

Областные научно-технические чтения «Техническое
творчество; опыт, проблемы, перспективы»
в области «Промышленность»

направление

ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ПРОЕКТ

на тему:

***Оптимизация процесса ручной дуговой сварки
на пластинах $\delta = 5\text{мм}$ из стали 09Г2С***

Авторы:

обучающиеся 4 курса
ТОГБПОУ «Многоотраслевой колледж»
г. Моршанск

Лукичев В.А..
Киселёв И.В.

Руководитель:

Дорошенко И.В.,
кандидат технических наук, доцент,
ТОГБПОУ «Многоотраслевой колледж»
Никифорок Т.А.,
преподаватель специальных дисциплин.
ТОГБПОУ «Многоотраслевой колледж»

Тамбов, 2016 г

ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА РУЧНОЙ ДУГОВОЙ СВАРКИ НА ПЛАСТИНАХ $\delta = 5\text{мм}$ ИЗ СТАЛИ 09Г2С

*Лукичев Владимир Андреевич,
Киселёв Игорь Владимирович,
обучающиеся 4 курса
ТОГБПОУ «Многоотраслевой колледж»
г. Моршанск*

АННОТАЦИЯ

Производство нашей страны нуждается в современных машинах и уникальном оборудовании, обеспечивающих высокие технико-экономические показатели при эксплуатации. Сварка является одним из ведущих технологических процессов, как в области машиностроения, так и в строительной индустрии.

В промышленности, строительстве и других, отраслях народного хозяйства России ручная дуговая сварка занимает в настоящее время ведущее положение, процессом этой сварки занимаются еще десятки тысяч рабочих-электросварщиков. Несмотря на большие масштабы использования в промышленности различных видов механизированной сварки, объем применения ручной дуговой сварки сегодня не только не снижается, но и возрастает.

В данном исследовательском проекте рассматривается вопрос оптимизации процесса ручной дуговой сварки на пластинах $\delta = 5\text{мм}$ из стали 09Г2С.

Повышение производительности ручной дуговой сварки является весьма актуальной задачей. Современная экономическая ситуация в нашей стране требует снижения себестоимости изготовления продукции. Одним из направлений этого процесса является повышение производительности сварки при условии получения высокого качества соединения.

Данное направление исследования выбрано с целью понимания сущности и значимости профессии электросварщика, эффективного выполнения профессиональных задач, осуществления поиска и использования способов и приемов сварки стальных конструкций.

В ходе исследования при работе с источниками и Интернет-ресурсами первоначально был произведен анализ наиболее применяемых путей повышения производительности труда. Далее на основании проведенного

анализа, в данной исследовательской работе оценивается эффективность процесса ручной дуговой сварки покрытыми электродами, используя различные возможности учебной сварочной мастерской колледжа.

Предварительно был произведен расчет параметров режимов сварки по алгоритму источника питания. При выполнении экспериментальных сварочных работ устанавливаются соответствующие расчетам сварочные режимы.

Затем произведен выбор схемы сил, участвующих в формировании сварного шва при сварке пластин и расчет величин зазоров, обеспечивающих требуемую глубину проплавления.

Произведен расчет количества наплавленного металла, основного показателя производительности сварки.

Было проведено 84 эксперимента (сварка пластин), в которых исследовались параметры режимов сварки по алгоритму источника питания, глубина проплавления при различных зазорах, производительность процесса сварки при изменении его режимов и параметров.

Представлен развернутый анализ и обработка результатов исследования.

1. АНАЛИЗ ИЗУЧЕНИЯ ПУТЕЙ ПОВЫШЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ТРУДА

Существенный недостаток ручной дуговой сварки металлическим электродом - малая производительность процесса и зависимость качества сварного шва от практических навыков сварщика.

Протекающие в дуге многообразные физические явления вызывают как положительные, так и отрицательные эффекты в процессе сварки, усиливаемые или ослабляемые путем изменения разнообразных физических факторов.

Наиболее общей характеристикой производительности труда (главного показателя электродугового сварочного процесса) является площадь свариваемых кромок в единицу времени. Как в случае получения швов главным образом за счет основного металла без разделки кромок, так и за счет присадочного, повышение производительности сварки достигается следующими способами:

1. Увеличение тока дуги.

При этом возрастает масса расплавленного металла обоих электродов в единицу времени и глубина провара, особенно на обратной полярности. Верхний предел тока определяется толщиной свариваемого изделия и скоростью сварки. Глубина проплавления не должна превышать толщины

кромки изделия. В настоящее время для дуговой сварки применяются токи до 2000А. Диапазон больших токов пока не исследован. Если при сварке изменять сварочный ток, то будут меняться параметры сечения шва (рис.1).

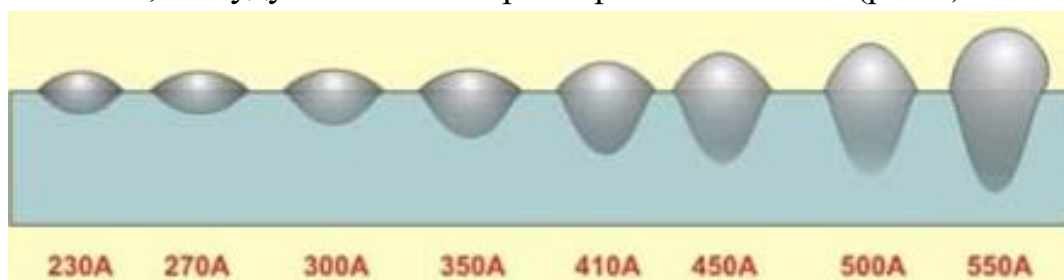


Рисунок 1. Влияние величины сварочного тока

При более низком токе увеличивается глубина проплавления и увеличивается валик сварного шва.

2. Влияние скорости сварки на форму сварного шва.

При увеличении скорости наблюдается заметное уменьшение ширины шва, при этом глубина проплавления остается почти неизменной (рис.2). Сначала при увеличении скорости сварки столб дуги все больше вытесняет жидкий металл, толщина прослойки жидкого металла под дугой уменьшается и глубина проплавления возрастает. При дальнейшем увеличении скорости сварки (более 40—50 м/ч) заметно уменьшается погонная энергия и глубина проплавления начинает уменьшаться. Во всех случаях при увеличении скорости сварки ширина постоянно уменьшается. При скорости сварки более 70—80 м/ч основной металл не успевает достаточно прогреться, в результате чего по обеим сторонам шва возможны несплавления кромок или подрезы.

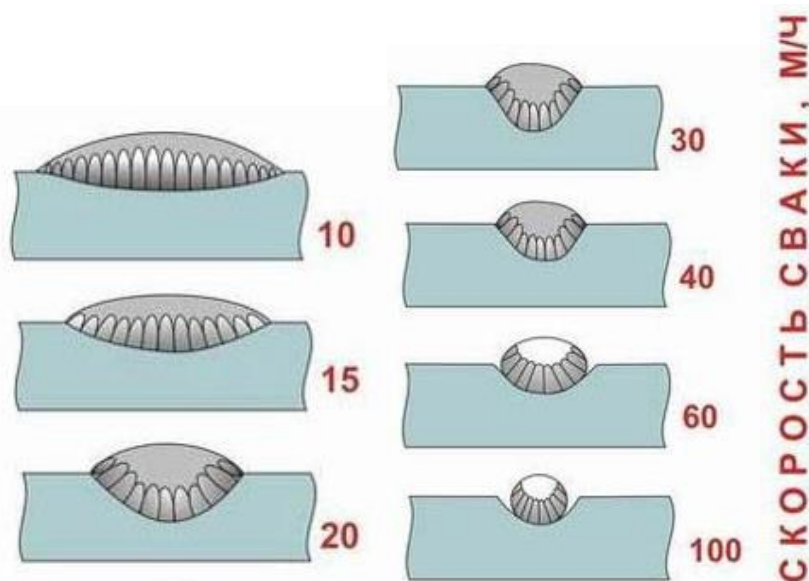


Рисунок 2. Влияние скорости сварки на форму сварного шва

3. *Повышение концентрации нагрева путем увеличения плотности тока в дуге и уменьшения площади блуждания ее пятен по поверхности электродов.*

Эти меры способствуют увеличению давления дуги на металл и глубины проплавления изделия; осуществляются увеличением потенциала ионизации дугового газа и ограничением области существования дуги различными способами (флюсом, соплами и т. д.).

Например, сварка трехфазной дугой (рис.3) Такая сварка заключается в том, что к двум электродам и свариваемому металлу подводится ток от трех фаз источника переменного тока. В процессе сварки действуют три одновременно горящие сварочные дуги: две между электродами и основным металлом и одна между электродами. Количество выделяемого при этом тепла и соответственно производительность возрастают по сравнению со сваркой однофазной дугой в 2-3 раза. Для сварки трехфазной дугой используют электроды, состоящие из двух параллельно расположенных стержней с общим покрытием. Конструкция электрододержателей обеспечивает подвод тока отдельно к каждому стержню электрода.

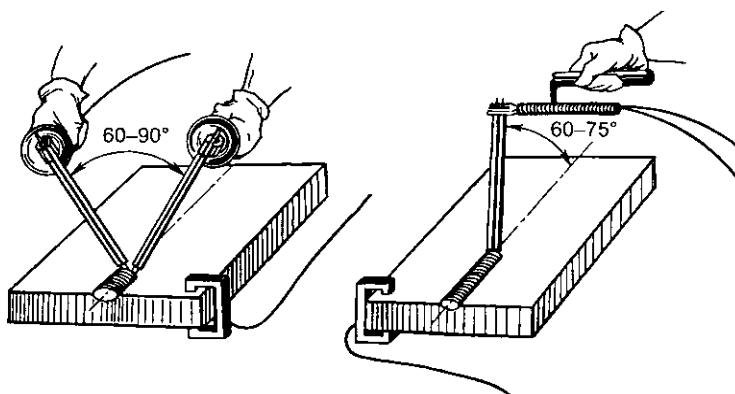


Рисунок 3. Сварка трехфазной дугой.

4. *Повышение дугового напряжения главным образом за счет приэлектродных его падений.*

Это приводит также к росту скорости плавления электродов и увеличению глубины проплавления; осуществляется за счет увеличения потенциала ионизации дугового газа и его теплопроводности (рис.4).

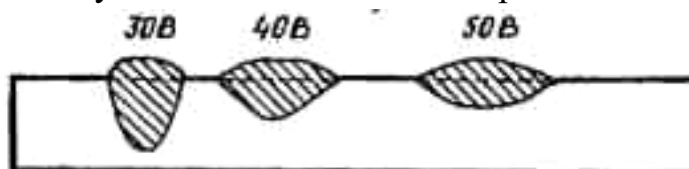


Рисунок 4. Влияние величины сварочного напряжения

Например, сварка с глубоким проплавлением. При этом способе сварку ведут при опирании козырьком покрытия электрода на кромки свариваемого металла, используют электроды (например, марки ОЗС-3) с повышенной толщиной покрытия. Масса покрытия 60-80 % массы стержня при отношении диаметра электрода к диаметру стержня 1,5-1,6.

5. Сварка наклонным электродом.

Наклон электрода к линии шва α (рис.5) под углом $70-80^\circ$ обеспечивает вытеснение жидкого металла из сварочной ванны в сторону валика давлением дуги, давая возможность тепловому потоку дуги воздействовать на более глубокие слои основного металла. В результате глубина проплавления возрастает, уменьшается доля электродного металла в металле шва, чем и обеспечивается повышение производительности. Процесс позволяет выполнять одностороннюю сварку стыковых соединений без разделки кромок металла толщиной до 8-10 мм и двустороннюю сварку металла толщиной до 16-18 мм.

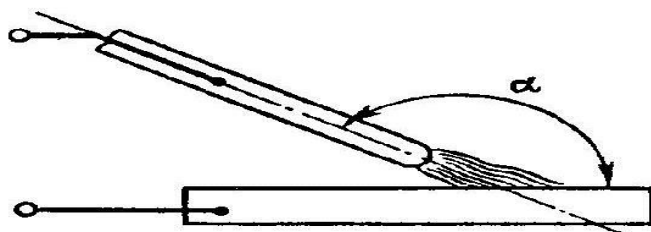


Рисунок 5. Сварка наклонным электродом.

6. Снижение перегрева расплавленного металла электродов выше температуры плавления.

Этим достигается увеличение его количества, расплавленного в единицу времени при заданной мощности дуги. Обеспечивается различными методами содействия крупнокапельному переносу металла.

7. Увеличение доли жидкого металла, переносимого каплями с расплавленного конца электрода.

Достигается уменьшением сил, удерживающих каплю, и увеличением отрывающих сил (рис.6).

Сварка электродами с повышенным коэффициентом наплавки. При увеличении в рутиловом покрытии электродов содержания железного порошка с 20 до 50-60 % производительность сварки в нижнем положении возрастает примерно в 1,5-2 раза. К таким относятся электроды АН-1, ОЗС-3, ЗРС-1 и др.,

использование которых существенно повышает производительность сварочных работ.

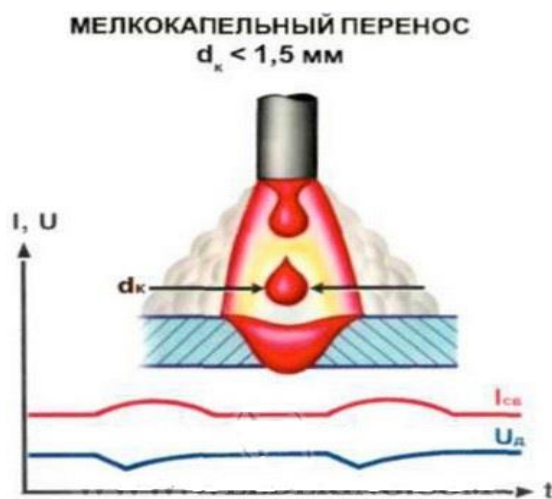


Рисунок 6. Мелкокапельный перенос.

8. *Повышение скорости расплавления присадочного металла путем предварительного его подогрева за пределами дуги.*

Достигается увеличением вылета плавящегося электрода и плотности тока в нем.

9. *Уменьшение разбрызгивания металла.*

Определяющие его факторы в полной мере неизвестны и требуют дальнейшего изучения. Однако в общем виде можно отметить, что стабилизация величины и направления сил, действующих на расплавленный металл электрода проволоки, содействуют уменьшению разбрызгивания.

Еще в пятидесятые годы широко применялась сварка способом опирания (погруженной дугой, ультракороткой дугой — УКД). При сварке этим способом электрод (рис.7) опирался на деталь чехольчиком покрытия и затем под легким нажимом сварщика самостоятельно плавился полузакрытой дугой, наплавляя валик металла в стыковое или угловое соединение. Для сварки опиранием не требовалось высокой квалификации сварщика, нужны были только его небольшие практические навыки. Электроды для этой сварки применялись с повышенной толщиной покрытия (отношение $D/d > 1,8$), сила сварочного тока допускалась на 20—40 % выше обычной по формуле $I_{св} = (60—70) d_x$. В результате скорость сварки увеличивалась примерно на 40—50%, увеличивалась глубина провара, разбрызгивание было минимальным. Этот

способ успешно применялся, особенно для сварки однопроходных угловых и стыковых швов.

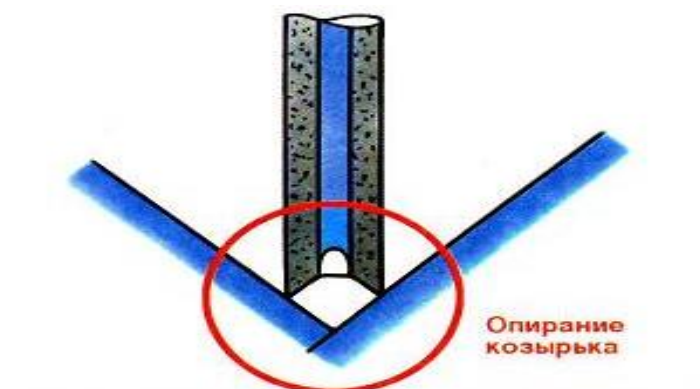


Рисунок 7. Способ с опирианием электрода на козырек

Некоторые из перечисленных рекомендаций по повышению производительности сварки в ряде случаев не могут быть приняты, так как ведут к нежелательному течению металлургических процессов образования сварных швов, которые здесь не рассмотрены. Однако можно сказать, что для благоприятного протекания всех процессов получения сварного соединения с помощью электрической дуги должно быть соблюдено главное условие — устойчивость всех составляющих этих процессов. В свою очередь, они определяются устойчивостью дуги.

К чисто организационным мероприятиям повышения производительности труда сварщиков относятся: своевременное обеспечение сварщиков исправным, подключенным к сети сварочным оборудованием, сварочными материалами (электродами, защитным газом), сварочным инструментом, шлангами, кабелем, спецодеждой, средствами индивидуальной защиты; предоставление сварщику оборудованного рабочего места и обеспечение безопасных подходов к нему; своевременное предоставление сварщику подготовленных для сварки деталей, конструкций и технологической документации (инструктивных указаний) по технологии сварки; обеспечение сварщика необходимыми производственно-бытовыми условиями.

К организационно-техническим мероприятиям относятся: своевременное и быстрое обслуживание сварщика квалифицированным электромонтажником для подключения оборудования и устранения неисправностей; обеспечение наиболее рациональным инструментом (электрододержателем, инструментом для зачистки швов и др.); обеспечение приспособлениями для быстрого поворота изделий или их кантовки; изготовление наиболее эффективных

конструкций с минимальным количеством наплавленного металла в готовом изделии.

Четкое выполнение организационных и организационно-технических мероприятий наряду с внедрением прогрессивных форм организации труда (бригадный подряд, внедрение оплаты с учетом КТУ и др.) обеспечит повышение производительности труда не менее чем на 15—20 %.

На основании проведенного анализа изучения путей повышения производительности процессов сварки, в данной исследовательской работе предлагаем оценивать эффективность процесса ручной дуговой сварки покрытыми электродами, используя различные возможности учебной сварочной мастерской колледжа.

2. РАСЧЕТНАЯ ЧАСТЬ

2.1. Расчет параметров режимов сварки по алгоритму источника питания

В качестве источника питания применяем сварочный инвертор ФЕБ Магма-315, система управления которого формирует выходную характеристику согласно рисунку 8 (ломанная линия – ABD).

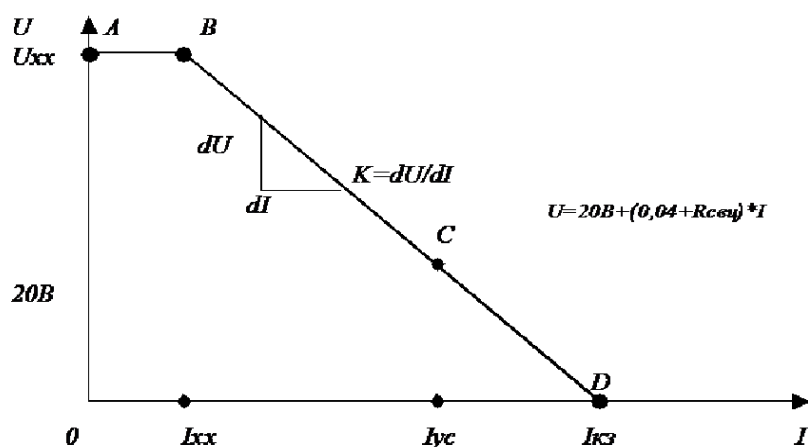


Рисунок 8. Выходная характеристика источника при ручной сварке штучными электродами с основным покрытием

Отрезок (BD) задает выходную характеристику источника, на которой горит сварочная дуга. Положение отрезка задаем с помощью определения координат точки С и наклона К отрезка.

Положения точки С определяем из пересечения прямой заданной уравнением– $U = 20B + (0.04 + R_{свц}) \times I$ и установленного тока для сварочного процесса– I_{yc} .

Наклон K отрезка (BD) равен отношению спада напряжения к приращению тока (параметр «Сила Дуги»).

Расчет напряжений проводим по формуле:

$$U = 20В + (0.04 + R_{свц}) \times I,$$

где: $R_{свц}$ - сопротивление сварочной цепи, Ом;

I – сварочный ток, А.

Согласно паспортным данным Источника питания МАГМА – 315:

$R_{свц}$ для короткой дуги равен -0.006 Ом;

$R_{свц}$ средней дуги равен 0 Ом;

$R_{свц}$ длинной дуги равен 0.004 Ом;

Произведем расчет напряжения при наклоне вольтамперной характеристики равной 1,0.

Приведем расчет для силы тока $I = 80А$.

Для короткой дуги:

$$U = 20В + (0.04 + (-0.006)) \times 83 = 22.8В$$

Для средней дуги:

$$U = 20В + (0.04) \times 80 = 23.2В$$

Для длинной дуги:

$$U = 20В + (0.04 + 0.004) \times 78 = 23.4В$$

Для других значений силы тока расчет напряжений аналогичен и результаты расчетов сведены в таблицу 1.

Таблица 1. Результаты расчета рабочих напряжений $K = 1,0$

| Короткая дуга | | Средняя дуга | | Длинная дуга | |
|---------------|------------|--------------|------------|--------------|------------|
| Ток | Напряжение | Ток | Напряжение | Ток | Напряжение |
| 72 | 22.4 | 70 | 22.8 | 69 | 23.0 |
| 83 | 22.8 | 80 | 23.2 | 78 | 23.4 |
| 93 | 23.2 | 90 | 23.6 | 88 | 23.9 |
| 105 | 23.6 | 100 | 24.0 | 97 | 24.3 |
| 114 | 23.9 | 110 | 24.4 | 109 | 24.8 |

Во втором эксперименте наклон вольтамперной характеристики равен 1.5

Приведем расчет для силы тока $I = 80А$.

Для короткой дуги:

$$U = 20В + (0.04 + (-0.006)) \times 82 = 22.7В$$

Для средней дуги:

$$U = 20В + (0.04) \times 80 = 23.2В$$

Для длинной дуги:

$$U = 20В + (0.04 + 0.004) \times 78 = 23.4В$$

Для других значений силы тока расчет напряжений аналогичен и результаты расчетов сведены в таблицу 2.

Таблица 2. Результаты расчета рабочих напряжений $K = 1.5$

| Короткая дуга | | Средняя дуга | | Длинная дуга | |
|---------------|------------|--------------|------------|--------------|------------|
| Ток | Напряжение | Ток | Напряжение | Ток | Напряжение |
| 71 | 22.4 | 70 | 22.8 | 68 | 23.0 |
| 82 | 22.7 | 80 | 23.2 | 78 | 23.4 |
| 92 | 23.1 | 90 | 23.6 | 87 | 23.8 |
| 104 | 23.5 | 100 | 24.0 | 95 | 24.2 |
| 114 | 23.9 | 110 | 24.4 | 107 | 24.7 |

В третьем эксперименте наклон вольтамперной характеристики равен 2,0.

Приведем расчет для силы тока $I = 80А$.

Для короткой дуги:

$$U = 20В + (0.04 + (-0.006)) \times 81 = 22.7В$$

Для средней дуги:

$$U = 20В + (0.04) \times 80 = 23.2В$$

Для длинной дуги:

$$U = 20В + (0.04 + 0.004) \times 76 = 23.3В$$

Для других значений силы тока расчет напряжений аналогичен и результаты расчетов сведены в таблицу 3.

Таблица 3. Результаты расчета рабочих напряжений $K = 2,0$

| Короткая дуга | | Средняя дуга | | Длинная дуга | |
|---------------|------------|--------------|------------|--------------|------------|
| Ток | Напряжение | Ток | Напряжение | Ток | Напряжение |
| 71 | 22.4 | 70 | 22.8 | 68 | 23.0 |
| 81 | 22.7 | 80 | 23.2 | 76 | 23.3 |
| 92 | 23.1 | 90 | 23.6 | 88 | 23.9 |
| 103 | 23.5 | 100 | 24.0 | 97 | 24.3 |
| 113 | 23.8 | 110 | 24.4 | 106 | 24.7 |

При выполнении экспериментальных сварочных работ устанавливаем соответствующие расчетам сварочные режимы.

2.2. Выбор схемы и расчет глубины проплавления в зависимости от установленного зазора

Важным фактором, влияющим на производительность процесса сварки, работоспособность сварных соединений и также связанным с образованием сварочной ванны, является формирование проплавления корня шва.

Образование сварочной ванны (рис.9) является важнейшим этапом получения соединения при сварке плавлением. От формы и размеров сварочной ванны зависят форма и размеры сварных швов. Последние во многом определяют эксплуатационные характеристики получаемых соединений.

В формировании сварного шва участвуют:

- сила тяжести расплавленного металла сварочной ванны $P_{ТМ}$;
- давление сварочной дуги $P_{Д}$;
- сила поверхностного натяжения расплавленного металла сварочной ванны со стороны сварочной дуги $P_{ПН}$.

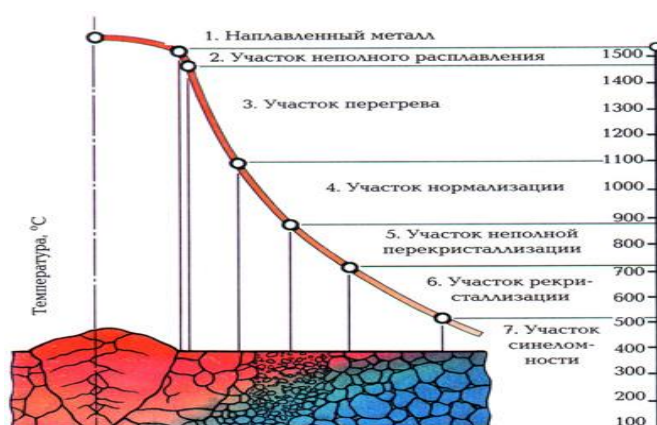


Рисунок 9. Термический цикл сварочной ванны

Сила тяжести расплавленного металла и давление сварочной дуги в процессе сварки в нижнем положении стремятся провалить жидкий металл, металл сварочной ванны провисает, и на её поверхностях возникают силы поверхностного натяжения, стремящиеся уравновесить первые две силы (рис.10).

В зависимости от соотношения этих сил расплавленный металл в корне шва принимает ту или иную форму.

Сила тяжести расплавленного металла сварочной ванны определяется геометрией подготовленного соединения под сварку (величиной притупления кромок, зазором между ними и углом разделки кромок), а также режимом сварки.

Давление сварочной дуги зависит от режима сварки и, главным образом, от величины сварочного тока.

Сила поверхностного натяжения обуславливается кривизной жидкой поверхности металла сварочной ванны, которая, в свою очередь, определяется геометрией соединения и режимом сварки. Максимальные силы поверхностного натяжения возникают тогда, когда поверхность расплавленного металла принимает полуцилиндрическую форму.

Схема сил, участвующих в формировании сварного шва при сварке пластин для данного исследования приведена на рис. 10.

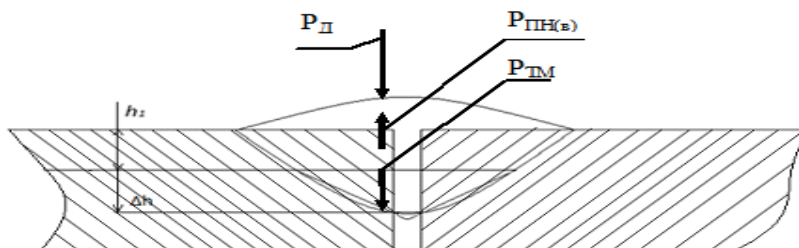


Рисунок 10. Схема сварки пластин и схема действия сил на расплавленный металл

Составим уравнение равновесия сварочной ванны:

$$P_{тм} + P_{д} = P_{пн},$$

где $P_{тм}$ – сила тяжести;

$P_{д}$ – давление сварочной дуги;

$P_{пн}$ – сила поверхностного натяжения.

$$P_{тм} = m \cdot g,$$

где m – масса расплавленного металла сварочной ванны, кг.

$$m = V \cdot \gamma,$$

где V – объем расплавленного металла сварочной ванны, см^3 .

$$V = \frac{\pi \cdot c^2}{8} \cdot l,$$

где c – величина зазора между пластинами, см;

l – длина пластин, см.

$$P_{д} = p_{\max} \cdot l \cdot c,$$

где p_{\max} – максимальное давление сварочной дуги, Па;

$$p_{\max} = I \cdot i \cdot 10^{-6} \text{ Н/м}^2;$$

где I – сварочный ток, А;

i – плотность сварочного тока, А/мм^2 , ($i = I / (\pi \cdot R^2)$).

$$P_{пн} = 2\sigma l,$$

где σ – коэффициент поверхностного натяжения, $\sigma = 1,1 \text{ Н/м}$.

Таким образом, уравнение равновесия принимает следующий вид:

$$\frac{\pi \cdot c^2}{8} * l * \gamma * g + \frac{I^2 * 10^{-6}}{\pi R^2} * l * c = 2 * \sigma * l$$

Принимаем следующие допущения и значения параметров сварки:

$$I = 80 \text{ A};$$

R – радиус пятна.

$$R = d\varnothing/2,$$

$$R = 3/2 = 1,5 \text{ мм}$$

Максимальный зазор, если на расплавленный металл действует только сила тяжести, вычисляем по формуле, выведенной из уравнения:

$$\frac{\pi \cdot c^2}{8} * l * \gamma * g = 2 * \sigma * l$$

Так как электрод при сварке будет находиться под углом, часть давления будет уходить на основной металл, т.е. потеря давления будет происходить при прохождении сварочной ванны. В связи с этим рассчитываем максимальный зазор если на расплавленный металл будет действовать половина давления дуги.

$$\frac{\pi \cdot c^2}{8} * l * \gamma * g + \frac{I^2 * 10^{-6}}{2\pi R^2} * l * c = 2 * \sigma * l$$

Проведем расчет величины зазора при разных условиях:

- полное условие равновесия сварочной ванны:

Подставим применяемые для эксперимента параметры в уравнение:

$$\frac{3,14 \cdot c^2}{8} * 7850 * 9,8 + \frac{80^2 * 10^{-6} *}{3,14 * (1,5 * 10^{-3})^2} * c = 2 * 1,1$$

Уравнение принимает вид:

$$30195,025c^2 + 901,4c - 2,2 = 0$$

Решив квадратное уравнение, получим

$$c = 0,0023 \text{ м}$$

$$c = 2,3 \text{ мм}$$

- если на расплавленный металл будет действовать половина давления дуги:

Подставим применяемые для эксперимента параметры в уравнение:

$$\frac{3,14 \cdot c^2}{8} * 7850 * 9,8 + \frac{80^2 * 10^{-6} *}{2 * 3,14 * (1,5 * 10^{-3})^2} * c = 2 * 1,1$$

Уравнение принимает вид:

$$30195,025c^2 + 450,7c - 2,2 = 0$$

Решив квадратное уравнение, получим

$$c = 0,0039 \text{ м}$$

$$c = 3,9 \text{ мм}$$

- если на расплавленный металл действует только сила тяжести:

$$\frac{3,14 \cdot c^2}{8} * 7850 * 9,8 = 2 * 1,1$$

$$30195,025c^2 - 2,2 = 0$$

Решив квадратное уравнение, получим

$$c = 0,0085 \text{ м}$$

$$c = 8,5 \text{ мм}$$

Глубина проплавления при сварке зависит от величины зазора свариваемых элементов. Расплавленный металл частично будет уходить в зазор (не выдавливаясь дугой), а оставшаяся часть будет выдвигаться дугой. Глубина проплавления будет складываться из высоты проплавления металла в зазоре и давления дуги.

Площадь поперечного сечения расплавленного металла в зазоре сварного шва можно посчитать, с одной стороны, как сумму площадей наплавленного металла в зазоре $c \cdot (h + \Delta h)$ и площади выступающей капли $\frac{\pi \cdot c^2}{8}$ (площадь полукруга). С другой стороны, эту же площадь можно рассматривать, как площадь трапеции в корне шва $\frac{c + 2\Delta h}{2} * \Delta h$.

Составим уравнение по этим допущениям:

$$c * (h + \Delta h) + \frac{\pi c^2}{8} = \frac{c + 2\Delta h}{2} * \Delta h.$$

Решив это уравнение, получим формулу для расчета увеличения глубины проплавления, приняв $h = 2 \text{ мм}$.

Для зазора 2мм:

$$2 * (2 + \Delta h) + \frac{3,14 * 2^2}{8} = \frac{2 + 2\Delta h}{2} * \Delta h$$

$$\Delta h = 2,91 \text{ мм}$$

Для зазора 4мм:

$$4 * (2 + \Delta h) + \frac{3,14 * 4^2}{8} = \frac{4 + 2\Delta h}{2} * \Delta h$$

$$\Delta h = 4,9 \text{ мм}$$

Для зазора 8мм:

$$8 * (2 + \Delta h) + \frac{3,14 * 8^2}{8} = \frac{8 + 2\Delta h}{2} * \Delta h$$

$$\Delta h = 8,72 \text{ мм}$$

Таким образом: расчетным путем получили значения величин зазоров, на основании которых рассчитали глубину проплавления для каждого из трех случаев.

2.3. Карта технологического процесса сварки

| | | |
|-------------------------------|---|--------------------|
| Наименование изделия: | Способ сварки: | Основной материал: |
| Пластина | Ручная дуговая | 09Г2С |
| Вид соединения и сварного шва | Стыковое шов С8, односторонний со скосом кромок | |
| Конструкция соединения |  <p>$S = S_1 = 5, b = 2(+1; -0,5) \text{ (мм)}$</p> | |
| Конструктивные элементы шва |  <p>$e = 8, q = 2 (\pm 1) \text{ (мм)}$</p> | |
| Способ подготовки кромок | Обработка кромок механическим способом; Свариваемые кромки и прилегающие к ним поверхности зачистить механическим способом (стальная щетка из нержавеющей стали) с двух сторон на ширину не менее 20 мм до металлического блеска. | |
| Требования к прихваткам | Высота = 4мм; длина = 8мм; расстояние между прихватками 30мм | |
| Сварочные материалы | Сварочные электроды марка УОНИ, тип Э46А | |
| | Э50А-УОНИ-13/55А-03-УД Е 51 4-Б20 | |

| Сварочное оборудование | | Магма-315 (Универсальный инверторный сварочный источник) |
|----------------------------------|---------------------------------------|--|
| Режимы сварки | Толщина металла δ , мм | 5 |
| | Количество проходов сварного шва, n | 1 |
| | Глубина проплавления $h_{пр}$, мм | 5 |
| | Род тока | Постоянный |
| | Полярность | Обратная |
| | Диапазон сил тока $I_{св}$, А | 71-114 |
| | Диапазон напряжений U , В | 22.4-24.8 |
| Расход | электродов G_p , г | 7174,27 |
| | электроэнергии A , кВт*ч | 21.48 |
| Полное время сварки $T_{св}$, ч | | 6.73 |

2.4. Алгоритм расчета для исследования влияния коэффициента наплавки на производительность сварки

Производительность сварки плавящимся электродом определяется коэффициентами расплавления и наплавки.

При сварке металла шов образуется вследствие расплавления присадочного и проплавления основного металла. Расплавление присадочного металла характеризуется коэффициентом расплавления, который определяем по формуле:

$$a_p = \frac{G_p}{I * t_0} \text{ г/А * ч,}$$

где a_p , — коэффициент расплавления г/(А*ч);

G_p — масса расплавленного за время t электродного металла, г;

t_0 — время горения дуги, ч;

I — среднее значение силы тока, А.

$$a_p = \frac{7174,27}{95 * 4,94} = 15,29 \text{ г/(А * ч)}$$

Коэффициент расплавления зависит от покрытия электрода, веса покрытия, а также рода и полярности тока.

Для оценки процесса наплавки рассчитываем коэффициент наплавки по формуле:

$$a_n = \frac{G_n}{I * t_0} \text{ г/(А * ч)}$$

где a_H — коэффициент наплавки г/(А*ч);

G_H — масса наплавленного за время t металла (с учетом потерь), г.

Для марки электродов УОНИ 13/55 принимаем коэффициент наплавки $a_H = 9$ г/(А * ч).

Коэффициент наплавки зависит от рода и полярности тока, типа покрытия, а также от пространственного положения, в котором выполняют сварку.

Производительность сварки определяется количеством наплавленного металла:

$$G_H = a_H * I * t_o,$$

$$G_H = 9 * 95 * 4,94 = 4220,16 \text{ г},$$

2.5. Расчет количества наплавленного металла, расхода сварочных материалов, электроэнергии, полного времени сварки

Расчетным путём определяем расход электродов. При определении расхода электродов учитываем вес наплавленного металла, а также все неизбежные потери металла в процессе сварки на угар и разбрызгивание, в виде электродного покрытия.

Массу наплавленного металла для сварки одной пары пластин, г, для ручной дуговой сварки рассчитываем по формуле:

$$G_{H1} = F_{шв} * l * \rho,$$

где l — длина шва, см;

ρ — плотность наплавленного металла (для стали $\rho = 7,85$ г/см³);

$F_{шв}$ — площадь сварного шва, см².

$$F_{шв} = \delta * c + 0,75q * e,$$

где δ — толщина металла, см;

c — выставленный зазор (принимаем 0,4), см;

q — высота усиления шва, см;

e — ширина шва, см.

$$F_{шв} = 0,5 * 0,4 + 0,75 * 0,2 * 0,8 = 0,32 \text{ см}^2$$

$$l_{шв} = 20 \text{ см}$$

$$G_{H1} = 0,32 * 20 * 7,85 = 50,24 \text{ г}$$

На весь эксперимент

$$G_{\text{Нобщ}} = G_{\text{Н1}} * n,$$

где n- количество экспериментов (n = 84эксперимента).

$$G_{\text{Нобщ}} = 50,24 * 84 = 4220,16\text{г}$$

Расход электродов, г, для ручной дуговой сварки (наплавки) определяется по формуле:

$$G_p = G_H * k_э,$$

$$G_p = 4220,16 * 1,7 = 7174,27\text{г}$$

где $k_э$ – коэффициент, учитывающий расход электродов на 1 кг наплавленного металла (для ручной дуговой сварки электродами марок УОНИ 13/55 $k_э=1,7$).

Время горения дуги, ч, (основное время) определяется по формуле:

$$t_o = \frac{G_H}{I * a_H},$$

$$t_o = \frac{4220,16}{95 * 9} = 4,94\text{ч}$$

Полное время сварки, ч,:

$$T = 6,73 \text{ ч (см. 4.1)}$$

Расход электроэнергии, кВт· ч, определяется по формуле

$$A = \frac{U_d * I_{св}}{\eta * 1000} * t_o + W_o * (T - t_o),$$

где U_d – среднее значение напряжения дуги, В;

$I_{св}$ – среднее значение силы тока, А;

η – КПД источника питания сварочной дуги, $\eta = 0,65$;

W_o – мощность, расходуемая источником питания сварочной дуги при холостом ходе, кВт;

T – полное время сварки, ч.

$$A = \frac{23,55 * 95}{0,65 * 1000} * 4,94 + 2,5 * (6,73 - 4,94) = 21,48 \text{ кВт} * \text{ч}$$

Масса одной пластины:

$$G_{\text{пл1}} = 10 * 20 * 0,5 * 7,85 = 785 \text{ г}$$

Масса всех пластин:

$$G_{об} = 785 * 84 * 2 = 131880\text{г} = 131,88 \text{ кг}$$

Все расчетные данные сведены в таблицу 5.

Таблица 5. Сводная таблица расхода материалов

| Наименование эксперимента | Количество экспериментов | Расход материала на исследование, г | Расход металла, кг | Расход электроэнергии на эксперимент, кВт*ч |
|---|--------------------------|-------------------------------------|--------------------|---|
| | | Электроды УОНИ 13/55 | | |
| 1. Исследование параметров режимов сварки по алгоритму источника питания | 45 | 3843,26 | 70,65 | 11,51 |
| 2. Исследование глубины проплавления при различных зазорах на стыковых швах | 21 | 1792,85 | 32,97 | 5,36 |
| 3. Исследование производительности процесса сварки при изменении его режимов и параметров | 18 | 1536,73 | 28,26 | 4,61 |
| ИТОГО | 84 | 7174,27 | 131,88 | 21,48 |

3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

3.1. Исследование параметров режимов сварки по алгоритму источника питания

Для исследования параметров режимов сварки, проведем сварку пластин, изменяя наклон вольтамперной характеристики источника питания. Сварочные режимы будем устанавливать соответствующие расчетам.

Проводим замер сварочного напряжения при сварке пластин, выдерживая заданный сварочный ток и изменяя наклон вольтамперной характеристики. Результаты исследований сведены в таблицы 6-8.

Таблица 6. Режимы сварки. Наклон вольтамперной характеристики равен 1.0.

| Короткая дуга | | Средняя дуга | | Длинная дуга | |
|---------------|------------|--------------|------------|--------------|------------|
| Ток | Напряжение | Ток | Напряжение | Ток | Напряжение |
| 72 | 20.2 | 70 | 21.4 | 69 | 23.3 |
| 83 | 22.0 | 80 | 22.7 | 78 | 23.5 |
| 93 | 22.9 | 90 | 24.4 | 88 | 25.2 |
| 109 | 25.0 | 100 | 25.8 | 97 | 27.2 |
| 114 | 25.6 | 110 | 26.5 | 109 | 28.1 |

Таблица 7. Режимы сварки. Наклон вольтамперной характеристики равен 1.5.

| Короткая дуга | | Средняя дуга | | Длинная дуга | |
|---------------|------------|--------------|------------|--------------|------------|
| Ток | Напряжение | Ток | Напряжение | Ток | Напряжение |
| 71 | 21.2 | 70 | 21.6 | 68 | 22.2 |
| 82 | 21.6 | 80 | 22.1 | 78 | 22.9 |
| 92 | 23.2 | 90 | 23.5 | 87 | 24.0 |
| 104 | 24.1 | 100 | 24.6 | 95 | 26.2 |
| 114 | 24.9 | 110 | 25.8 | 107 | 27.1 |

Таблица 8. Режимы сварки. Наклон вольтамперной характеристики равен 2,0.

| Короткая дуга | | Средняя дуга | | Длинная дуга | |
|---------------|------------|--------------|------------|--------------|------------|
| Ток | Напряжение | Ток | Напряжение | Ток | Напряжение |
| 71 | 20.2 | 70 | 21.8 | 68 | 22.1 |
| 81 | 21.9 | 80 | 22.8 | 76 | 23.9 |
| 92 | 23.1 | 90 | 24.2 | 88 | 25.0 |
| 103 | 24.7 | 100 | 25.3 | 97 | 26.1 |
| 113 | 25.0 | 110 | 25.9 | 106 | 27.8 |

Сведенные в таблицы данные позволяют сварщику быстрее определяться с выбором значений режима сварки, сокращая тем самым время настройки.

3.2. Исследование глубины проплавления при различных зазорах на стыковых швах

При проведении эксперимента на свариваемых пластинах выставляем зазоры по рассчитанным значениям (см. 2.2.). После сварки этих пластин и зажима в тисках, разламываем их. Проводим замер глубины проплавления. Результаты эксперимента приведены в таблице 9.

Таблица 9. Результаты исследования глубины проплавления при различных зазорах

| Выставленный зазор, мм | Увеличение глубины проплавления по эксперименту, Δh , мм |
|------------------------|--|
| 2 | 3.0 |
| 4 | 5.0 |
| 8 | - |

При выставленном зазоре в 8 мм образование качественного сварного шва невозможно.

3.3. Исследование производительности процесса сварки при изменении его режимов и параметров

При проведении данного вида исследований ручную дуговую сварку стали 09Г2С проводим на пластинах размером 200x100x5 стыковыми швами С8 электродом УОНИ 13/55 с использованием источника питания МАГМА – 315.

Эксперименты проводим в следующей последовательности:

- способ сварки «с опорой на козырек», наклон выходной характеристики 1,5 В/А, $d_{эл} = 3\text{мм}$, $l_d = 0,5\text{мм}$, $m_{эл} = 26,5\text{г}$;
- способ сварки «на весу», наклон выходной характеристики 1,5 В/А, $d_{эл} = 3\text{мм}$, $l_d = 2\text{мм}$, $m_{эл} = 26,5\text{г}$.
- способ сварки «с выставленным зазором 2 мм» $d_{эл} = 3\text{мм}$, $l_d = 2\text{мм}$, $m_{эл} = 26,5\text{г}$, наклон выходной характеристики 1,5В/А.

Результаты проведения экспериментов и их обработка согласно алгоритму (см. 2.4.) приведены в таблице 10 и на графиках зависимости производительности сварки от величины сварочного тока (рис. 11-13).

Приведем расчет для $I = 80\text{А}$, $d_{эл} = 3\text{мм}$, $l_d = 2\text{мм}$, $m_{эл} = 26,5\text{г}$, наклон выходной характеристики 1,5 В/А, способ сварки «на весу»:

$$G_H = a_H * I * t_0,$$

$$G_H = 9 * 80 * 0,0383 = 27,58\text{г}.$$

Таблица 10. Результаты эксперимента и его обработка

| Эксперимент | | | | Обработка результатов | | |
|--|----------------------|---------------------------------------|--------|--|--|--|
| Ток I, A | Напряжение U, B | Время выгорания электрода, t_0 , | | Коэффициент расплавления, $a_p, г/А*ч$ | Коэффициент наплавки, $a_n, г/А*ч$ | Производительность сварки, $C_n, г$ |
| | | секунды | часы | | | |
| $d_{эл} = 3мм, l_d = 0,5мм, m_{эл} = 26,5г$, наклон выходной характеристики 1,5 В/А, способ сварки «с опорой на козырек» | | | | | | |
| 70 | 23.4 | 140 | 0.0389 | 15.29 | 9 | 24.5 |
| 80 | 24.7 | 133 | 0.0369 | 15.29 | 9 | 26.57 |
| 90 | 26.5 | 120 | 0.0333 | 15.29 | 9 | 27 |
| 100 | 27.4 | 90 | 0.025 | 15.29 | 9 | 22.5 |
| 110 | 28.2 | 81 | 0.0225 | 15.29 | 9 | 22.28 |
| 120 | 29.1 | 72 | 0.02 | 15.29 | 9 | 21.6 |
| $d_{эл} = 3мм, l_d = 2мм, m_{эл} = 26,5г$, наклон выходной характеристики 1,5 В/А, способ сварки «на весу» | | | | | | |
| 70 | 23.2 | 154 | 0.0428 | 15.29 | 9 | 26.96 |
| 80 | 24.9 | 138 | 0.0383 | 15.29 | 9 | 27.58 |
| 90 | 26.0 | 129 | 0.0358 | 15.29 | 9 | 29 |
| 100 | 26.4 | 94 | 0.0261 | 15.29 | 9 | 23.49 |
| 110 | 28.0 | 89 | 0.0247 | 15.29 | 9 | 24.45 |
| 120 | 29.8 | 80 | 0.0222 | 15.29 | 9 | 23.98 |
| $d_{эл} = 3мм, l_d = 2мм, m_{эл} = 26,5г$, наклон выходной характеристики 1,5 В/А, способ сварки «с выставленным зазором 2 мм» | | | | | | |
| 70 | 21.6 | 152 | 0.0422 | 15.29 | 9 | 26.59 |
| 80 | 22.1 | 128 | 0.0355 | 15.29 | 9 | 25.56 |
| 90 | 23.5 | 122 | 0.0339 | 15.29 | 9 | 27.46 |
| 100 | 24.6 | 88 | 0.0244 | 15.29 | 9 | 21.96 |
| 110 | 25.8 | 80 | 0.0222 | 15.29 | 9 | 21.98 |
| 120 | 27.6 | 76 | 0.0211 | 15.29 | 9 | 22.79 |

Производительность сварки повышается с возрастанием силы тока до значения $I = 90A$, при дальнейшем росте силы тока наблюдается снижения производительности, перегрев электрода, разбрызгивание металла и снижение качества сварного соединения. Значения производительности находятся в диапазоне 21,6 – 29 г.

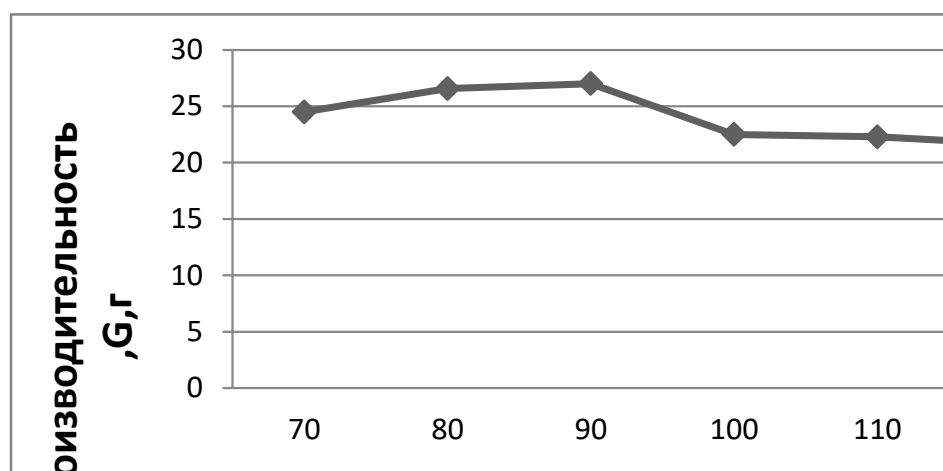


Рисунок 11. График зависимости производительности сварки от величины сварочного тока ($d_{эл} = 3\text{мм}$, $l_d = 0,5\text{мм}$, $m_{эл} = 26,5\text{г}$, наклон выходной характеристики $1,5\text{ В/А}$, способ сварки «с опорой на козырек»)

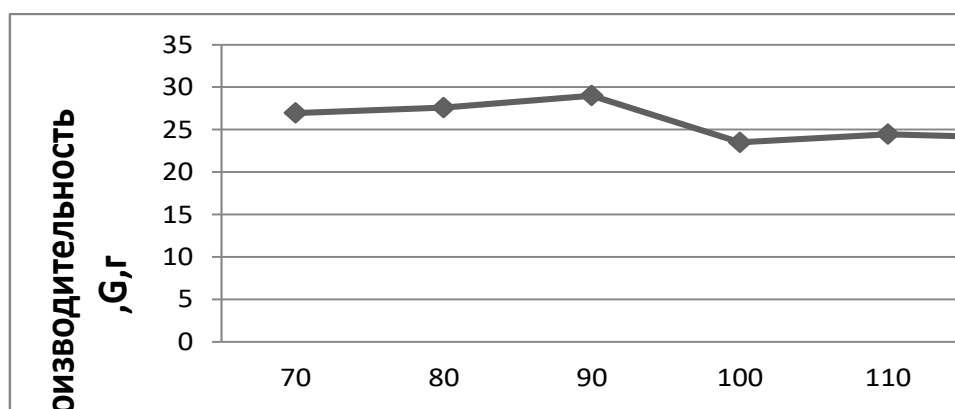


Рисунок 12. График зависимости производительности сварки от величины сварочного тока ($d_{эл} = 3\text{мм}$, $l_d = 2\text{мм}$, $m_{эл} = 26,5\text{г}$, наклон выходной характеристики $1,5\text{ В/А}$, способ сварки «на весу»)

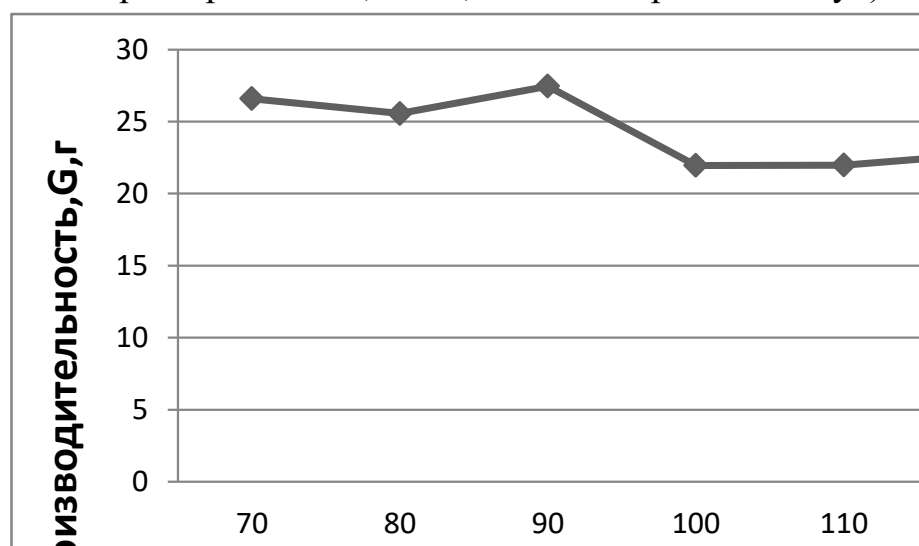


Рисунок 13. График зависимости производительности сварки от величины сварочного тока ($d_{эл} = 3\text{мм}$, $l_d = 2\text{мм}$, $m_{эл} = 26,5\text{г}$, наклон выходной характеристики $1,5\text{ В/А}$, способ сварки «с выставленным зазором 2 мм»)

4. АНАЛИЗ И ВЫВОДЫ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ

4.1. Полученные данные при проведении исследования параметров режимов сварки по алгоритму источника питания позволяют проводить точную подстройку параметров режима не методом подбора, а по графику ВАХ методом интерполяции, что сократит настройку сварочного инвертора по времени на 50%. За счет установки более точных параметров сварки получим наиболее близкие геометрические размеры шва к стандартным и более высокое качество сварного шва за счет лучшего протекания металлургических процессов. За счет сокращения времени настройки параметров режима сварки, получим сокращение расхода электроэнергии и экономию сварочных материалов.

4.2. Выводы по исследованию сварки образцов с различными сварочными зазорами и определением глубины проплавления:

- Увеличение тока увеличивает, а уменьшение — уменьшает глубину провара. При глубине провара более 0,7—0,8 толщины металла резко изменяются условия отвода тепла от нижней части сварочной ванны и может произойти сквозное проплавление металла.

- Чем больше плотность металла (чем тяжелее металл), тем больше провар при данном токе. На ширину шва величина тока почти не оказывает влияния.

- При сварке постоянным током прямой полярности глубина провара меньше на 40—50%, а при сварке переменным током — меньше на 15—20%, чем при сварке постоянным током обратной полярности. Ширина шва при сварке постоянным током прямой полярности меньше, чем при сварке постоянным током обратной полярности и переменным током. Изменение ширины шва становится заметным при более высоких напряжениях дуги (свыше 30В).

- Уменьшение диаметра при том же токе повышает плотность тока в электроде и уменьшает подвижность дуги, что увеличивает глубину провара и сокращает ширину шва. Соответственно, при уменьшении диаметра электрода глубина провара возрастает; ширина же шва с увеличением диаметра электрода увеличивается за счет повышения подвижности дуги. Заданная глубина провара может быть достигнута и при меньшем токе за счет уменьшения диаметра электрода, однако это вызывает затруднения вследствие повышенного разогрева электрода малого диаметра.

- Напряжение дуги почти не оказывает влияния на глубину провара, но влияет на ширину шва. При возрастании напряжения ширина шва увеличивается, при снижении напряжения — уменьшается, что широко

используется при механизированных способах сварки для регулирования ширины шва особенно при наплавке.

При ручной сварке напряжение изменяется незначительно, что не оказывает практического влияния на ширину шва.

- При малых скоростях ручной сварки, составляющих 1 —1,5 м/ч, глубина провара получается минимальной, так как в этом случае интенсивность вытеснения жидкого металла сварочной ванны из-под основания столба дуги невелика. Образующийся у основания дуги слой жидкого металла препятствует проплавлению основного металла. Повышение скорости сварки до некоторого значения, соответствующего максимальной погонной энергии дуги, увеличивает глубину провара.

- Ширина шва зависит от скорости сварки: увеличение скорости уменьшает, а уменьшение скорости — увеличивает ширину шва. Это соотношение сохраняется при всех скоростях сварки и широко используется в практике для регулирования ширины шва.

- Сварку ведут вертикальным электродом, с наклоном углом вперед и углом назад (относительно направления сварки). При сварке углом назад дуга сильнее вытесняет металл из ванны и глубина провара возрастает, а ширина шва уменьшается. При сварке углом вперед давление столба на поверхность металла снижается, что уменьшает глубину провара и увеличивает ширину шва по сравнению со сваркой вертикальным электродом.

4.3. Исследование производительности процесса сварки при изменении его режимов и параметров.

Основываясь на результатах проведенных экспериментов и анализируя графики изменения коэффициента наплавки при увеличении силы сварочного тока в процессе проведения сварочных работ в различных условиях, делаем следующие выводы:

- чем больше сила тока, тем быстрее перемещается дуга - растет скорость сварки;
- среднее значение производительности при данном типе сварки 24 г;
- при значительном увеличении сварочного тока для применяемого диаметра электрода — последний может быстро нагреваться теплом Ленца — Джоуля, что резко понижает качество сварного шва, так как металл шва и зона сплавления основного металла будут перегреты;
- перегрев электрода увеличивает разбрызгивание металла;
- увеличение массы электрода (применение электродов больших диаметров) увеличивает утомляемость сварщика.

ЛИТЕРАТУРА

1. Чернышов Г.Г. Технология электрической сварки плавлением. - М.:ACADEMA, 2006;
2. Колганов Л.А. Сварочные работы. – М.: «Дашков и К», 2008;
3. Левадный В.С., Бурлака А.П. Сварочные работы. Практическое пособие. – М.:Аделант, 2007;
4. Чернышов Г.Г. Сварочное дело. - М.:ACADEMA, 2008.
5. Маслов В.И. Сварочные работы. – М.: ИРПО; Изд. Центр "Академия", 2000;
6. Виноградов В.С. Электрическая дуговая сварка. - М.:ACADEMA, 2008;
7. Казаков Ю.В Сварка и резка материалов. - М.:ACADEMA, 2008;
8. Розаренов Ю. Н. Оборудование для электрической сварки плавлением. – М.: Машиностроение, 1987;
9. Сварка и свариваемые материалы: Справочник. Т.2. – М.: Издательство МГТУ им. Баумана, 1996;
10. Розаренов Ю. Н. Оборудование для электрической сварки плавлением. – М.: Машиностроение, 1987;
11. Солнцев Ю.П., Вологжанин С.А. Материаловедение. - М.:ACADEMA, 2008;
12. Интернет ресурсы:
 - 12.1. <http://weldingsite.com.ua/> - Все о сварке, сварочных технологиях и оборудовании;
 - 12.2. <http://svarka-info.com> - Виртуальный справочник сварщика;
 - 12.3. <http://techlibrary.ru/> - Техническая библиотека;
 - 12.4. <http://www.osvarke.com/> - О сварке. Информационный сайт;
 - 12.5. <http://www.svarka.ru/> - Сварка и сварочное оборудование.
 - 12.6. <http://www.svarkainfo.ru> – Все для надежной сварки
 - 12.7. [http://www. ic-tm.ru/info/svarochnoe_proizvodstvo](http://www.ic-tm.ru/info/svarochnoe_proizvodstvo) – журнал Сварочное дело;
 - 12.8. <http://www.welder.kiev.ua/> - журнал СВАРЩИК.

СОДЕРЖАНИЕ

| | |
|--|----|
| Аннотация | 2 |
| 1. Анализ путей повышения производительности процесса сварки | 3 |
| 2. Расчетная часть | |
| 2.1. Расчет параметров режимов сварки по алгоритму источника питания | 9 |
| 2.2. Выбор схемы и расчет глубины проплавления в зависимости от установленного зазора | 12 |
| 2.3. Карта технологического процесса сварки | 16 |
| 2.4. Алгоритм расчета для исследования влияния коэффициента наплавки на производительность сварки | 17 |
| 2.5. Расчет количества наплавленного металла, расхода сварочных материалов, электроэнергии, полного времени сварки | 18 |
| 3. Экспериментальная часть | |
| 3.1. Исследование параметров режимов сварки по алгоритму источника питания | 20 |
| 3.2. Исследование глубины проплавления при различных зазорах на стыковых швах | 21 |
| 3.3. Исследование производительности процесса сварки при изменении его режимов и параметров | 22 |
| 4. Анализ и выводы результатов исследования | 25 |
| Литература | 27 |