



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
MEHAANIKATEADUSKOND

Materjalitehnikainstituut

Metallidetechnologiaõppetool

MTT40LT

Ivan Sergeev

**Keevitusrežiimide võrdlus rübustikaarkeevitamisel
Pandaweld 1250 keevitustraaktori näidel
Bakalaureusetöö**

Autor taotleb
tehnikateadustebakalaureuse
akadeemiliskraadi

Tallinn

2014

1



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
MEHAANIKATEADUSKOND

Институт материалотехники

Кафедра по технологиям металлов

МТТ40ЛТ

Иван Сергеев

**Сравнение режимов дуговой сварки под флюсом на
примере сварочного трактора Pandaweld 1250**

Выпускная работа бакалавра

Автор ходатайствует о
получении степени бакалавра
технических наук

Таллинн

2014

AUTORIDEKLARATSIOON

Deklareerin, et käesolev lõputöö on minu iseseisvat töö tulemus.
Esitatud materjalide põhjalei ole varem akadeemilist kraaditaotletud.
Töös kasutatud kõikeste autorite materjalid on varustatud vastavate viidetega.

Töövalmis..... juhendamisel

“.....”201...a.

Tööautor
..... allkiri

Töövastab bakalaureusetööle esitatavate lenõuetele.

“.....”201...a.

Juhendaja
..... allkiri

Lubatud kaitsmisele.

..... õppekavakaitse komisjoniesimees

“.....”201... a.

..... allkiri

TTÜ masinaehituse/mehhatroonika-/soojustehnika/materjalitehnikainstituut
.....õppetool

BAKALAUREUSETÖÖÜLESANNE

201.... aastasemester

Üliõpilane: (nimi, kood)

Õppekava

Eriala

Juhendaja: (amet, nimi)

Konsultandid: (nimi, amet, telefon)
.....

BAKALAUREUSETÖÖ TEEMA:

(eestikeeles).....

(inglisekeeles).....

Lõputööslahendatavadülesandedjanendetäitmiseajakava:

Nr	Ülesandekirjeldus	Täitmisetaht aeg
1.		
2.		
3.		
4.		
5.		

Lahendatavadinseneritehnilisedjamajanduslikudprobleemid:.....
.....
.....

Täiendavadmärkusedjanõuded:.....

Töö keel:

Kaitsmistaotlusesitadahiljemalt

Tööesitamisetähtaeg.....

Üliõpilane /allkiri/

kuupäev.....**Juhendaja** /allkiri/

kuupäev.....

Содержание

Вакalaureusetöö ülesanne -----	4
Содержание -----	5
Предисловие-----	6
Введение -----	7
1. Дуговая сварка под флюсом-----	9
2.Сварочный трактор Pandaweld 1250 -----	14
3. Режимы сварки СС/СV -----	18
3.1. Ориентировочные режимы сварки под флюсом -----	20
4. Сварочные флюсы -----	27
4.1. Присадочные материалы -----	31
5. Экспериментальная часть -----	34
5.1. Испытание аппарата -----	35
5.2. Сварка при различных режимах СС/СV и изменением $V_{св}$ -----	36
5.3.Сварка при различных режимах СС/СV и изменением U_d -----	38
5.4.Статистический анализ результатов экспериментальной части-----	40
6. Расчёт режимов сварки под флюсом-----	43
6.1.Расчет режима сварки швов стыковых соединений-----	43
7. Выводы -----	46
Summary -----	48
Обзор литературы-----	50
Приложение 1:сборочныйчертёж трактора Pandaweld 1250-----	52
Приложение 2:сборочныйчертёж схем движения трактора Pandaweld 1250-----	53

Eessõna

Lõputöö “...” baseerub mehaanilise keevitamise režiimide võrdlusel kiirgusvoo all kasutades keevitustraktorit Pandaweld 1250. Antud tooted, Pandawell särja keevitustraktorid, oli esitatud avaliku esindaja AB Bayrocki poolt (toodete tootjad) Eestis, firma Nordivi OÜ poolt. Seoses sellega, antud töö autor avaldab oma tänu härrastele Kari Erik Lahti (AB Bayrocki avalik esindaja, Rootsi) ja Ivo Ilustrummile (Nordivi OÜ avalik esindaja, Eesti) koostöö ja abi lõputöö praktilise osa töö läbiviimise eest TTÜ mehaanika instituudi keevituslaboris.

Töökirjutamise käigus on autortutvunud karakterilise kiirgusvoo aluselise keevitamise protsessiolemusega, tootegajatraktori Pandaweld 1250 keevitustööga. Samuti on läbiviidud keevitusrežiimide uurimise praktiline osa. Tööeesmärgiks on valitud keevitusrežiimimõju uurimine, kukkuvavoltamperiline karakteriline (CC) või kõvavoltamperiline karakteriline (CV) keevitusõmbluse kvaliteedile (kujujamõõtmed) ning rakendatud soojusenergia suuruse muutumine (soojusjuhtivus Q).

Kindlaksmääratud on korrapärasused ning iga keevitusparameetri muutumise mõju: keevitusvoolutugevus (I), pinge (U) ning keevituskiirus (V); keevitusühenduste mõõtmed, kasutades erinevaid keevitusrežiime (CC või CV). Praktilise osa tulemuste järgi on saadud keevitamise optimaalsed režiimid (CC/CV) sõltuvalt kindlatest tingimustest, kuid samuti on kindlaksmääratud keevitustraktori ratsionaalne kasutus (võimalus elektri säästmiseks).

Введение

Целью данной работы является исследование влияния выбранного режима сварки (CC или CV) на качество шва, на его форму, размеры и тепловложение Q .

Наличие двух режимов работы CC и CV позволяет существенно расширить технологические возможности - практически в одном источнике реализованы два существующих алгоритмов работы тракторов типа Pandaweld 1250. Это позволяет практически во всех случаях выбирать лучший режим работы и поддерживать заданные формы и стабильные размеры сварного шва по всей его длине. При разных режимах сварки (CC или CV) происходит различное вложение тепловой энергии - тепловложение Q ; как правило, при использовании CV режима (жесткая вольтамперная характеристика) расход электроэнергии на 20-30 % ниже. Если качество и геометрия шва удовлетворяет техническим условиям, то при использовании CV режима можно экономить достаточно большое количество электроэнергии и получать качественный шов, удовлетворяющий заданным условиям.

В результате использования флюса значительно повышается тепловой КПД (коэффициент полезного действия) сварочного процесса, что обуславливает высокую производительность расплавления по сравнению с другими методами сварки. Так как сварка под флюсом является высокопроизводительным методом сварки, она применяется, прежде всего, в механизированных или автоматизированных системах. Благодаря более короткому времени сварки в сочетании с более высокой относительной длительностью включения источников питания можно непрерывно сваривать длинные швы. В результате сокращается вспомогательное время и, в итоге, снижается стоимость сварки. Применение сварки под флюсом является экономичным и эффективным, начиная с толщины листа 6 мм и длины шва более 400мм.

Экспериментальная часть работы заключалась в том, что требовалось провести сварку под флюсом при разных режимах CC или CV, при этом изменялись основные контролируемые параметры сварки ($I_{св}$, U_d и $V_{св}$). В дальнейшем была измерена геометрия изготовленных сварных швов (ширина шва, глубина провара, высота усиления шва), проведена визуальная оценка качества сварных соединений и рассчитаны значения тепловложения Q . На основе этих данных была произведена

статистическая (корреляционный и регрессионный анализ) оценка влияния изменения контролируемых параметров сварки на неконтролируемые параметры (качество шва, размеры шва), и установлено влияние изменения параметров и режимов сварки на качество сварных швов при сварке стыковых соединений из углеродистой и низколегированной стали механизированной дуговой сваркой под слоем флюса.

1. Дуговая сварка под флюсом

Сваркой под флюсом называется дуговая сварка, при которой дуга горит под слоем сварочного флюса, обеспечивающего защиту сварочной ванны от контакта с воздухом. Особенностью процесса дуговой сварки под флюсом является применение непокрытой сварочной проволоки и гранулированного (зернистого) флюса. Сварку ведут закрытой дугой, горящей под слоем флюса в пространстве газового пузыря, образующегося в результате выделения паров и газов в зоне дуги. Сверху сварочная зона ограничена пленкой расплавленного шлака, снизу — сварочной ванной. Среда в сварочной зоне является наиболее благоприятной с точки зрения защиты металла от взаимодействия с воздухом. По мере сварки давление газов и паров в пузыре возрастает. Наступает момент, когда пленка расплавленного шлака прорывается, и избыток газов удаляется в окружающую атмосферу.

Небольшое расстояние от токоподвода до сварочной дуги позволяет без перегрева присадочной проволоки использовать повышенные сварочные токи (до 2000 А). Плотность сварочного тока достигает 200 ... 250 А/мм², в то время как при ручной дуговой сварке не превышает 15 А/мм². В результате повышается глубина проплавления основного металла и скорость расплавления электродной проволоки, т.е. достигается высокая производительность процесса.

При сварке под флюсом подготовку кромок и сборку изделия производят более точно, нежели при ручной сварке. Настроенный под определенный режим автомат точно выполняет установленный процесс сварки и может учесть и выправить отклонения в разделке кромок и в сборке изделия. Разделку кромок производят машинной кислородной или плазменно-дуговой резкой, а также на металлорежущих станках. Свариваемые кромки перед сборкой должны быть тщательно очищены от ржавчины, грязи, масла, влаги и шлаков. Это особенно важно при больших скоростях сварки, когда загрязнения, попадая в зону дуги, приводят к образованию пор, раковин и неметаллических включений.

Очистку кромок производят пескоструйной обработкой или протравливанием и пассивированием. Очистке подвергается поверхность кромок шириной 50-60 мм по обе стороны от шва. Прихватки длиной 50-70 мм располагают на расстоянии не более 400 мм друг от друга, а крайние прихватки - на расстоянии не менее 200 мм от края шва. Прихватки должны быть тщательно очищены от шлака и брызг металла. Сварочный

ток, напряжение дуги, диаметр, угол наклона и скорость подачи электродной проволоки, скорость сварки и основные размеры разделки кромок выбирают в зависимости от толщины свариваемых кромок, формы разделки и свариваемого металла. Стыковые швы выполняют с разделкой и без разделки кромок. При этом шов может быть одно- и двусторонним, а также одно- и многослойным [1].

Сварка под флюсом производится при помощи автоматической установки (сварочная головка или сварочный трактор). Эта установка подает электродную проволоку и флюс в зону сварки, перемещает дугу вдоль свариваемого шва и поддерживает ее горение. Принципиальная схема автоматической сварки под флюсом (приведена на рис.1).

Описание процесса сварки и составляющие компоненты:

- электродная проволока подается в зону сварки;
- кромки свариваемого изделия в зоне сварки покрываются слоем флюса, подаваемого из бункера;
- толщина слоя флюса составляет 30-50 мм;
- сварочный ток подводится от источника тока к электроду через токоподводящий мундштук, находящийся на небольшом расстоянии от конца электродной проволоки, благодаря чему при автоматической сварке можно применять большие сварочные токи;
- дуга возбуждается между свариваемым изделием и электродной проволокой [1].

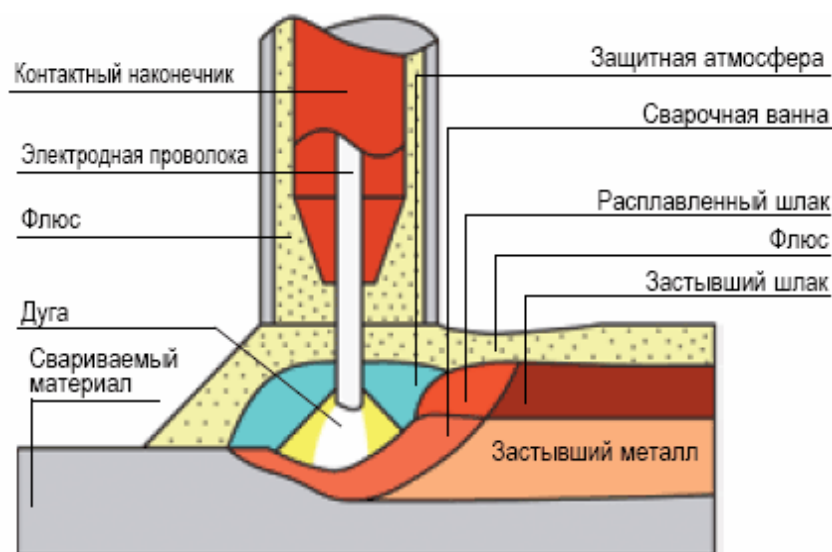


Рисунок 1.1. Сварка под слоем флюса[3].

При горении дуги образуется ванна расплавленного металла, закрытая сверху расплавленным шлаком и оставшимся нерасплавленным флюсом. Не расплавившийся флюс отсасывается шлангом обратно в бункер. Пары и газы, образующиеся в зоне дуги, создают вокруг нее замкнутую газовую полость. Некоторое избыточное давление, возникающее при термическом расширении газов, оттесняет жидкий металл в сторону, противоположную направлению сварки.

У основания дуги (в кратере) сохраняется лишь тонкий слой металла. В таких условиях обеспечивается глубокий провар основного металла. Так как дуга горит в газовой полости, закрытой расплавленным шлаком, то значительно уменьшаются потери теплоты и металла на угар и разбрызгивание. По мере перемещения дуги вдоль разделки шва наплавленный металл остывает и образует сварной шов. Жидкий шлак, за счет меньшей плотности всплывает на поверхность, где затвердевает. Также, шлак имеет более низкую температуру плавления, чем металл, затвердевает несколько позже, замедляя охлаждение металла шва.

Продолжительное пребывание металла шва в расплавленном состоянии и медленное остывание способствуют выходу на поверхность всех неметаллических включений и газов, получению чистого, плотного и однородного по химическому составу металла шва[1].



Рисунок 1.2. Процесс сварки под слоем флюса [4].



Рисунок 1.3. Сварной шов и остаток шлака [4].

Сварку под флюсом отличают следующие преимущества:

1. Высокая производительность, превышающая ручную сварку в 5 -10 раз. Она обеспечивается применением больших токов, более концентрированным и полным использованием теплоты в закрытой зоне дуги, снижением трудоемкости за счет автоматизации процесса сварки.
2. Высокое качество сварного шва вследствие защиты металла сварочной ванны расплавленным шлаком от кислорода и азота воздуха, легирования металла шва, увеличения плотности металла при медленном охлаждении под слоем застывшего шлака.
3. Экономия электродного металла при значительном снижении потерь на угар, разбрызгивание металла и огарки. При ручной сварке эти потери достигают 20—30%, в то время как при автоматической сварке под флюсом они не превышают 2-5%.
4. Экономия электроэнергии за счет более полного использования теплоты дуги по сравнению с ручной сваркой. Затраты электроэнергии при сварке под флюсом уменьшаются на 30-40%.
5. При сварке под флюсом условия труда значительно лучше, чем при ручной сварке: дуга закрыта слоем шлака и флюса, выделение вредных газов и пыли значительно снижено, поэтому нет необходимости в защите зрения и лица сварщика от воздействия излучений дуги, а для вытяжки газов достаточно естественной вытяжной вентиляции [2].

Сварка под флюсом имеет следующие недостатки:

- 1.Повышеннаяжидкотекучесть расплавленного металла и флюса. Поэтому сварка возможна только в нижнем положении при отклонении плоскости шва от горизонтали не более чем на 10—15°. В противном случае нарушится формирование шва, могут образоваться подрезы и другие дефекты.
- 2.Неэффективность при сварке коротких швов (менее 400 мм)
- 3.Подготовка деталей и сборка конструкции для сварки под флюсом должны выполняться особенно тщательно. Свариваемые кромки перед сборкой должны быть тщательно очищены от ржавчины, грязи, масла, влаги и шлаков.Требуется соблюдать высокую точность размеров разделки кромок и равномерности зазора между ними.
4. Ограниченная маневренность сварочных автоматов.

5. Большой расход и относительно высокая стоимость флюса [2].

Сварке под флюсом характерен струйный перенос капли электрода. При струйном переносе образуются мелкие капли, которые следуют одна за другой в виде непрерывной цепочки (струи). Струйный перенос электродного металла возникает при сварке проволокой малого диаметра с большой плотностью тока. Струйный перенос электродного металла приводит к меньшему выгоранию легирующих примесей в сварочной проволоке и к повышенной чистоте металла каплей и шва. Скорость расплавления сварочной проволоки при этом увеличивается. Поэтому струйный перенос электродного металла имеет преимущества перед капельным. [5].

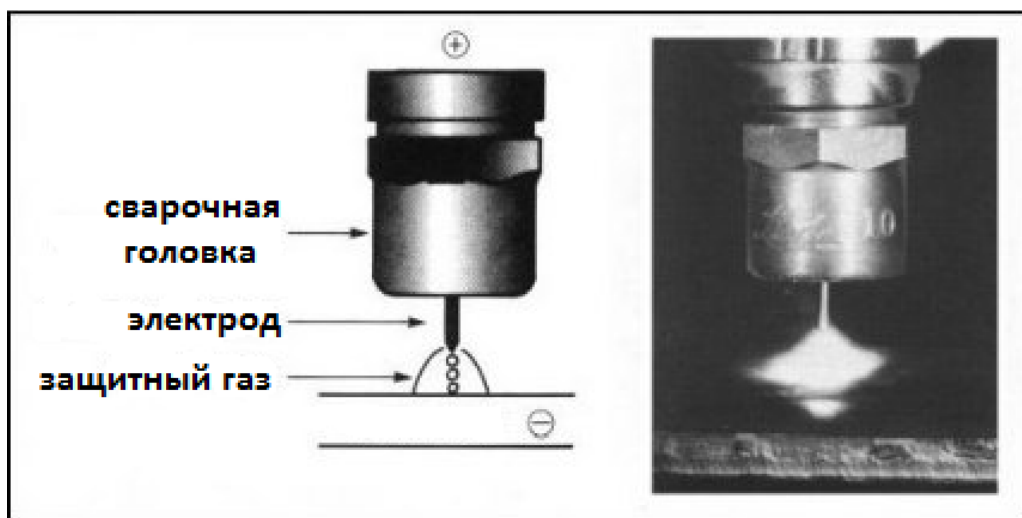


Рисунок 1.4. Схема струйного переноса капли [5].

2.Сварочный трактор Pandaweld 1250

Сварочный трактор - самоходный автомат для дуговой электрической сварки, который представляет собой автоматическую головку, установленную на самоходной тележке, которая перемещается с помощью электродвигателя по свариваемому изделию или по направляющему рельсовому пути вдоль свариваемого шва. Сварочный трактор **Pandaweld 1250** (см Рис. 2.1) применяется при изготовлении и монтаже различных строительных конструкций (ферм, мачт, балок), наружных и внутренних кольцевых швов, при сварке труб и угловых швов. Им можно производить сварку всех видов швов в нижнем положении.

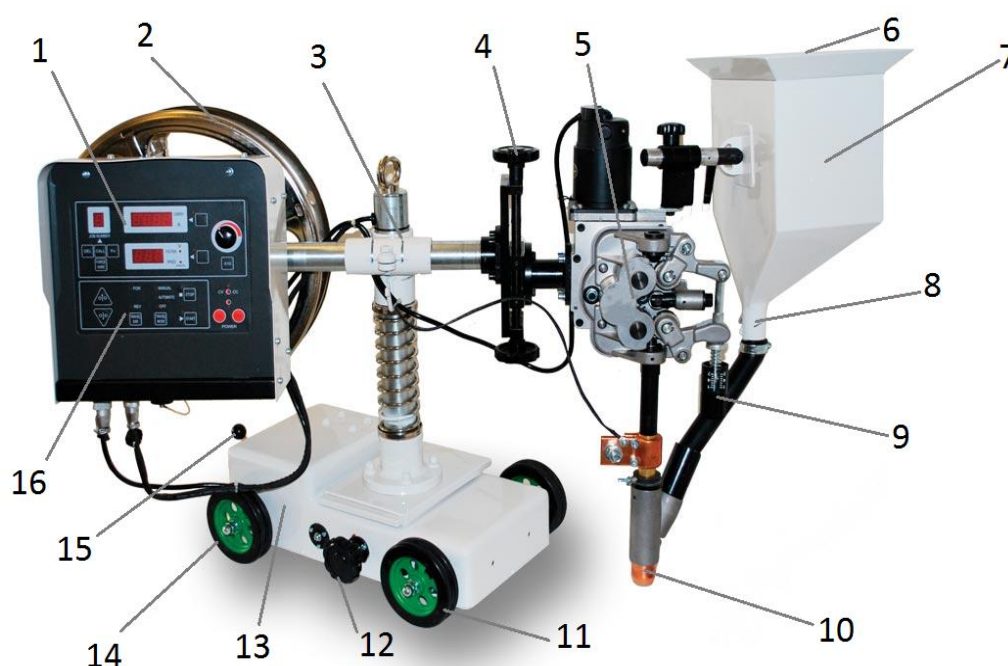


Рисунок 2.1. Сварочный трактор Pandaweld 1250:

1 – электроизмерительные приборы; 2 – катушка для электродной проволоки; 3 - крепление для перемещения сварочной головки; 4 – регулятор высоты сварочной головки; 5 – механизм подачи проволоки; 6 – сетчатый фильтр для флюса; 7 – бункер для флюса; 8 – ручка для подачи флюса; 9 – ручка зажима и выпрямления проволоки; 10 – мундштук; 11 – направляющие колёса; 12 – ручка для перемещения сварочной головки (вперёд, назад); 13 – электродвигатель для подачи электродной проволоки и передвижения трактора; 14 – ведущие колёса; 15 – рычаг для переключения режима движения (автомат, мануал); 16 – пульт с кнопками управления [6].

Таблица 2.1 Технические характеристики сварочного трактора **Pandaweld 1250** [6].

Значения	Параметры
Максимальный ток, А	1250 А
Диаметр электродной проволоки, мм	2-6 мм
Скорость сварки, м/мин	0.2~2.2 м/мин
Скорость подачи проволоки, м/мин	0.3~3.0 м/мин
Масса трактора, кг	54 кг
Габаритные размеры (длина × ширина × высота) мм	1020мм×480мм ×740мм
Грузоподъемность катушки с проволокой, кг	25 кг
Вместимость бункера для флюса	6 литров
Угол отклонения сварочной горелки	±45°
Угол отклонения головки машины	±90°
Регулируемое расстояние головки машины	100 мм x 100 мм x 70 мм (вверх / вниз, влево / вправо, вперед / назад)

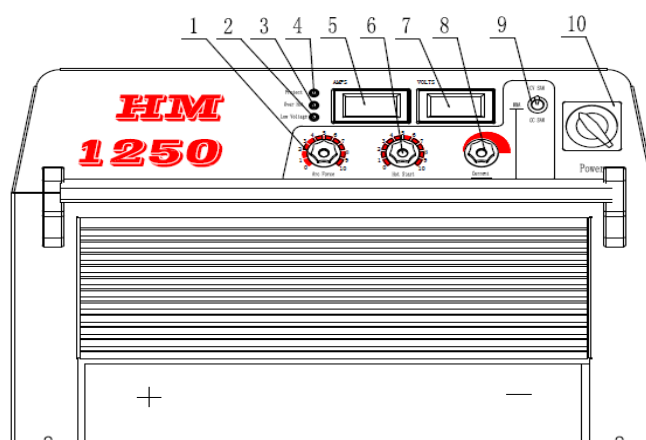


Рисунок 2.2. Панель Pandaweld 1250[6].

1. регулятор тяги для ручной сварки
2. индикатор низкого напряжения
3. сигнальная лампа перегрева
4. индикаторная лампа(изменение силовой цепи)
5. амперметр
6. ручка регулировки горячего старта
7. вольтметр
8. ручка регулирования сварочного тока
9. ручка зажима и выпрямления проволоки
10. переключение режима сварки CC/CV

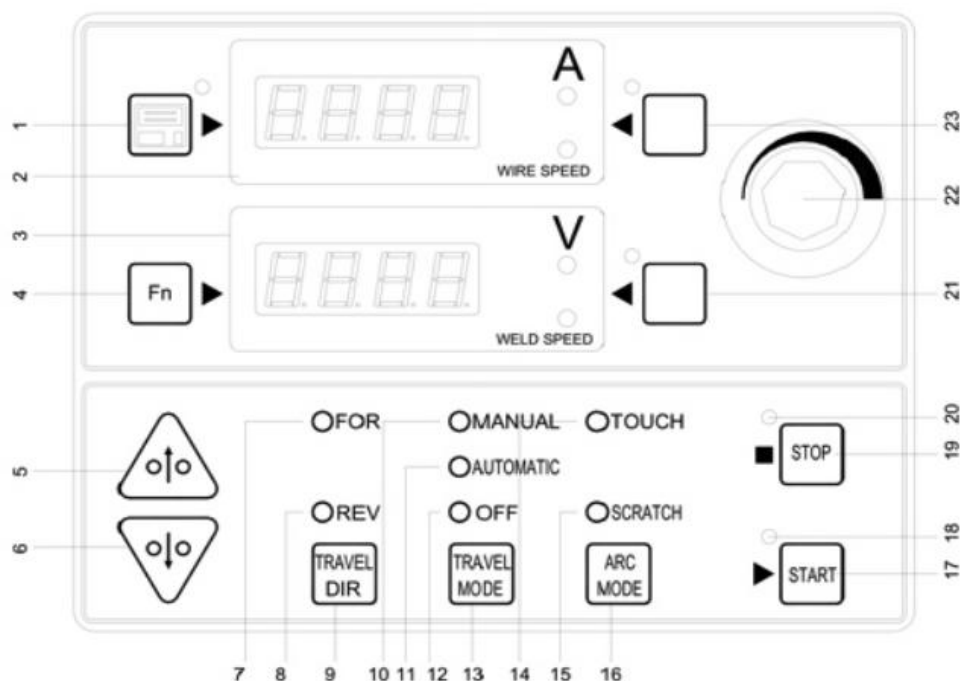


Рисунок 2.3. Операционная панель трактора Pandaweld 1250[6].

1. Сохранённые программы (параметры сварки)
2. Дигитальный дисплей с отображением параметров сварки
3. Дигитальный дисплей с отображением параметров сварки
4. Fn. Функция используется, чтобы вызвать вторичные параметры меню
5. Втягивание электродной проволоки
6. Выдвижение электродной проволоки
7. “FOR”Индикаторная лампа показывает, что тележка движется вперед

8. “REV”Индикаторная лампа показывает, что тележка движется назад
9. Кнопка для переключения направления движения трактора
10. Индикаторная лампапоказывает ручное управление скоростью движения
11. Индикаторная лампа показывает автоматический режим движения
12. Индикаторная лампа показывает, что движение отключено
13. Кнопка для переключения режима движения трактора
14. Процесс сварки при касании электрода по металлу
15. Процесс сварки при царапанье электрода по металлу
16. Тип зажигания дуги
17. Кнопка запуска
18. Индикаторная лампа показывает, что идёт процесс сварки
19. Кнопка остановки
20. Индикаторная лампа показывает, что процесса сварки нет
21. Кнопка для переключения параметра (скорость сварки, напряжение)
22. Ролик для регулирования выбранного параметра
23. Кнопка для переключения параметра (сила тока, скорость подачи проволоки)

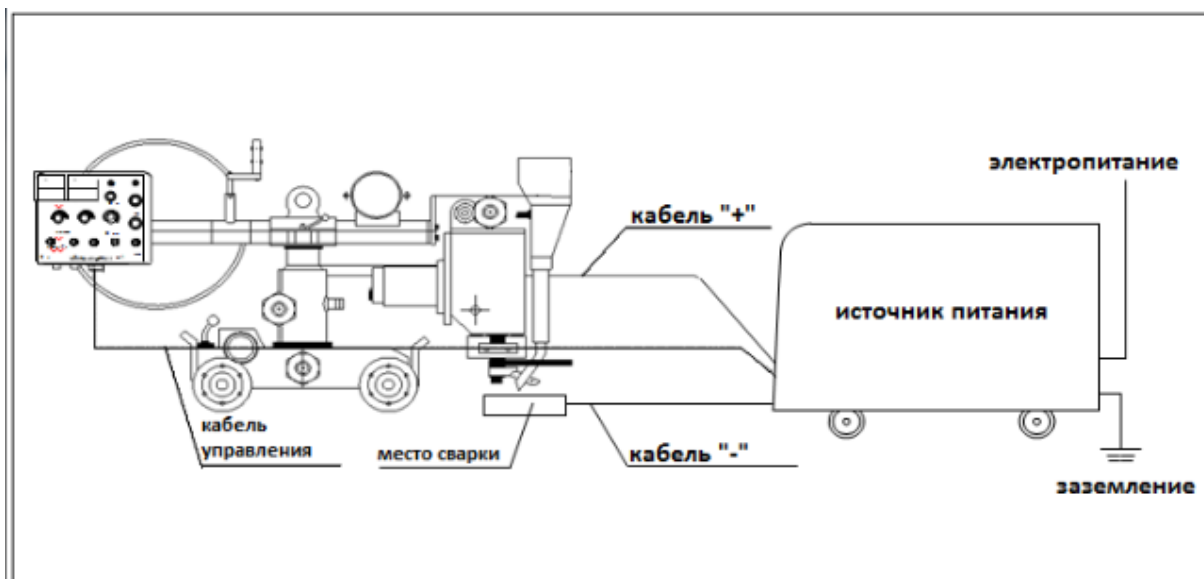


Рисунок 2.4. Соединения сварочной системы **Pandaweld 1250** [6].

3.Режимы сварки СС/CV

СС–падающаявольтампернаяхарактеристика

CV–жесткаявольтампернаяхарактеристика

Сварка под слоем флюса может осуществляться с использованием одной из двух внешних характеристик: Падающей (СС), с практически штыковым рабочим участком ВАХ (Вольт-амперная характеристика)и жесткой (CV), что дает возможность применить способ сварки тонкой проволокой. На рисунке 3 представлены внешние характеристики источника питанияPandaweld 1250, соответственно для режимов CV и СС. [7]

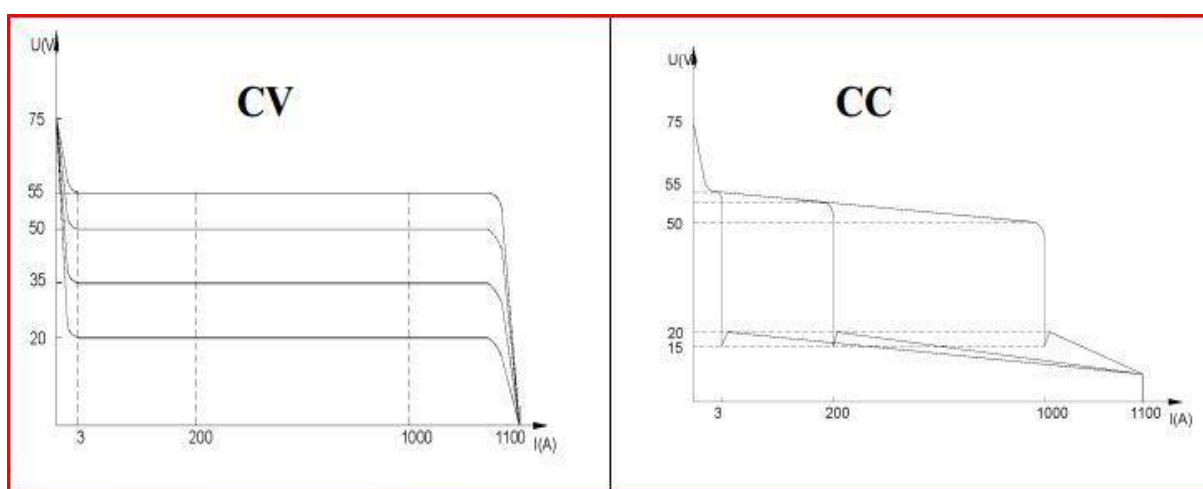


Рисунок 3.1.Внешние характеристики источника питанияPandaweld 1250 [7].

Сварка под флюсом на постоянном токе обратной полярности (DC+) спадающей вольтамперной характеристикой СС на протяжении многих лет являлась наиболее распространенным сварочным процессом по ряду причин:

1. Сварка на постоянном токе прямой полярности (DC-), позволяя увеличить скорость наплавки, в то же время более подвержена дуге, тем самым этот сварочный процесс ведёт к повышению проценту формирования внутренних и внешних дефектов в сварном соединении.
2. Традиционный процесс сварки синусоидальным переменным током (AC) печально известен нестабильностью поджига дуги и связанными с этим проблемами. Кроме того, при сварке на переменном токе используется только одна фаза, что вызывает перекос фаз в подстанции.

Однако нельзя упомянуть о том, что известны отдельные процессы, при которых сварка на переменном токе обеспечивает прекрасные результаты:

3.

Процесс сварки на постоянном токе обратной полярности DC+ с жесткой вольт-амперной характеристикой CV, обычно успешен только при использовании электрода меньшего диаметра и/или при выполнении проходов с небольшим объемом наплавки. Большие сварочные ванны, возникающие при использовании электрода большего диаметра, в таком режиме вызывают броски тока, приводящие к пробоям флюса сварочной дугой и нарушению защиты дуги и сварочной ванны. В результате при застывании сварочной ванны ее поверхность становится грубой [2].

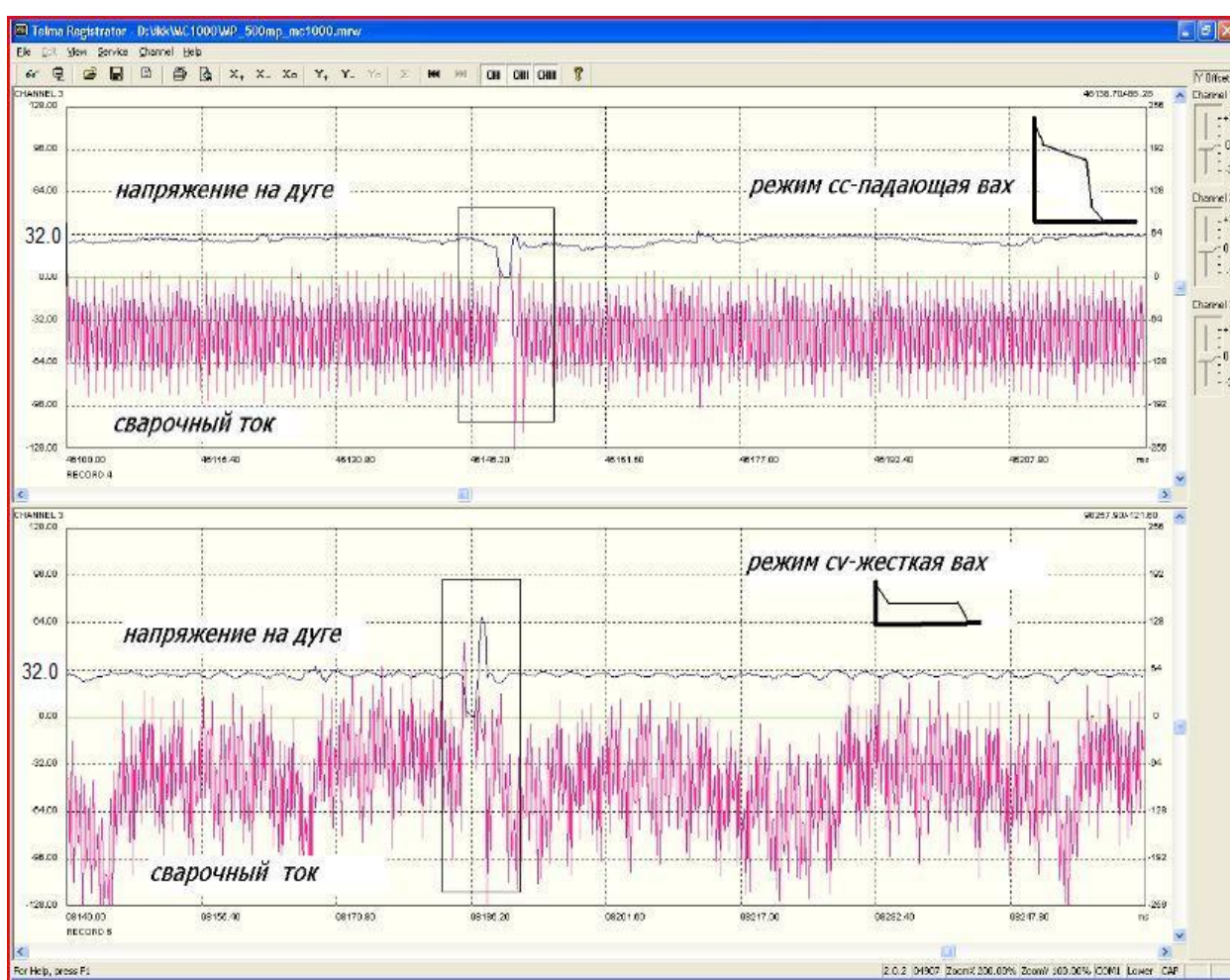


Рисунок 3.2. Регистрограмма процесса сварки под слоем флюса. Показан момент отработки возмущений при пересечении ранее наложенного сварного шва [7].

Наличие двух режимов работы CC и CV позволяет существенно расширить технологические возможности - практически в одном источнике реализованы два

существующих алгоритмов работы тракторов типа Pandaweld 1250. Это позволяет практически во всех случаях выбирать лучший режим работы и поддерживать заданные формы и стабильные размеры сварного шва по всей его длине, в том числе и в случае пересечения сварных швов.[7].

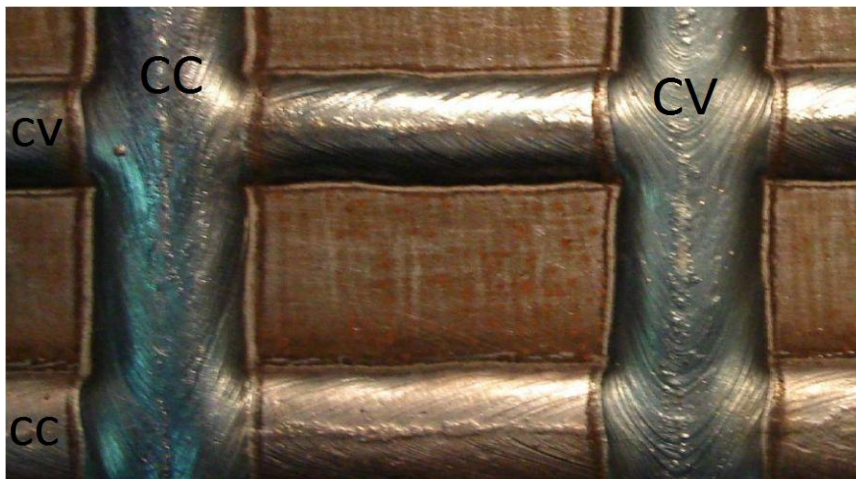


Рисунок 3.3. Сварные соединения, выполненные при разных режимах CC/CV [7].

3.1 Ориентировочные режимы сварки под флюсом

Параметры режима сварки зависят от толщины и свойств свариваемого металла и обычно приводятся в технических условиях на сварку конкретного изделия и корректируются при сварке опытных образцов. При отсутствии таких данных режимы подбирают экспериментально. Основным условием для успешного ведения процесса сварки является поддержание стабильного горения дуги. Для этого определенной силе сварочного тока должна соответствовать своя скорость подачи электродной проволоки. Скорость подачи должна повышаться с увеличением вылета электрода. При его постоянном вылете увеличение скорости подачи уменьшает напряжение дуги. При использовании легированных проволок, имеющих повышенное электросопротивление, скорость подачи должна возрастать.

Влияние скорости сварки на глубину проплавления и ширину шва носит сложный характер. Сначала при увеличении скорости сварки давление дуги все больше вытесняет жидкий металл, толщина прослойки жидкого металла под дугой уменьшается, и глубина проплавления возрастает. При дальнейшем увеличении

скорости сварки (>20 м/ч) заметно снижается погонная энергия и глубина проплавления начинает уменьшаться. Во всех случаях при увеличении скорости сварки ширина шва уменьшается. При скорости сварки >70...80 м/ч по обеим сторонам шва возможны несплавления с кромкой или подрезы.

Диаметр электродной проволоки заметно влияет на форму и размеры шва, особенно на глубину проплавления. Как видно из табл.3.1.1, при отсутствии источников, обеспечивающих необходимый сварочный ток, требуемая глубина проплавления может быть достигнута при уменьшении диаметра используемой электродной проволоки[8].

Таблица 3.1.1. Глубина проплавления стыкового шва при различных диаметрах электродной проволоки и величинах сварочного тока (А) [8].

Глубина проплавления, мм	Диаметр электродной проволоки, мм	Сварочный ток, А
3	5	450
	4	375
	3	300
	2	200
4	5	500
	4	425
	3	350
	2	300
5	5	550
	4	500
	3	400
	2	350
6	5	600
	4	550
	3	500
	2	400
8	5	725
	4	675
	3	625
	2	500
10	5	925
	4	900
	3	750
	2	600
12	5	930
	4	925
	3	875
	2	700

Род и полярность тока влияют на глубину провара. По сравнению с постоянным током прямой полярности сварка на постоянном токе обратной полярности на 40 ...50 %, а на переменном на 25.. .30 % увеличивает глубину проплавления. Изменение температуры изделия в пределах -60...+350°С практически не влияет на размеры и форму шва. При подогреве изделия до более высокой температуры возрастают глубина и особенно ширина шва.

Состав флюса, его насыпная масса также изменяют форму и размеры шва. При увеличении насыпной массы флюса глубина проплавления возрастает, ширина шва уменьшается.

Стыковые швы выполняют односторонней односторонней сваркой, двусторонней одно- или многопроходной сваркой. При односторонней сварке металла толщиной до 4...6 мм без разделки кромок зазор при сборке устанавливают минимальным. Для металла толщиной 10...12 мм стыки собирают с зазором. Тонкие листы (до 10 мм) и цилиндрические конструкции соединяют на стальных подкладках толщиной 3...6 и шириной 30...50 мм, если они не запрещены по условиям работы конструкции.

Одностороннюю сварку на флюсовой подушке применяют для сварки листовых конструкций и выполнения кольцевых швов, как с разделкой, так и без разделки кромок с обязательным технологическим зазором (табл. 3.1.2).[8].

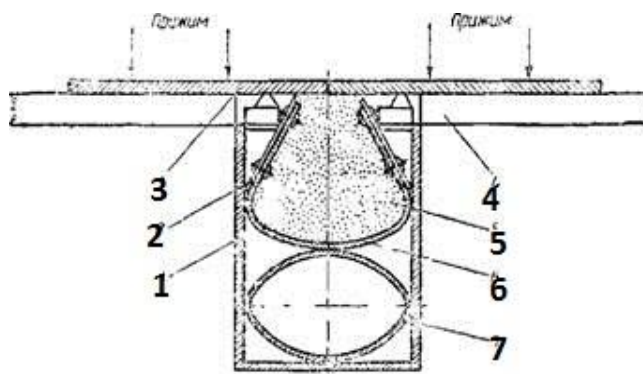


Рис.3.1.1. Схема приспособления для сварки на флюсовой подушке:
1 — корыто; 2 — упорная планка; 3 — свариваемый лист; 4 — сварочный стол; 5 — флюсовая подушка;
6 — брезентовая ткань; 7 — шланг (изображен в рабочем положении). [8].

В процессе сварки свариваемые кромки полностью проплавляются и образуется шов, имеющий усиление с верхней и нижней стороны стыка. Жидкий металл расплавляет часть флюса подушки, и поэтому сварной шов покрыт шлаковой коркой не только с наружной, но и с внутренней стороны.

Таблица 3.1.2. Типовые режимы сварки сталей на флюсовой подушке.[8].

Толщина металла, мм	Ширина зазора в стыке, мм	dэ	Iсв, А	Uд, В	Vсв, м/ч	Давление возд уха в шланге флюсовой подушки, кПа
2	0... 1,0	1,6	120	24...28	43,5	80
3	0...1,5	2	275 ... 300	28...30	44,0	
		3	400 .. .425	25 ...28	70,0	
5	0...2,5	2	425 .. .500	32.. .34	35,0	100... 150
		4	575.. .625	28.. .30	46,0	108
8	0... 3,5			725 .. .775	30.. .36	34,0

Сварка без подкладок возможна только при условии плотной и точной сборки стыка без зазоров и глубине провара $\leq 2/3$ толщины металла. Двусторонняя однопроходная сварка обеспечивает более высокое качество швов за счет уменьшения влияния изменения режимов сварки и точности сборки стыков. Первый проход двустороннего шва выполняют на флюсовой подушке или на весу. Второй проход с обратной стороны осуществляют после зачистки корня шва первого прохода. Режимы сварки первого слоя выбирают так, чтобы глубина провара не превышала половины толщины металла. Второй шов сваривают с проваром, равным 0,65...0,7 толщины основного металла (табл. 3.1.3.)[8]

Таблица 3.1.3. Режимы механизированной сварки под флюсом двусторонних стыков швов без разделки кромок.[8]

Толщина металла , мм	Зазор в стыке, мм	Iсв, А	Uд, В	Vсв, м/ч
14	3.. .4	700...750	34.. .36	30
20	4 ...5	850...900	36.. .40	27
24		900...950	38. ..42	25
30	6.. .7	950...1000	40. ..44	16
40	8.. .9	1100.. . 1200		12
50	10.. .11	1200.. . 1300	44 ...48	10

Многопроходные двусторонние швы применяют для стыковых соединений металла толщиной >20 мм с разделкой кромок. Число слоев определяется толщиной металла и

режимом сварки. Ориентировочные режимы многопроходной автоматической сварки под флюсом стали с X и U-образной разделкой кромок приведены в табл. 3.1.4.

Таблица 3.1.4. Режимы многопроходной сварки сталей под флюсом.[8].

Толщина металла , мм	Разделка кромок	dэ	Число слоев	Исв, А	Уд, В	Vсв, м/ч
70	U-образная	8	16	1000.. .1050	35. ..40	28
90	U-образная		22			
30	X-образная	6	8	900 ... 1100	36.. .40	20

Сварку угловых швов выполняют при положении в лодочку или в угол (рис .3.1.2). Сварку в лодочку (а) выполняют при симметричном или несимметричном расположении электрода.

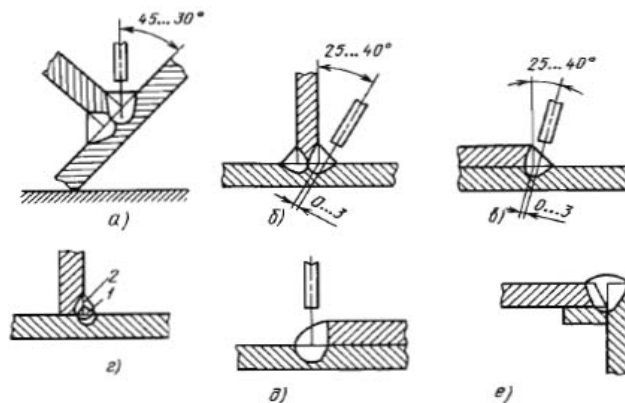


Рисунок 3.1.2. Схемы сварки угловых швов: 1 и 2 - первый и второй проходы[8].

Способ сварки в угол не требует специальных мер против вытекания жидкого металла, поэтому зазор может быть увеличен до 3 мм. При увеличенных зазорах выполняют ручную или механизированную подварку швом, который переплавляется при сварке основного шва.

Для обеспечения провара при различной толщине свариваемых элементов сварку осуществляют в несимметричную лодочку или несимметрично наклонным электродом. Для предупреждения подреза при сварке наклонным электродом его смещают, как показано на рис. 3.1.2, б и в. Последовательность сварки многопроходных швов показана на рис. 3.1.2, г. Швы следует располагать так, чтобы ранее наложенный валик препятствовал стеканию металла и шлака последующих слоев.

Сварка вертикальным электродом с оплавлением верхней кромки нахлесточного соединения (см . рис. 3.1.2, д) применяется , когда толщина листа ≤ 8 мм . При этом формируются нормальные швы с вертикальным катетом, равным толщине верхнего

листа. Горизонтальный катет обычно больше вертикального в 1,5 - 2 раза. Угловые соединения можно сваривать вертикальным электродом с медной подкладкой (см . рис. 3.1.2, е) или с гибкими самоклеящимися флюсонесущими лентами.[8]

Плотность тока при автоматической сварке под флюсом изменяется в достаточно широком диапазоне (табл. 3.1.5) [8].

Таблица 3.1.5. Влияние силы сварочного тока и его плотности на глубину проплавления [8].

Диаметр электродной проволоки, мм	Сила и плотность сварочного тока	Глубина проплавления, мм					
		3	4	5	6	8	10
1	Сила сварочного тока, А	200	300	350	400	500	600
	Плотность тока, А/мм ²	65	104	127	143	157	200
2	Сила сварочного тока, А	300	350	400	500	625	750
	Плотность тока, А/мм ²	43	50	57	71	89	107
3	Сила сварочного тока, А	375	425	500	550	675	800
	Плотность тока, А/мм ²	29	36	40	44	53	64
4	Сила сварочного тока, А	450	500	550	600	725	825
	Плотность тока, А/мм ²	23	26	28	31	37	42

Таблица 3.1.6. Ориентировочные режимы сварки стыковых соединений сварочного трактора **Pandaweld 1250** [6].

Толщина материала мм	dэ	Iсв, А	Uд, В	Скорость сварки см/мин	Теплопередача мм/кДж
3	1,6	270 - 300	28-30	50 ... 65	0,9 ... 0,8
4	2,0	375-400	30-32	50 ... 65	1,4 ... 1,2
5	2,4	425-450	32-34	33 ... 50	2,4 ... 1,8
6	3,2	400-450	30-32	41 ... 50	1,7 ... 1,7
8	3,2	450-550	32-35	33 ... 50	2,6 ... 2,3
10	4,0	500-600	32-35	33 ... 41	2,9 ... 3,0
12	4,0	600-700	34-36	33 ... 50	3,7 ... 3,0
14	4,0	700-800	36-38	33 ... 50	4,5 ... 3,6
15	5,0	800-900	36-38	33 ... 50	5,2 ... 4,1
17	5,0	850-950	38-40	33 ... 50	5,8 ... 4,6
18	5,0	900-950	38-40	41 ... 50	4,9 ... 4,6
20	5,0	850-1000	38-40	41 ... 50	4,7 ... 4,8
22	5,0	900-1000	38-40	41 ... 50	4,9 ... 4,8

Таблица 3.1.7. Режимы сварки в угол швов тавровых и нахлесточных соединений.[8].

Катет шва, мм	dэ	Iсв, А	Uд, В	Vсв, м/ч
3	2	200 ... 220	25...28	60
4	2	280 ... 300	28 ... 30	55
	3	350		
5	2	375.. 400	30...32	60
	3	450	28...30	
	4			
7	2	375 ... 400	30. . .32	28
	3	500		48
	4	675	32.. 35	50
8	4			45
	5	720 ... 750	38.. 40	50

4. Сварочные флюсы

Сварочный флюс – гранулированный порошок с размером зерен 0,2–4 мм, предназначенный для подачи в зону горения дуги при сварке. По способу производства сварочные флюсы делятся на плавленные и керамические (неплавленные).

Плавленные флюсы являются основными при автоматической сварке металла. Нормальные флюсы содержат зерна размером 0,35–3 мм. Флюсы мелкой грануляции состоят из зерен размером 0,25–1,0 мм и в обозначении марки имеют конечную букву М.

Изготовление флюса включает следующие процессы:

1. Размалывание до необходимых размеров сырьевых материалов (марганцевая руда, кварцевый песок, мел, плавиковый шпат, глинозем и др.
2. Перемешивание их в определенных массовых соотношениях; плавка в газопламенных или электродуговых печах.
3. Грануляция с целью получения флюса определенных размеров зерен.

Грануляцию производят выпуском расплава флюса в воду, где он остывает и растрескивается на мелкие частицы. Затем флюс сушат в барабанах или сушильных шкафах и просеивают через

сито на фракции. В состав этих флюсов в качестве основных компонентов входят марганец в виде оксида марганца и кремний в виде кремнезема.

Марганец, обладая большим сродством к кислороду, восстанавливает содержащиеся в наплавляемом металле оксиды железа. Кроме того, образуя сульфид MnS , марганец способствует удалению серы в шлак.

Кремний способствует снижению пористости металла шва, так как подавляет процесс образования оксида углерода, который является одной из основных причин образования пор в наплавленном металле.

Неплавленные флюсы представляют собой механическую смесь составляющих его материалов (кремнезем, марганцевая руда, плавиковый шпат, ферросплавы и др.). Их дробят, измельчают, дозируют и полученную смесь тщательно усредняют. Затем замешивают в строго определенных соотношениях с водным раствором жидкого стекла и, пропустив через

гранулятор, получают шарообразные гранулы. Сырые гранулы поступают на сушку и прокатку.

Отсутствие плавки позволяет вводить в состав флюсов различные ферросплавы, металлические порошки, оксиды элементов и другие материалы. Эти вещества, участвуя в металлургических

процессах сварки, значительно облегчают широкое легирование и раскисление наплавленного металла, улучшают структуру и снижают вредные примеси в металле шва. При этом используется

более простая сварочная проволока из обычной низкоуглеродистой стали. Недостатком неплавленных флюсов является их большая гигроскопичность, требующая герметичности упаковки

и более точного соблюдения режима сварки, так как он оказывает влияние на процесс легирования наплавленного металла.

Важным преимуществом неплавленных керамических флюсов является их относительно малая чувствительность к ржавчине, окалине и влаге на поверхности свариваемых кромок деталей по

сравнению с плавленными флюсами. При необходимости получения сварных швов высокого качества по ударной вязкости при низкой температуре, швов, стойких против образования пор и трещин, и некоторых других специальных швов керамические флюсы незаменимы [1][2].



Таблица 4.1. Флюсы, производимые компанией ESAB. ISO 14174:2012[5] .

Марка флюса	Химический состав флюса %	Особенности и область применения
OK Flux 10.61	Al_2O_3+MnO 15% CaF_2 25% $CaO+MgO$ 40% SiO_2+TiO_2 15%	1. Применяется в гражданском строительстве, изготовлении сосудов, работающих под давлением, энергетическом и транспортном машиностроении. 2. Высокая ударная вязкость. 3. Любая толщина листа. 4. На постоянном токе.

OK Flux 10.71	$\text{Al}_2\text{O}_3+\text{MnO}$ 35% CaF_2 15% $\text{CaO}+\text{MgO}$ 25% $\text{SiO}_2+\text{TiO}_2$ 20%	<ol style="list-style-type: none"> 1. Любая толщина листа. 2. Сочетает в себе хорошие пластические свойства наплавленного металла с превосходными сварочно-технологическими свойствами. 3. На постоянном, так и переменном токе. 4. Сварка на высоких скоростях. 5. Областью применения является судостроение или сварка магистральных трубопроводов из сталей класса прочности до X80
OK Flux 10.78	$\text{Al}_2\text{O}_3+\text{MnO}$ 40% CaF_2 10% $\text{CaO}+\text{MgO}$ 20% $\text{SiO}_2+\text{TiO}_2$ 25%	<ol style="list-style-type: none"> 1. Обладает низкой чувствительностью к ржавчине и окалине. 2. Любая толщина листа. 3. На постоянном, так и на переменном токе. 4. Применяется в гражданском строительстве, изготовление балок, сосудов работающих под давлением, судостроение, транспортное машиностроение.
OK Flux 10.81	$\text{Al}_2\text{O}_3+\text{MnO}$ 55% CaF_2 5% $\text{CaO}+\text{MgO}$ 5% $\text{SiO}_2+\text{TiO}_2$ 30%	<ol style="list-style-type: none"> 1. Предназначенный для получения гладких валиков и хорошо сформированных, вогнутых угловых швов. 2. Толщина листа до 25мм. 3. Особенно пригодным для высокоскоростной сварки. 4. Часто используется для производства сосудов работающих под давлением и спиральношовных водяных труб. 5. На постоянном, так и на переменном токе. 6. Низкая ударная вязкость.

Таблица 4.2. Химический состав некоторых флюсов, применяемых при дуговой сварке ГОСТ 9087-81[9].

Флюс	Химический состав, %
------	----------------------

	кремне-зем SiO ₂	глино-зем Al ₂ O ₃	MnO	CaO	MgO	CaF ₂	Fe ₂ O ₃ **	S	P
АН-348-А*	40–44	≤ 6	31–38	≤ 12	≤ 7	3–6	0,5–2,0	≤ 0,12	≤ 0,12
ОСЦ-45 *	37–44	≤ 6	37–44	≤ 10	≤ 3	5–9	0,5–2,0	≤ 0,12	≤ 0,14
АН-18 *	17–21	14–18	2,5–5,0	14–18	7–10	19–23	13,5–16,5	≤ 0,05	≤ 0,05
АН-42 *	30–34	13–18	14–19	12–18	–	14–20	≤ 1,0	≤ 0,06	≤ 0,10
АН-43 *	18–22	30–36	5–9	14–18	≤ 2	17–21	2,0–5,0	≤ 0,05	≤ 0,05
АН-47 *	28–33	9–13	11–18	13–17	6–10	8–13	0,5–3,0	≤ 0,05	≤ 0,08
АН-60 *	42–46	≤ 6	36–41	≤ 10	≤ 3	5–9	≤ 0,9	≤ 0,05	≤ 0,05
АН-65 *	38–42	≤ 5	22–28	≤ 8	7–11	8–12	≤ 1,5	≤ 0,05	≤ 0,05
ФЦ-7	46–48	≤ 3	24–26	≤ 3	16–18	5–6	≤ 2	≤ 0,10	≤ 0,10
ФЦ-9 *	38–41	10–13	38–41	≤ 8	≤ 3	2–3	≤ 1,5	≤ 0,10	≤ 0,10
ФЦ-17	24–28	18–22	–	≤ 6,0	23–27	11–18	≤ 1,0	≤ 0,03	≤ 0,025
ФЦ-19	20–25	18–23	–	≤ 6,0	20–25	16–21	1,0–3,0	≤ 0,03	≤ 0,03
ФЦ-22	33–37	16–21	6–9	5–9	18–22	8–12	≤ 1,0	≤ 0,04	≤ 0,03
ФВТ-1	31–35	17–22	8–11	2–6	19–24	8–12	≤ 1,0	≤ 0,05	≤ 0,05
48-ОФ-6	3,5–6,0	20–24	≤ 0,3	16–20	≤ 2,0	50–60	≤ 1,0	≤ 0,025	≤ 0,025

Таблица 4.3. Области применения флюсов[9].

Флюс	Характерная область применения при дуговой сварке
АН-348-А ОСЦ-45 ФЦ-9	углеродистые низколегированные стали
АН-18	средне- и высоколегированные стали
АН-42 АН-43 АН-47	углеродистые низколегированные и среднелегированные стали высокой и повышенной прочности

АН-60	углеродистые низколегированные стали, сварка труб
АН-65	углеродистые низколегированные стали, сварка на высоких скоростях
ФЦ-7	низкоуглеродистые стали, сварка на больших токах
ФЦ-17	высоколегированные стали аустенитного класса
ФЦ-19	высокохромистые стали
ФЦ-22	сварка угловыми швами углеродистых и легированных сталей
ФВТ-1	сварка углеродистых и легированных сталей с повышенной скоростью (до 150 м/ч)
48-ОФ-6	сварка высоколегированной проволокой

4.1. Присадочные материалы

Сварочная проволока это проволока низкоуглеродистой, высоколегированной и легированной стали. Сварочная проволока применяется в процессе сварки как проволока для сварки и в виде электродов. Преимущества сварочной проволоки это аккуратность и надежность швов, непрерывность процесса сварки, стабильное горение дуги, низкий расход материалов. Выбор сварочной проволоки зависит от того, что необходимо сварить. Для разного вида задачей требуется разные виды сварочной проволоки. Главные требования к сварочной проволоки это: чистая проволока, без окислений и грязи, проволока должна иметь такой же состав, как и металл, который сваривается, также у них должна совпадать температура плавления[2].

Сварочная проволока для сварки под флюсом, производимая компанией ESAB EN ISO 14174[5].

OK Autrod 12.10 является мягкой стальной проволокой с медным покрытием для дуговой сварки под флюсом. Может использоваться со следующими флюсами: OK Flux 10.40, OK Flux 10.45, OK Flux 10.61, OK Flux 10.70, OK Flux 10.71, OK Flux 10.80, OK Flux 10.81, OK Flux 10.82, OK Flux 10.83 и OK Flux 10.96.

Диаметр мм	2,0	2,5	3,0	4,0	5,0	6,0
-------------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------

OK Autrod 12.22 нелегированная проволока с медным покрытием для дуговой сварки под флюсом. Подходит в сочетании с большинством флюсов. Особенно подходит для нейтральных флюсов (например, OKFlux 10.62). Для конструкционных сталей, сварка под давлением, мелкозернистые стали.

Диаметр мм	2,0	2,5	3,0	4,0	5,0
-------------------	------------	------------	------------	------------	------------

ОК Autrod 12.32 омеднённая легированная проволока с содержанием марганца для дуговой сварки под флюсом средних и высокопрочных конструкционных сталей. ОК Autrod 12.32 предпочтительно следует использовать вместе с не легирующими или слегка легирующими флюсами, такие как ОК Flux 10,62, когда высокие требования к качеству металла сварного шва должны быть удовлетворены. Она также может быть использована с ОК Flux 10,40, 10,61 ОК Flux.

Диаметрмм	2,0	2,5	3,0	4,0	5,0
------------------	------------	------------	------------	------------	------------

ОК Autrod 12.40 омеднённая легированная проволока с содержанием марганца, для дуговой сварки под флюсом и электрошлаковой сварке. Может использоваться с ОК Flux 10,62 и 10,50 ОК Flux

Диаметр мм	2,0	3,0	4,0	5,0
-------------------	------------	------------	------------	------------

Таблица 4.1.1. Типичные свойства наплавленного металла после сварки [5].

Марка проволоки	Химический состав			Механический состав				
	C	Si	Mn	σ_T [МПа]	σ_B [МПа]	δ [%]	T [°C]	KCV [Дж/см ²]
ОК Autrod 12.10	0,07	0,15	0,50	355	445	26	+20	225
							-20	125
ОК Autrod 12.22	0,08	0,35	1,00	420	500	30	-20	163
							-40	88
							-62	44
ОК Autrod 12.32	0,09	0,30	1,40	440	550	26	-20	138
							-50	69
							-62	44
ОК Autrod 12.40	0,08	0,15	1,80	480	570	25	-30	75
							-51	44

Таблица 4.1.2. Сварочная проволока для сварки под флюсом ГОСТ 2246-70 [10].

Наименование проволоки	Применение проволоки
Св-08, Св-08А, Св-08АА	Автоматическая сварка под флюсом углеродистых сталей с пределом текучести 235-285 МПа, изготовление электродов, предназначенных для сварки низкоуглеродистой и низколегированной стали.
Св-08Г1НМА	Автоматическая сварка под флюсом низколегированных сталей повышенного уровня прочности и хладостойкости. Предназначена для однопроходной одно- или двусторонней сварки под флюсом сталей толщиной до 25 мм различного типа легирования и категорий прочности (К55-К65).
Св-08ГА	Автоматическая сварка под флюсом углеродистых сталей с пределом текучести 235-440 МПа (конструкций мостов, опор, труб, трубопроводов и котлов, работающих при высоких давлениях и температурах).
Св-08ХМ	Автоматическая сварка под флюсом нефтегазопроводных труб и металлоконструкций ответственного назначения из углеродистых и низколегированных сталей с пределом текучести 235-440 МПа(конструкций мостов, опор, труб, трубопроводов и котлов, работающих при высоких давлениях и температурах).
Св-10Г2	Автоматическая сварка под флюсом углеродистых сталей с пределом текучести 235-440 МПа.
Св-10ГА	Автоматическая сварка под флюсом углеродистых и низколегированных сталей с пределом текучести 235-440 МПа.
Св-10ГН	Механизированная сварка под флюсом в судостроении и химическом машиностроении.
Св-10НМА	Автоматическая сварка под флюсом низколегированных сталей повышенного уровня прочности и хладостойкости металлоконструкций ответственного назначения (конструкций мостов, опор, котлов, труб и трубопроводов работающих при высоких давлениях и температурах).

5. Экспериментальная часть

Экспериментальная часть заключалась в том, что следовало наплавить швы на пластину при разных режимах СС/СV и изменением ($I_{св}$, U_d и $V_{св}$), причём ($I_{св}$, U_d и $V_{св}$) – контролируемые параметры. Неконтролируемыми параметрами были: скорость подачи проволоки, величина зазора между проволокой и свариваемым металлом, высота между наконечником и свариваемым металлом, количество подаваемого флюса. Следовало провести разрез шва, провести шлифовку и измерить геометрию швов (ширину шва, выпуклость шва и глубину провара). На основе этих данных сделать соответствующие выводы.

Марка флюса(FL188F(CH) Pandaweld)и проволоки(AWSA5.17 EM 12K 4мм) не менялись.

Свариваемый металлконструкционная сталь S355, свариваемость: без ограничений

Химический состав													
Марка стали	C макс. %		Mn макс. %	Si макс. %	P макс. %	S макс. %	N макс. %	Cu макс. %	Другие макс. %	CEV макс. %			
	≤16	>16 ≤40	>40							≤30	>30 ≤40	>40 ≤125	
S355J2	0,20	0,20	0,22	1,60	0,55	0,030	0,030	-	0,55	-	0,45	0,47	0,47

Марка стали	Минимальный предел текучести ReH МПа						Предел прочности на разрыв Rm МПа		Минимальное удлинение - A Lo = 5,65 √So (%)				Ударная вязкость	
	Номинальная толщина мм						Номинальная толщина мм		Номинальная толщина мм				Температура	Мин. поглощенной энергии
	≤16	>16 ≤40	>40 ≤63	>63 ≤80	>80 ≤100	>100 ≤125	>3 ≤100	>100 ≤125	>3 ≤40	>40 ≤63	>63 ≤100	>100 ≤125	°C	Дж
S355J2	355	345	335	325	315	295	470-630	450-600	22	21	20	18	+20	27
													0	27
													-20	27

Рисунок 5.1. Химический состав сталии механические свойства стали S355

5.1. Испытание аппарата

Первый шов: длинна 250мм, ширина 35мм

Тип шва	Толщина материала мм	I _{св} , А	U _д , В	V _{св} ед.	d _э мм	Режим сварки CV/CV (ВAХ)	Марка материала
Наплавление	11 мм	600 А	34 В	5	4мм	СС	S355



Формула тепловложения Q (кДж/мм), $v_{ед.} = 310$ мм/мин, k – КПД сварки под флюсом ~ 0.9

$$Q = k \cdot I_{св} \cdot U_{д} \cdot 60 / v_{св} \cdot 1000 = 0,9 \cdot 600 \cdot 34 \cdot 60 / 310 \cdot 1000 = 3,55 \text{ кДж/мм}$$

Второй шов: длинна 135мм, ширина 25мм

Тип шва	Толщина материала мм	I _{св} , А	U _д , В	V _{св} ед.	d _э мм	Режим сварки CV/CV (ВAХ)	Марка материала
Наплавление	11 мм	500 А	34 В	8	4мм	СС	S355



$v_{ед.} = 510$ мм/мин.

$$Q = 0,9 \cdot 500 \cdot 34 \cdot 60 / 510 \cdot 1000 = 1,8 \text{ кДж/мм}$$

Третий шов: длинна 285мм, ширина 20мм

Тип шва	Толщина материала мм	I _{св} , А	U _д , В	V _{св} ед.	d _э мм	Режим сварки CV/CV (ВAХ)	Марка материала
---------	----------------------	---------------------	--------------------	---------------------	-------------------	--------------------------	-----------------

Наплавление	11 мм	500 А	32В	11	4мм	СС	S355
-------------	-------	-------	-----	----	-----	----	------



11ед. = 710 мм/мин.

$$Q = 0,9 \cdot 500 \cdot 32 \cdot 60 / 710 \cdot 1000 = 1,22 \text{ кДж/мм}$$

5.2. Сварка при различных режимах СС/СV и изменением V_{св}.

Длина швов ~ 175мм, 9,5ед. = 610 мм/мин, 11ед. = 710 мм/мин, V_{пп} – скорость подачи проволоки 13 см/мин.

Таблица 5.2.1. Параметры при сварки первых 4 швов

Номер шва Тип шва,	Толщина материала мм	I _{св} ,А	Уд,В	V _{св} ед.	dэ мм	Режим сварки CV/CV (ВАХ)	Марка материала
1 Наплавление	13 мм	600 А	34 В	9,5	4мм	СС	S355
2 Наплавление	13 мм	600 А	34 В	11	4мм	СС	S355
3 Наплавление	13 мм	400А	34 В	9,5	4мм	CV	S355
4 Наплавление	13 мм	400А	34 В	11	4мм	CV	S355



Рисунок 5.2.1. Наплавленные швы при разных режимах сварки СС/СV и изменением $V_{св}$.

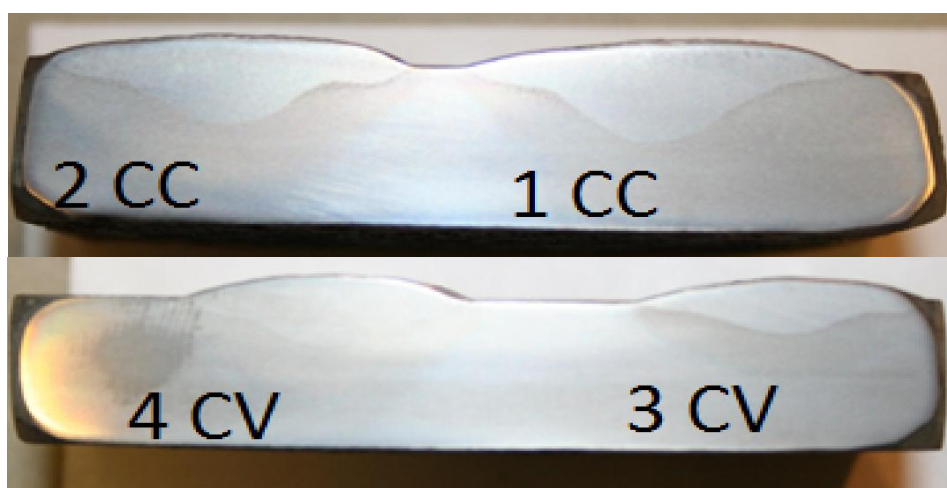


Рисунок 5.2.2. Швы в разрезе, можно увидеть глубину провара

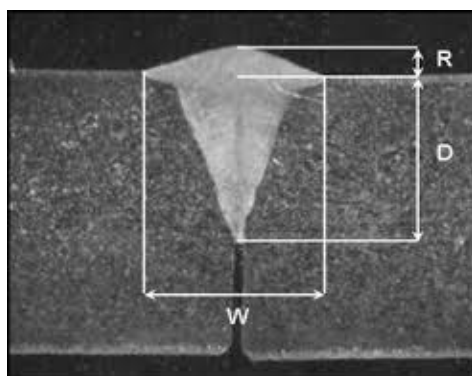


Рисунок 5.2.3. Измерение величин

Замеры проводились штангенциркулем, точность $\pm 0,3$ мм

Таблица 5.2.2. Результаты замеров

№ шва, режим	W Ширина шва мм	D Глубина провара мм	R Выпуклость шва мм	Тепловложение кДж/мм
1 СС	23 мм	6,6 мм	1,9 мм	1,81
2 СС	21,1 мм	5,1 мм	2,1 мм	1,55
3 CV	18,5 мм	3,3 мм	2,0 мм	1,2
4 CV	19,3 мм	2,9 мм	2,1 мм	1,03

1) $Q = 0,9 \cdot 600 \cdot 34 \cdot 60 / 610 \cdot 1000 = 1,81$ кДж/мм

2) $Q = 0,9 \cdot 600 \cdot 34 \cdot 60 / 710 \cdot 1000 = 1,55$ кДж/мм

3) $Q = 0,9 \cdot 400 \cdot 34 \cdot 60 / 610 \cdot 1000 = 1,2$ кДж/мм

4) $Q = 0,9 \cdot 400 \cdot 34 \cdot 60 / 710 \cdot 1000 = 1,03$ кДж/мм

5.3. Сварка при различных режимах СС/CV и изменением Ud.

Длина швов ~ 175 мм, 9,5 ед. = 610 мм/мин, V_{пп} – скорость подачи проволоки 11 см/мин.

Таблица 5.3.1. Параметры при сварке вторых 4 швов

Номер шва Тип шва,	Толщина материала мм	I _{св} , А	U _д , В	V _{св} ед.	d _э мм	Режим сварки CV/CV (ВАХ)	Марка материала
5 Наплавление	13 мм	400А	34 В	9,5	4мм	CV	S355
6 Наплавление	13 мм	400А	32 В	9,5	4мм	CV	S355
7 Наплавление	13 мм	600 А	32 В	9,5	4мм	СС	S355
8 Наплавление	13 мм	600 А	34 В	9,5	4мм	СС	S355



Рисунок 5.3.1. Наплавленные швы при разных режимах сварки СС/СV и изменением Уд.

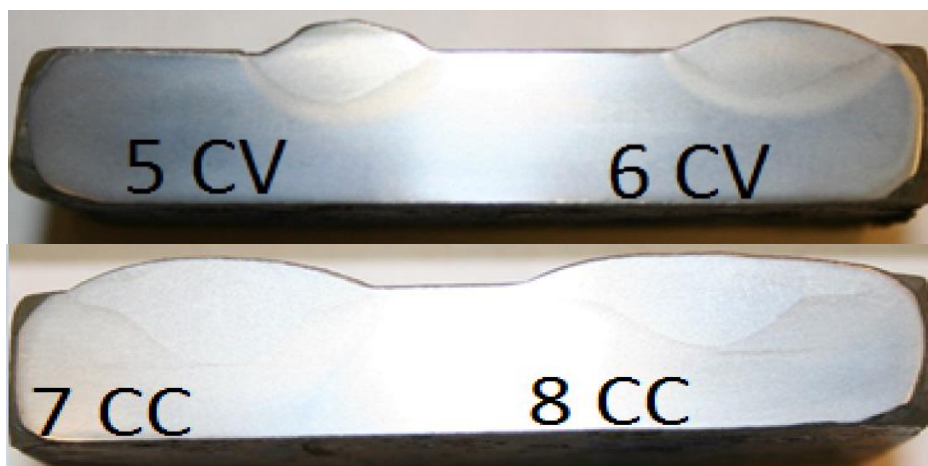


Рисунок 5.3.2. Швы в разрезе, можно увидеть глубину провара

Таблица 5.3.2. Результаты замеров

№ шва, режим	W Ширина шва мм	D Глубина провара мм	R Выпуклость шва мм	Тепловложение кДж/мм
5 CV	15,7 мм	4,1 мм	2,8 мм	1,2
6 CV	15,4 мм	4,0 мм	2,6 мм	1,13
7 СС	21,3 мм	7,3 мм	2,3мм	1,7
8 СС	24,8 мм	6,1 мм	2,1 мм	1,81

5) $Q = 0,9 \cdot 400 \cdot 34 \cdot 60 / 610 \cdot 1000 = 1,2$ кДж/мм

- 6) $Q = 0,9 \cdot 400 \cdot 32 \cdot 60 / 610 \cdot 1000 = \mathbf{1,13}$ кДж/мм
 7) $Q = 0,9 \cdot 600 \cdot 32 \cdot 60 / 610 \cdot 1000 = \mathbf{1,7}$ кДж/мм
 8) $Q = 0,9 \cdot 600 \cdot 34 \cdot 60 / 610 \cdot 1000 = \mathbf{1,81}$ кДж/мм

5.4. Статистический анализ результатов экспериментальной части.

Был проведен статистический анализ данных. В результате анализа выявлены зависимости контролируемых параметров сварки стыковых соединений из углеродистой и низколегированной стали при использовании механизированной сварки под слоем флюса. Регрессионный анализ экспериментальных данных выявил значительную зависимость в глубине провара от силы сварочного тока (см Рис. 24). При этом опытные данные не выявили значительной зависимости глубины провара от напряжения сварочной дуги, (см Рис. 5.4.1)

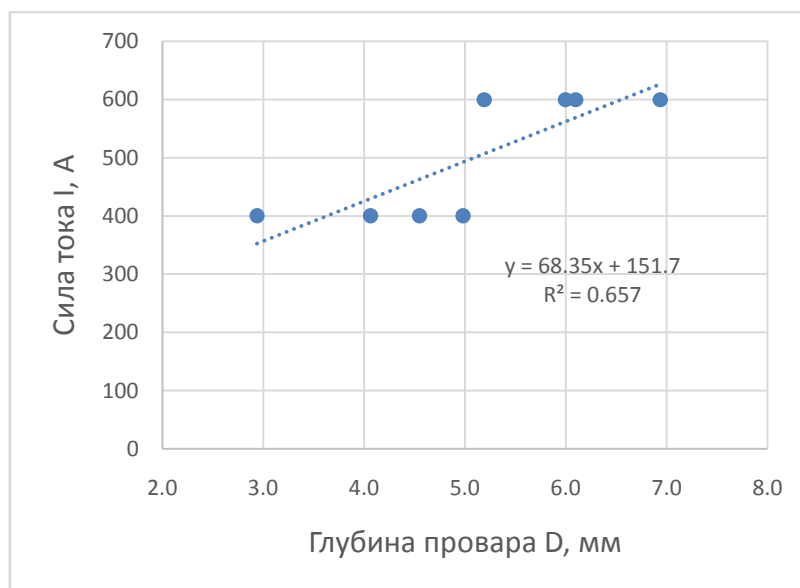


Рисунок 5.4.1. Зависимость глубины провара от от силы сварочного тока.

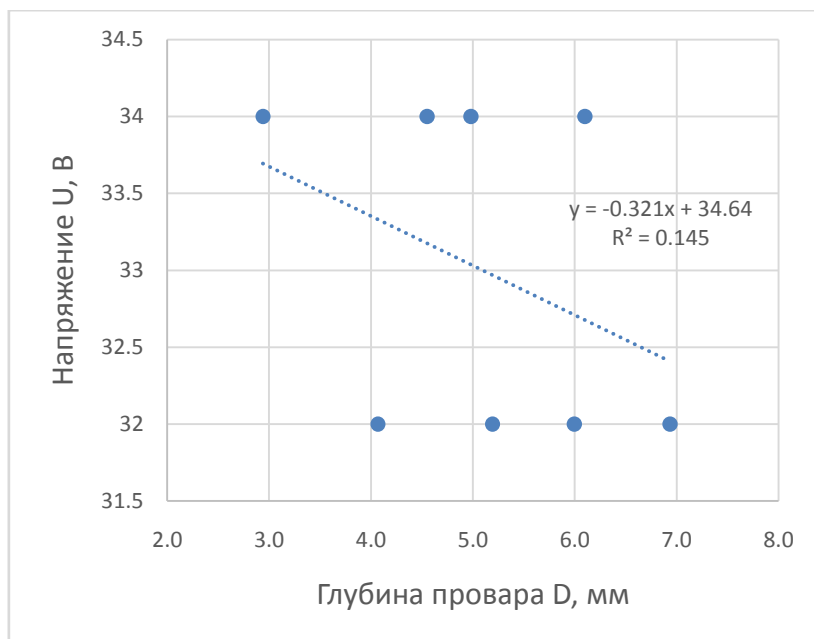


Рисунок 5.4.2. Зависимость глубины провара от напряжения сварочной дуги.

Проявление зависимости опытных данных оценивается по пороговой величине коэффициента регрессии:

$$|r| \geq \frac{2}{\sqrt{n}}$$

где n – количество опытов (повторений).

В нашем случае количество опытов равнялось восьми, и, следовательно, пороговым является значение 0,7067. Далее в корреляционном анализе использовались только те значения корреляционных коэффициентов, величины которых превышают пороговые значения.

В результате корреляционного анализа была выявлена зависимость изменяющихся параметров сварных соединений (геометрия) от изменения основных параметров сварки (сила тока, напряжение и скорость сварки). На основании матрицы корреляционных коэффициентов (см. Таблицу 5.4.1) составлена диаграмма величины зависимости параметров сварки от силы тока. Сила тока использована как основной сравнительный параметр, так как от величины силы тока в наибольшей степени зависят все остальные параметры, использованные в данной работе.

Таблица 5.4.1. Матрица корреляционных коэффициентов.

	Сила тока I, A	Напряжение U, V	Скорость сварки v , см/мин	Тепловложение Q , кДж/мм	Глубина провара D , мм	Выпуклость R , мм	Ширина W , мм
Сила тока I, A	1	-0,5	0	0,95465	0,810537	0,223303	0,86713
Напряжение U, V	-0,5	1	0	0,39261	-0,38165	-0,361723	-0,1288
Скорость сварки v , см/мин	0	0	1	-0,2648	-0,10902	-0,514770	0,07229
Тепловложение Q , кДж/мм	0,95465	-0,39261	-0,26485	1	0,795356	0,290767	0,85108
Глубина провара D , мм	0,81053	-0,38165	-0,10902	0,79536	1	0,565807	0,56135
Выпуклость R , мм	0,22330	-0,36172	-0,51477	0,29077	0,56580	1	-0,2050
Ширина W , мм	0,86713	-0,12884	0,07229	0,85109	0,561355	-0,205038	1

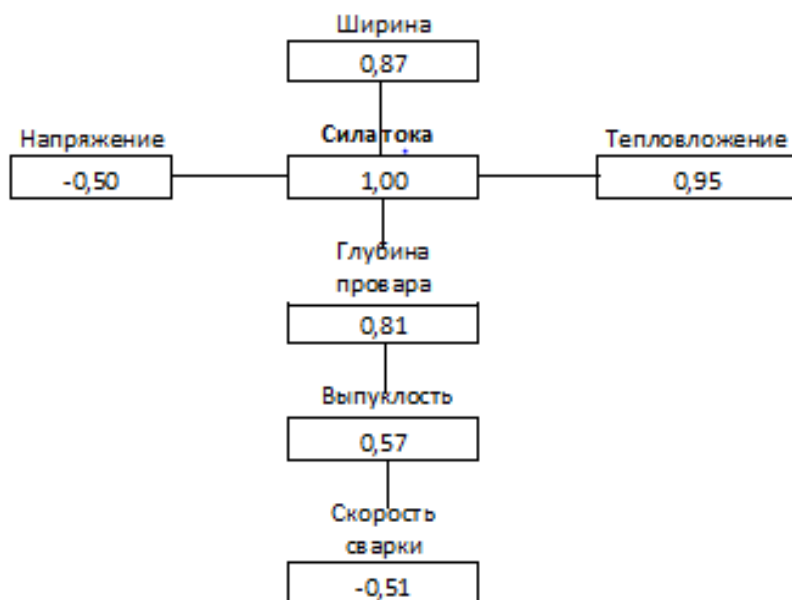


Рисунок 5.4.3. Связь и величина зависимости параметров от силы тока

Как видно из рисунка 5.4.3 в наибольшей мере от силы тока зависят геометрические параметры сварного шва (глубина провара и ширина сварного шва) и величина тепловложения. В наименьшей степени зависит напряжение сварочной дуги.

Интересным замечанием данного анализа является незначительное, по степени влияния только на третьем месте, воздействие силы тока на скорость сварки.

6. Расчет режимов механизированной (полуавтоматической) и автоматической сварки под слоем флюса.[11]

Основными параметрами режима автоматической и механизированной сварки под слоем флюса, оказывающим влияние на размеры и форму шва, являются:

1. Диаметр электродной (сварочной) проволоки, $d_{эл}$, мм.
2. Сила сварочного тока, $I_{св}$, А.
3. Напряжение на дуге, U_d , В.
4. Скорость подачи электродной проволоки, $V_{п.п.}$, м/ч.
5. Скорость сварки, $V_{св}$, м/ч.

Дополнительными параметрами режима являются:

6. Род тока.
7. Полярность (при постоянном токе).
8. Марка флюса

6.1. Расчет режима сварки швов стыковых соединений

Расчет режима сварки начинают с того, что задают требуемую **глубину провара** при сварке с первой стороны, которая устанавливается равной:

$$D = S/2 \pm (1-2), \text{ мм} \quad (1)$$

где S – толщина металла, мм.

В экспериментальной части использовался основной материал толщиной 13 мм, соответственно по формуле (1) глубина провара будет

$$D = 13/2 = 6,5 \text{ мм}$$

Силу сварочного тока, необходимую для получения заданной глубины проплавления основного металла, рассчитывают по формуле:

$$I_{св} = (80-100) \cdot h, \text{ А} \quad (2)$$

По формуле (2) сила тока будет

$$I_{св} = 90 \cdot 6,5 = 585 \text{ А}$$

Диаметр сварочной проволоки рассчитывают по формуле:

$$d_{эл} = 2 \sqrt{I_{св} / j \cdot \pi}, \text{ мм} \quad (3)$$

где $I_{св}$ – сила сварочного тока, А; π – 3,14;

j – плотность тока, приближенные значения которой приведены в табл. 6.1.1

Таблица 6.1.1 - Допускаемая плотность тока в электродной проволоке при автоматической сварке стыковых швов.

Диаметр электродной проволоки, мм	6	5	4	3	2	1
Допускаемая плотность тока, А/мм ²	25-45	30-50	35-60	45-90	65-200	90-400

По формуле (4) диаметр проволоки будет

$$d_{эл} = 2 \sqrt{585/50 \cdot 3,14} = 3,86 \text{ (выбираем проволоку 4мм)}$$

Напряжение на дуге принимают для стыковых соединений в пределах 32-40 В. Большому току и диаметру электрода соответствует большее напряжение на дуге.

Определяют коэффициент наплавки (L_H), который при сварке постоянным током обратной полярности $L_H = 11,6 \pm 0,4 \text{ г/А} \cdot \text{ч}$, а при сварке на постоянном токе прямой полярности и переменном токе по формуле:

$$L = A + B \cdot I_{св}/d_{эл} \text{ г/А} \cdot \text{ч}, (4)$$

где $I_{св}$ – сила сварочного тока, А;

$d_{эл}$ - диаметр электродной проволоки, мм;

A, B – коэффициенты, значения которых приведены в табл. 6.1.2

Таблица 6.1.2- Значения коэффициентов A и B

Марка флюса	Коэффициент A		Коэффициент B	
	Постоянный ток прямой полярности	Переменный ток	Постоянный ток прямой полярности	Переменный ток
АН-348А	2,3	7,0	0,065	0,040
АН-348	2,8	7,3	0,095-0,120	0,048-0,058
АН-348Ш	1,4	6,0	0,081	0,038

По формуле (4) коэффициент наплавки будет

$$L = 7 + 0.04 \cdot 585 / 4 = 12,58 \text{ г/А} \cdot \text{ч}$$

Скорость сварки электродной проволокой диаметром 3-6 мм определяют по формуле:

$$V = (20-30) \cdot 10^3 / I_{св} \quad \text{м/ч} \quad (5)$$

а электродной проволокой диаметром 1- 2 мм по формуле

$$V = (8-12) \cdot 10^3 / I_{св} \quad \text{м/ч}$$

По формуле (5) скорость сварки будет

$$V = 20 \cdot 10^3 / 585 = 34,2 \text{ м/ч} = 570 \text{ мм/мин}$$

Скорость подачи сварочной проволоки ($V_{п.п.}$) определяют по формуле:

$$V_{п.п.} = 4 \cdot L_H \cdot I_{св} / \pi \cdot d_{эл}^2 \quad \text{м/ч} \quad (6)$$

где L_H – коэффициент наплавки, г/А·ч; π – 3,14;

$d_{эл}$ – диаметр электродной проволоки, мм;

γ – удельный вес наплавленного металла, г/см³ (7,8 г/см³ – для стали);

$I_{св}$ – сила сварочного тока, А.

По формуле (6) скорость подачи сварочной проволоки будет

$$V_{п.п.} = 4 \cdot 12,58 \cdot 585 / 3,14 \cdot 4^2 = 58,6 \text{ м/ч}$$

7. Выводы

Сварка при режиме СС(падающаявольтампернаяхарактеристика)

При повышении силы тока ($I_{св}$) увеличивается глубина провара, выпуклость шва и тепловложение Q , а ширина шва практически не изменяется. (см Рис. 7.1)

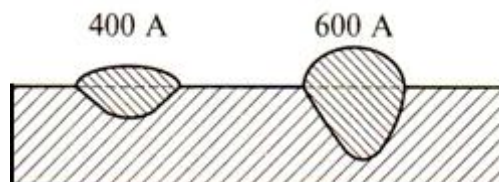


Рисунок 7.1. Геометрия швов при повышении силы тока

При повышении напряжения на дуге (U_d) уменьшается глубина провара и выпуклость шва, однако увеличивается ширина шва и тепловложение Q . (см Рис. 7.2)

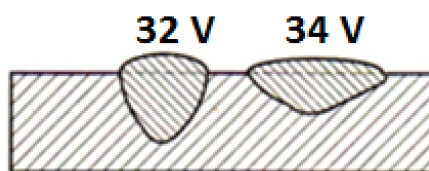


Рисунок 7.2. Геометрия швов при повышении напряжения

Исходя из наших опытов при уменьшении скорости сварки ($V_{св}$) увеличивается глубина провара, ширина шва и тепловложение Q , выпуклость шва уменьшается.

Однако различные источники гласят, что влияние скорости сварки на глубину проплавления и ширину шва носит сложный характер. Сначала (при малых скоростях) с увеличением скорости сварки глубина проплавления возрастает. При дальнейшем росте скорости (более 20 м/час) глубина проплавления уменьшается. Ширина шва во всех случаях с увеличением скорости сварки, уменьшается.(см Рис. 7.3)

Рисунок 7.3. Геометрия швов при повышении скорости сварки

Сварка при режиме CV(жесткаявольтампернаяхарактеристика)

Сварка при режиме CV имеет тот же характер, что и при режиме СС

Сравнения двух режимов СС/CV исходя из практической части

Исходя из опытов, глубина провара при режиме СС с одинаковыми параметрами ($I_{св}$, U_d , $V_{св}$) больше, как правило, на 35-45%.

Тепловложение Q при режиме CV меньше на 30-40%

Ширина шва при сварке с режимом CV с одинаковыми параметрами ($I_{св}$, U_d , $V_{св}$) меньше, как правило, на 15-30%, а выпуклость шва больше 10-20%

При уменьшении скорости сварки ($V_{св}$) глубина провара увеличивается больше при режиме СС (30-40%)

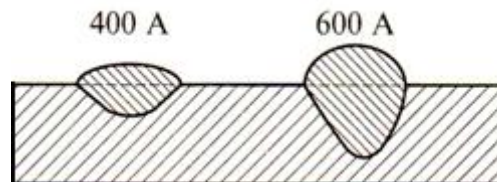
Ширина шва при уменьшении скорости сварки ($V_{св}$) увеличивается больше при СС режиме, а выпуклость шва уменьшается примерно одинаково.

При повышении напряжения на дуге (U_d) глубина провара уменьшилась больше при СС (10-15%)

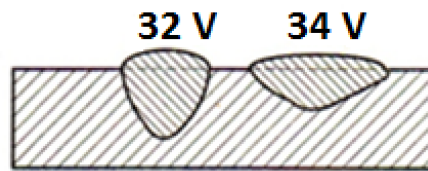
Summary

Welding in the CC mode

With the increase of current (I) the welding depth increases, the weld seam also enlarges and so does the heat input Q , the seam width stays almost the same.



With the potential difference increase (U) the welding depth decreases and the seam convexity decreases as well, however the welding seam width increases and so does the heat input Q .



According to our tests, with the decrease in welding speed (V), the welding depth increases, the seam width and the heat input Q as well. The convexity of welding seam decreases.

However, different sources claim, that the welding speed influence on the welding depth and its width are complicated. At first (at low speed), with the increase of welding speed the depth increases, with further speeding up (over 20m/hour), the depth starts to decrease. The seam width always decreases in all cases on speed increase.

Welding in CV mode

Welding in CV mode has the same features as the CC mode one

The two modes comparison based on the practical part

According to the conducted tests, the welding depth during CC mode with constant parameters (I , U , V) is bigger, as a rule by 35-45%.

The heat input Q used in the CV mode is lower by 30-40%

The seam width during the CV mode welding with the same parameters is, as a rule, smaller by 15-30%, the seam convexity is somewhat 10-20% bigger

With the decrease in welding speed (V) the welding depth is increased using CC mode by 30-40%

The seam width increases with the welding speed decrease in the CC mode, the seam convexity is decreased pretty much the same.

During the potential difference increase (U), the welding depth decreased more in the CC mode (10-15%)

The seam width after increasing the potential difference is increased by about 10-15% using the CC mode.

Обзор литературы

Стандарты:

Материалы, расходуемые при сварке. Флюсы для дуговой сварки под флюсом. ISO 14174:2012, EN ISO 14174:2012-022. Austrian Standards Institute (2012)

Флюсы сварочные плавленые. Технические условия. ГОСТ 9087-81ИПК
ИЗДАТЕЛЬСТВО СТАНДАРТОВМИНСК (1981)

Проволока стальная сварочная. Технические условия.ГОСТ 2246-70ИПК
ИЗДАТЕЛЬСТВО СТАНДАРТОВМОСКВА (1970)

Книга:

1) В. М. Ямпольский. Сварка и свариваемые материалы.Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана. 1996 г.

Книга:

2) Г.А. Николаев. Сварка в машиностроении.Изд-во «Машиностроение», 1979 г.

Электронная страница:

3) Автоматическая дуговая сварка металлическим электродом (проволокой) под слоем флюса. http://ptk-spb.ru/?mode=folder&folder_id=189684(14.05.2014)

4) Практика применения нового керамического флюса
<http://keramoflus.ru/index.php/component/content/article/30-artikle/68-ssfm101?tmpl=component&print=1&page=>(25.05.2014)

5) ПродкуцияESAB. <http://www.esab.ru/ru/ru/products/index.cfm>(18.05.2014)

6) Официальный представитель сварочного трактора Pandaweld 1250.
http://www.bayrock.se/index.php?option=com_zoo&task=item&item_id=1&Itemid=489
(24.01.2014)

Электронная статья:

7) И.К.Козлов.*Залог качество сварки флюсом – автомат МС 1000 А.*2007 г.
<http://www.diamet.ru/catalog/file/1284365035.pdf>(14.03.2014)

Электронная страница:

8) Режимы сварки под флюсом. <http://pipe-technology.ru/welding.php?id=2> (11.04.2014)

9) Флюс для дуговой сварки. <http://www.osvarke.com/flux.html> (3.04.2014)

10) Расчет режимов

сварки. http://edu.dvgups.ru/METDOC/GDTRAN/NTS/ТЕН_МЕТ/MATER_TM/METHOD/UP/frame/1_1.htm (12.05.2014)

Электронная статья:

11) Ф.П. Сироткин. *Расчёт параметров режимов сварки*. ГОУ ВПО «Волжский государственный инженерно-педагогический университет». Н. Новгород

2010 г. <http://referat.center/ostalnye-referaty/402889-referat.html> (23.02.2014)