Все эти предварительные меры оправданы получением потенциальных выгод по сравнению с использованием стандартных технологий.

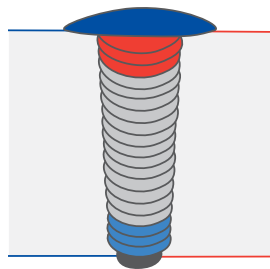


10. Приложение 1 – Разработка методологии однопроходной сварки в узкощелевую разделку

- Фаза 1: Определение главных переменных

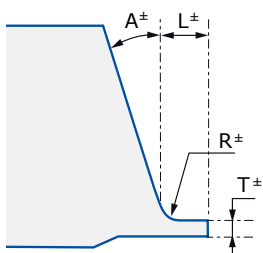


Определение разделки, программы и соответствующих параметров



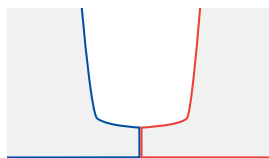
- Фаза 2: Программа для корня

Допуски на разделку и сборку по отношению к граничным тестам
Тест свариваемости



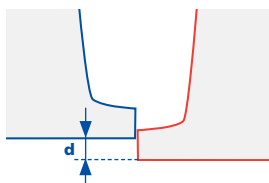
$$L_{\min} + t_{\max}$$

$$L_{\max} + t_{\min}$$

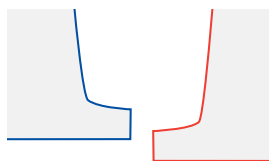


Номинальные параметры

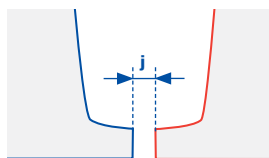
- Фаза 3: Смещение кромок и зазора



d_{\max} parameters



Parameters
 $d_{\max} + j_{\max}$



j_{\max} parameters



► Фаза 4: Заполняющие проходы

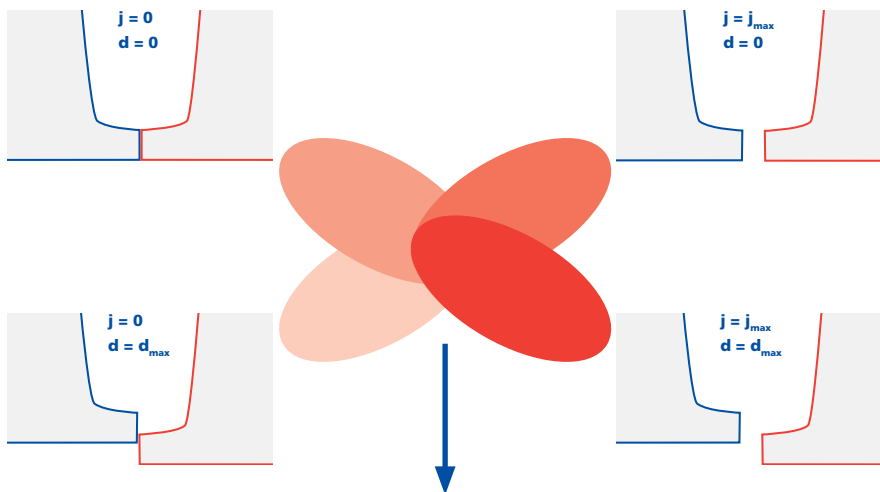
Сварочные параметры режимов по отношению к ширине L в соответствии с пространственным положением.



ТН: высота заполняющих проходов – величина постоянная

► Фаза 5: Резюме по сварочным параметрам для корня

Параметры для сварки корня

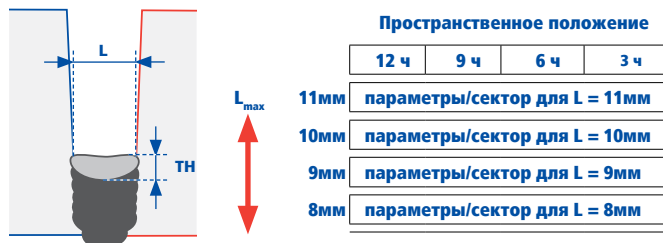


Пересечение различных обязательных условий, полученных ограничением допусков сборки

Параметры для сварки корня
 $j = 0$ to $j = j_{\max}$ (номинальные и модифицированные)
 $d = 0$ to $d = d_{\max}$ (номинальные и модифицированные)

► Фаза 6: Резюме по параметрам для заполняющих проходов

Определение параметров в отношении диапазона ширины L и в соответствии с пространственным положением



TH: высота заполняющих проходов – величина постоянная

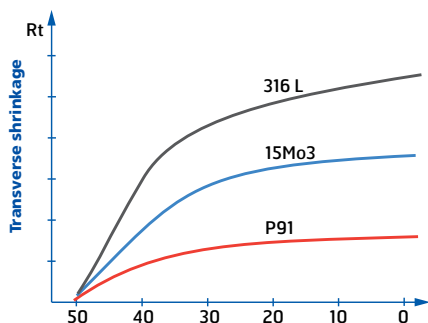
Пересечение всего диапазона ширины невозможно (чтобы обеспечить постоянную высоту проходов)

11. Приложение 2 – Сварочная усадка

Знание и контроль (повторяемость) даёт возможность определить угол разделки.

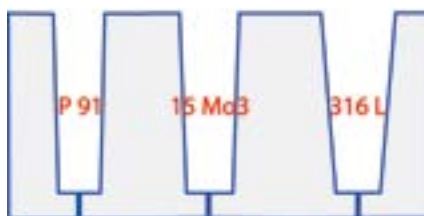
Поперечная усадка зависит от:

- Погонной энергии
- Толщины стенки
- Механических характеристик материала
- Конфигурации соединения.



Поперечная усадка/глубина разделки

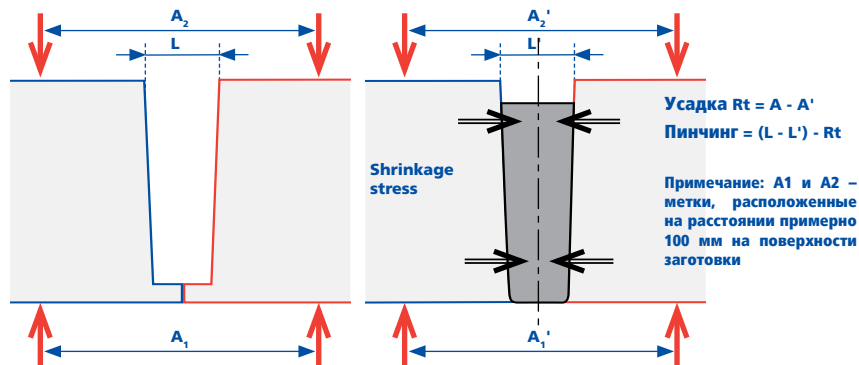
Пример влияния материалов



Пример изменения разделки в соответствии с типом материала

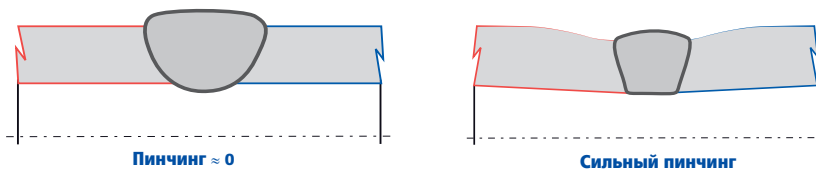
Механические характеристики определяют значение усадки при постоянном тепловложении.

Поперечная усадка и пинching (усадка, перпендикулярная оси шва)



Поперечная усадка соответствует снижению ширины соединения по отношению ко всей толщине.

Пинчинг на некоторых материалах соответствует деформации части толщины (обычно на сталях 304L, 316L и т.д.).

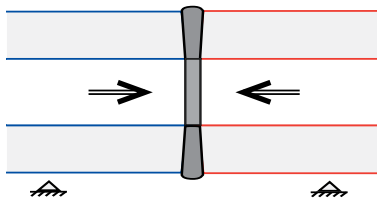


Определение раскрытия разделки, зная значение усадки

Раскрытие разделки: номинальная свариваемая ширина + поперечная усадка + пинчинг.

Влияние конфигурации соединения

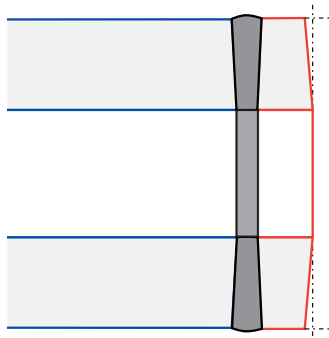
1 - Свободная усадка (случай двух сечений труб)



Инерция трубы сдерживает продольную усадку.

Поперечная усадка и пинчинг применяется как обычно.

2 - Чрезмерная усадка



Деформация, связанная с недостатком инерции (+ нагрев)

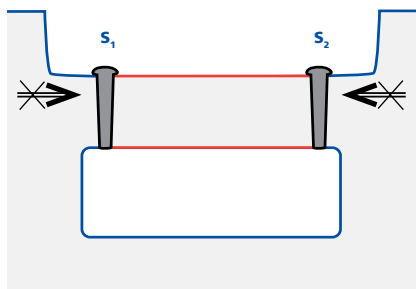
Одна из двух заготовок не имеет инерции. Этот эффект может быть подчеркнут разностью в температуре. Деформация выше, чем при сварке соединения труба-труба.

Раскрытие должно быть соответственно увеличено.



3 - Самоограничивающиеся швы

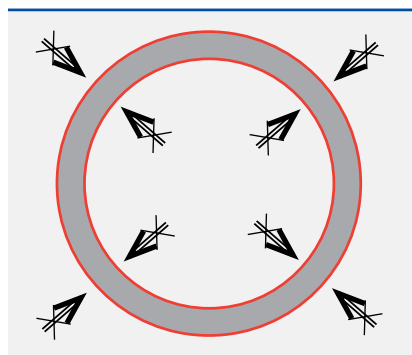
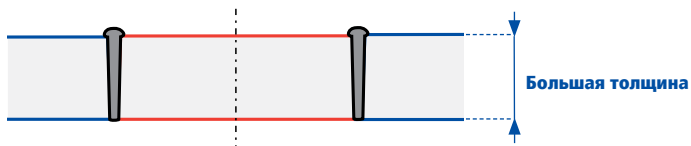
Двойной линейный шов



Поперечная усадка будет меньше, чем усадка соединения труба-труба (высокое остаточное напряжение).

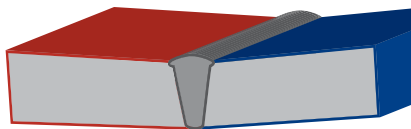
Поперечная усадка блокируется, если соединения свариваются последовательно. Усадка компенсируется

Кольцевой шов

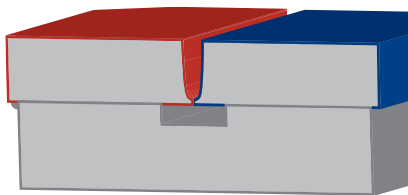


Поперечная усадка блокируется инерцией пластины.

Для сварки пластин сдерживание усадки может быть выполнено мостами, ограничивающими угловые деформации



Свободная усадка (случай чрезмерной усадки, связанной с недостатком инерции пластин)



Сварка элемента жесткости, который ограничивает усадку

4 - Продольная усадка

Это усадка, которая образуется вдоль оси шва.

Например, у трубы такая усадка проявляется уменьшением внутреннего диаметра.





Ваши партнеры по всему миру

АВСТРАЛИЯ

POLYSOUDE S.A.S.
☎ +33 (0) 2 40 68 11 00

АВСТРИЯ

POLYSOUDE AUSTRIA GmbH
☎ +43 (0) 3613 2 00 36

БЕЛГИЯ

POLYSOUDE BENELUX
☎ +31 (0) 653 84 23 36
POLYSOUDE BENELUX (SERVICE)
☎ +31 (0) 653 38 85 58

БРАЗИЛИЯ

AJADE COMÉRCIO INSTALAÇÕES E SERVIÇOS LTDA
☎ +55 (0) 11 4524 3898

БОЛГАРИЯ

KARWELD FOOD
☎ +359 (0) 2973 32 15

КАНАДА

MAG TOOL INC.
☎ +1 (0) 780 4 47 19 04
☎ +1 (0) 519 651 10 50

КИТАЙ

POLYSOUDE SHANGHAI CO. LTD.
☎ +86 (0) 21 64 09 78 26

ХОРВАТИЯ

EUROARC D.O.O.
☎ +385 (0) 1 240 60 77

ЧЕХИЯ

POLYSOUDE AUSTRIA GmbH
☎ + 420 602 602 855

ДАНИЯ

POLYSOUDE DENMARK
☎ +45 (0) 32 94 85 10

ЕГИПЕТ

POLYSOUDE UK
☎ +44 (0) 1942 820 935

ФИНЛЯНДИЯ

SUOMEN TEKNOHAUS OY
☎ +358 (0) 927 47 2 10

ФРАНЦИЯ

POLYSOUDE S.A.S.
☎ +33 (0) 2 40 68 11 00

ГЕРМАНИЯ

POLYSOUDE DEUTSCHLAND
☎ +49 (0) 7154 1796 90
☎ +49 (0) 2171 58 1336

ВЕЛИКОБРИТАНИЯ

POLYSOUDE UK
☎ +44 (0) 1942 820 935

ГРЕЦИЯ

POLYSOUDE S.A.S.
☎ +33 (0) 2 40 68 11 00

ВЕНГРИЯ

POLYWELD GmbH
☎ +36 (0) 28 42 22 36

ИНДИЯ

POLYSOUDE INDIA
☎ +91 (0) 20 400 35 931

ИНДОНЕЗИЯ

P.T. TIRA AUSTENITE
☎ +62 (0) 21 460 25 94

ИЗРАИЛЬ

ADLER & STERN LTD.
☎ +972 (0) 484 1 38 59



ИТАЛИЯ

POLYSOUDE ITALIA SRL
☎ +39 (0) 2 93 79 90 94

ЯПОНИЯ

GMT CO Ltd.
☎ +81 (0) 44 222 67 51
☎ +81 (0) 789 35 67 51

ИОРДАНИЯ

POLYSOUDE UK
☎ +44 (0) 1942 820 935

ЮЖНАЯ КОРЕЯ

CHEMIKO CO. LTD
☎ +82 (0) 2 567 5336

МАЛАЙЗИЯ

POLYSOUDE ASIA
☎ +86 (0) 65 862 60 08

МЕКСИКА

ASTRO ARC POLYSOUDE INC.
☎ +1 (0) 661 702 0141

НИДЕРЛАНДЫ

POLYSOUDE BENELUX
☎ +31 (0) 653 84 23 36

ПОЛИСУД БЕНЕЛЮКС (СЕРВИС)

☎ +31 (0) 653 38 85 58

НОВАЯ ЗЕЛАНДИЯ

POLYSOUDE S.A.S.
☎ +33 (0) 2 40 68 11 00

НОРВЕГИЯ

POLYSOUDE BENELUX
☎ +31 (0) 653 84 23 36

ПАКИСТАН

POLYSOUDE S.A.S.
☎ +33 (0) 2 40 68 11 00

ФИЛИППИНЫ

POLYSOUDE ASIA
☎ +86 (0) 65 862 60 08

SIN SOON HUAT WELDING

PRODUCTS PTE. LTD
☎ +65 (0) 62 65 60 88

СЛОВАКИЯ

POLYSOUDE AUSTRIA GmbH
☎ +43 (0) 361 32 00 36

ЮАР

POLYSOUDE S.A.S.
☎ +33 (0) 2 40 68 11 00

ИСПАНИЯ

PRAXAIR SOLDADURA S.L.
☎ +34 (0) 91 785 77 09

ШВЕЦИЯ

POLYSOUDE BENELUX
☎ +31 (0) 653 84 23 36

ШВЕЙЦАРИЯ

POLYSOUDE (SWITZERLAND) INC.
☎ +41 (0) 43 243 50 80

ТАЙВАНЬ.

FIRST ELITE ENT. CO. LTD.
☎ +886 (0) 287 97 88 99

ТАЙЛАНД

POLYSOUDE ASIA
☎ +86 (0) 65 6862 60 08

ТУРЦИЯ

TIM KAYNAK
VE ELEKTONIK
SISTEMLER
SAN VE TIC LTD.
☎ +90 (0) 212
2 30 87 77

ОАЭ

GERMAN GULF
ENTERPRISES LTD.
☎ +971 (0) 65 31 61 71

УКРАИНА

Представительство
АОУТ "ПОЛИСУД"
☎ +7 (0) 495 564 86 81

США

ASTRO ARC
POLYSOUDE INC.
☎ +1 (0) 661 702 0141

ВЕНЕСУЭЛА

POLYSOUDE LATIN
AMERICA
☎ +58 (0) 243 242 4541



Представительство АОУТ "ПОЛИСУД" (Франция)
109004 • г. Москва, ул. Земляной вал, д. 66/20, оф. 4С
Тел.: +7 (495) 564 86 81 • Факс: +7 (495) 564 83 51
www.polysoude.ru • e-mail: info@polysoude.ru