

Планируемые результаты обучения по ООП

Код результатов	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
Р1	Демонстрировать базовые естественнонаучные, математические знания, знания в области экономических и гуманитарных наук, а также понимание научных принципов, лежащих в основе профессиональной деятельности
Р2	Применять базовые и специальные знания в области математических, естественных, гуманитарных и экономических наук в комплексной инженерной деятельности на основе целостной системы научных знаний об окружающем мире
Р3	Применять базовые и специальные знания в области современных информационных технологий для решения задач хранения и переработки информации, коммуникативных задач и задач автоматизации инженерной деятельности
Р4	Эффективно работать индивидуально и в качестве члена команды, демонстрируя навыки руководства отдельными группами исполнителей, в том числе над междисциплинарными проектами, уметь проявлять личную ответственность, приверженность профессиональной этике и нормам ведения профессиональной деятельности
Р5	Демонстрировать знание правовых, социальных, экологических и культурных аспектов комплексной инженерной деятельности, знания в вопросах охраны здоровья, безопасности жизнедеятельности и труда на предприятиях машиностроения и смежных отраслей.
Р6	Осуществлять коммуникации в профессиональной среде и в обществе в целом, в том числе на иностранном языке; анализировать существующую и разрабатывать самостоятельно техническую документацию; четко излагать и защищать результаты комплексной инженерной деятельности на производственных предприятиях и в отраслевых научных организациях.
Р7	Использовать законы естественнонаучных дисциплин и математический аппарат в теоретических и экспериментальных исследованиях объектов, процессов и явлений в машиностроении, при производстве иных металлоконструкций и узлов, в том числе с целью их моделирования с использованием математических пакетов прикладных программ и средств автоматизации инженерной деятельности
Р8	Обеспечивать соблюдение технологической дисциплины при изготовлении изделий машиностроения, металлоконструкций и узлов для нефте-газодобывающей отрасли, горного машиностроения и топливно-энергетического комплекса, а также опасных технических объектов и устройств, осваивать новые технологические процессы производства продукции, применять методы контроля качества новых образцов изделий, их узлов и деталей.
Р9	Осваивать внедряемые технологии и оборудование, проверять техниче-

	ское состояние и остаточный ресурс действующего технологического оборудования, обеспечивать ремонтно-восстановительные работы на производственных участках предприятия.
P10	Проводить эксперименты и испытания по определению физико-механических свойств и технологических показателей используемых материалов и готовых изделий, в том числе с использованием способов неразрушающего контроля
P11	Проводить предварительное технико-экономическое обоснование проектных решений, выполнять организационно-плановые расчеты по созданию или реорганизации производственных участков, планировать работу персонала и фондов оплаты труда, применять прогрессивные методы эксплуатации технологического оборудования при изготовлении изделий машиностроения, иных металлоконструкций и узлов.
P12	Проектировать изделия машиностроения, опасные технические устройства и объекты и технологические процессы их изготовления, а также средства технологического оснащения, оформлять проектную и технологическую документацию в соответствии с требованиями нормативных документов, в том числе с использованием средств автоматизированного проектирования и с учетом требований ресурсоэффективности, производительности и безопасности.
P13	Составлять техническую документацию, выполнять работы по стандартизации, технической подготовке к сертификации технических средств, систем, процессов, оборудования и материалов, организовывать метрологическое обеспечение технологических процессов, подготавливать документацию для создания системы менеджмента качества на предприятии.
P14	Непрерывно самостоятельно повышать собственную квалификацию, участвовать в работе над инновационными проектами, используя базовые методы исследовательской деятельности, основанные на систематическом изучении научно-технической информации, отечественного и зарубежного опыта, проведении патентных исследований.

Студент гр. 10A22

Зубенко Л.Н.

Руководитель ВКР

Зернин Е.А.

Реферат

Выпускная квалификационная работа состоит из 74 страниц, 16 рисунков, 14 таблиц, 49 источников.

Ключевые слова: РЕЖИМЫ СВАРКИ, АРГОНО-ДУГОВАЯ СВАРКА, СТАЛЬ АУСТЕНИТНОГО КЛАССА, НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫЙ ПОРОШОК, МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА, КОРРОЗИОННАЯ СТОЙКОСТЬ.

Объектом исследования является коррозионностойкая сталь аустенитного класса 12Х18Н9Т.

Цель работы – рассчитать поправочный коэффициент для создания методики расчета режимов сварки в аргоне, выявить закономерность влияния нанопорошков на структуру и свойства наплавленного металла.

В результате исследования рассчитан поправочный коэффициент для создания методики расчета режимов сварки в аргоне, исследовано влияние наноструктурированного порошка на механические свойства, коррозионную стойкость, а также структуру наплавленного металла.

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики: при добавлении нанопорошка в расплавленный металл повышаются как прочностные, так и механические свойства.

В будущем планируется разработать методику для расчета режимов сварки сталей аустенитного класса, а также изучать применение новых материалов для повышения качества сварного соединения.

Abstract

Final qualifying work consists of 74 pages, 16 figures, 14 tables, 49 sources.

Key words: MODES of WELDING, ARGON-ARC WELDING, AUSTENITIC STEEL, NANOSTRUCTURED POWDER, MECHANICAL PROPERTIES, CORROSION RESISTANCE.

The object of research is corrosion resistant austenitic steel 12X18H9T.

Purpose – to calculate a correction factor for the creation of methods of calculation of modes of welding in argon, to identify the pattern of influence of nanopowders on the structure and properties of deposited metal.

The study calculated the correction factor for the creation of methods of calculation of modes of welding in argon, the influence of nanostructured powder on mechanical properties, corrosion resistance, as well as the structure of the deposited metal.

The basic constructive, technological and technical-operational characteristics: with the addition of nanopowder in the molten metal rises as the strength and mechanical properties.

In the future we plan to develop a methodology to calculate the welding conditions of austenitic steels, and explore the use of new materials to improve the quality of welded joints.

Определения, обозначения, сокращения, нормативные ссылки

В данной работе применены следующие термины с соответствующими определениями:

Сталь аустенитного класса - аустенитному классу относятся высоколегированные стали, образующие при кристаллизации преимущественно однофазную аустенитную структуру γ -Fe с гранецентрированной кристаллической (ГЦК) решеткой и сохраняющие ее при охлаждении до криогенных температур. Они содержат 18 ...25 % Cr, обеспечивающего жаро- и коррозионную стойкость, а также 8...35 % Ni, стабилизирующего аустенитную структуру и повышающего жаропрочность, пластичность и технологичность сталей в широком интервале температур и агрессивных сред.

Аргоно-дуговая сварка - дуговая сварка, при которой в качестве защитного газа используется аргон.

Коррозионная стойкость - способность металла или сплава сопротивляться коррозионному воздействию среды.

Нанопорошки - согласно определению Международной организации по стандартизации (ISO), нанопорошок — твердое порошкообразное вещество искусственного происхождения, содержащее нанобъекты, агрегаты или агломераты нанобъектов либо их смесь.

Механические свойства - способность металла сопротивляться воздействию внешних сил характеризуется механическими свойствами.

Список используемых обозначений:

ГСП-2 – головка сварочная подвесная;

ВС-300Б – выпрямитель сварочный;

НП – нанопорошок;

МКК – межкристаллитная коррозия;

В настоящей работе использованы ссылки на следующие стандарты:

ГОСТ 14771 – 76: Дуговая сварка в защитном газе. Соединения сварные. Основные типы, конструктивные элементы и размеры.

ГОСТ 2246-70: Проволока стальная сварочная. Технические условия.

ГОСТ 10157-79: Аргон газообразный и жидкий. Технические условия.

ГОСТ 12.1.003-83: Шум. Общие требования безопасности.

ГОСТ 12.1.005-88: ССБТ. Воздух рабочей зоны. Общие санитарно-гигиенические требования.

СНиП 23-05-95: Естественное и искусственное освещение.

ГОСТ 12.1.030-81: ССБТ. Электробезопасность. Защитное заземление, зануление.

ГОСТ 12.0.003-74: Опасные и вредные производственные факторы.

ГОСТ 12.3.003-75: Работы электросварочные. Общие требования безопасности.

Введение

Сварке подвергаются практически любые металлы и неметаллы (пластмассы, керамика, стекло и другие). При этом наибольшая доля затрат в сварочном производстве приходится на сварочные материалы. Поэтому для повышения экономичности и качества при сварочных работах необходимо снижать расходы.

Сварка сталей аустенитного класса в аргоне является высокотехнологическим процессом, на результат которого влияет: тщательная подготовка металла, правильный выбор режима сварки и расходных материалов. Для расчета режимов аргонодуговой сварки в литературе нет специальной методики, формул, поэтому необходимо найти пути решения данной проблемы. Правильный подбор режимов является традиционным методом улучшения качества сварного соединения.

Однако наука не стоит на месте, наряду с традиционными методами улучшения качества сварного соединения появились и новые – применение наномодифицированных материалов, которые повышают производительность, увеличивают глубину проплавления и повышают коррозионную стойкость. Поэтому становится актуальным применение данного материала.

1 Объект исследования и аналитика

1.1 Расчет режимов сварки в защитных газах сталей аустенитного класса

Режимы сварки – параметры, влияющие на ход протекания процесса и получение качественного сварного соединения. Для сварки в аргоне существуют лишь справочные режимы, но всегда существует погрешность между расчетными и справочными данными.

Для того, чтобы разработать методику расчета режимов сварки в аргоне, за основу были взяты формулы для сварки в углекислом газе. Произведем расчет режимов сварки нескольких соединений: С1, С2, С7, С8.

Параметры режимов дуговой сварки в CO_2 плавящимся электродом [38]:

- 1) Диаметр электродной сварки $d_{\text{эл}}$;
- 2) Скорость сварки $V_{\text{с}}$;
- 3) Сварочный ток $I_{\text{с}}$;
- 4) Напряжение сварки $U_{\text{с}}$;
- 5) Вылет электродной проволоки $l_{\text{в}}$;
- 6) Скорость подачи электродной проволоки $V_{\text{эл}}$;
- 7) Количество проходов n .

Сведения о стандартных типах соединений, швов и формы подготовки кромок для дуговой сварки в защитных газах приведены в ГОСТ 14771 – 76 «Дуговая сварка в защитном газе. Соединения сварные. Основные типы, конструктивные элементы и размеры».

Расчет параметров дуговой сварки в защитном газе соединения С1

Соединение С1 является стыковым, с отбортовкой двух кромок, а по характеру выполненного шва – односторонним.

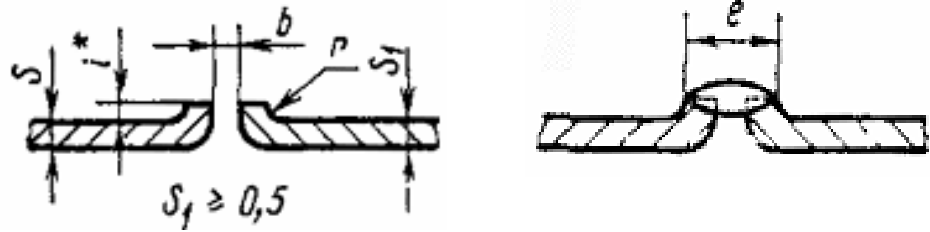


Рисунок 1.1 Конструктивные элементы подготовленных кромок свариваемых деталей и шва сварного соединения по ГОСТ 14771 – 76:

S – толщина детали; b – зазор между деталями; e – ширина шва
Основные размеры [39]:

$S=2$ мм – толщина свариваемых деталей;

$b=0+1$ мм – зазор между свариваемыми деталями;

$e= S+S1+3$ мм – ширина сварного шва.

По данным таблицы [38] определили, что шов по количеству проходов является однопроходным, так как толщина свариваемого металла не выходит за пределы 0,8...8 мм.

Определяем расчетную глубину проплавления по данным таблицы [38]:

$$h_p = S - 0,5 \cdot b, \quad (1)$$

$$h_p = 2 - 0,5 \cdot 0 = 2 \text{ мм},$$

$$h_p = 2 - 0,5 \cdot 1 = 1 \text{ мм},$$

$$h_p = 1 \dots 2 \text{ мм}.$$

Определяем диаметр электродной проволоки:

$$d_{\text{эл}} = \sqrt[4]{h_p} \pm 0,05 h_p, \quad (2)$$

$$d_{\text{эл}} = \sqrt[4]{2} \pm 0,05 \cdot 2 = 1,089 \dots 1,289.$$

Принимаем $d_{\text{эл}} = 1,2$ мм.

Скорость сварки V_c рассчитываем по зависимости:

$$V_c = K_v \frac{h_p^{1,61}}{e^{3,36}}, \quad (3)$$

Принимаем $K_v = 1060$ по данным таблицы [38].

$$V_c = 1060 \cdot \frac{2^{1,61}}{7^{3,36}} = 4,682 \text{ мм/с (16,85 м/ч)}.$$

Предельные значения скорости сварки ограничиваются уровнем автоматизации процесса: при механизированной сварке $V_c = 4 \dots 10$ мм/с.

Сварочный ток I_c определяем в зависимости от размеров шва, e и h :

$$I_c = K_I \frac{h_p^{1,32}}{e^{1,07}}, \quad (4)$$

Принимаем $K_I = 430$ по данным таблицы [38].

$$I_c = 430 \cdot \frac{2^{1,32}}{7^{1,07}} = 133,836 \text{ А}.$$

Напряжение сварки U_c зависит в основном от сварного тока, а также от диаметра и вылета электродной проволоки, положения шва и других факторов.

$$U_c = 14 + 0,05 I_c \quad (5)$$

$$U_c = 14 + 0,05 \cdot 133,836 \text{ В}.$$

Принимаем $U_c = 21$ В.

Вылет электродной проволоки:

$$l_B = 10 \cdot d_{\text{эл}} \pm 2 \cdot d_{\text{эл}}, \quad (6)$$

$$l_B = 10 \cdot 1,2 \pm 2 \cdot 1,2 = 12 \pm 2,4 \text{ мм}.$$

Скорость подачи электродной проволоки:

$$V_{\text{эл}} = 0,53 \frac{I_c}{d_{\text{эл}}^2} + 6,94 \cdot 10^{-3} \frac{I_c^2}{d_{\text{эл}}^3}, \quad (7)$$

$$V_{\text{эл}} = 0,53 \frac{133,836}{1,2^2} + 6,94 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{133,836^2}{1,2^3} = 156,067 \text{ мм/с (561,84 м/ч)}.$$

Расход защитного газа зависит от толщины металла, и соответственно сварочного тока:

$$q_{\text{зг}} = 3,3 \cdot 10^{-3} \cdot I_c^{0,75}, \quad (8)$$

$$q_{\text{зг}} = 3,3 \cdot 10^{-3} \cdot 133,836^{0,75} = 0,13 \text{ л/с}.$$

Расчет параметров дуговой сварки в защитном газе соединения С2

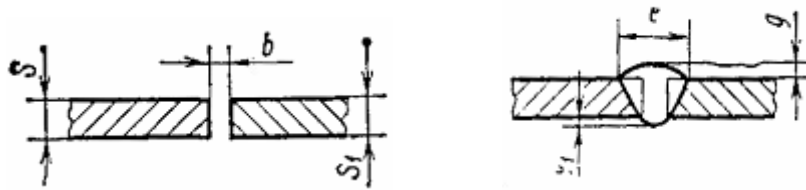


Рисунок 2.2 Конструктивные элементы подготовленных кромок свариваемых деталей и шва сварного соединения по ГОСТ 14771 – 76:

S, S_1 – толщина детали; b – зазор между деталями; e – ширина шва;

g – усиление шва

Соединение С2 является стыковым, без скоса кромок, а по характеру выполненного шва – односторонним на съемной подкладке [39].

Основные размеры:

$$S=3 \text{ мм};$$

$$b= 0+1,5 \text{ мм};$$

$$e= 8 \text{ мм};$$

$$g=1,5\pm0,5 \text{ мм} – \text{усиление шва};$$

$$g_1=1,5\pm1,0 \text{ мм}.$$

$$h_p=2,25...3 \text{ мм}.$$

$$d_{\text{эп}} = \sqrt[4]{3} \pm 0,05 \cdot 3 = 1,166...1,466 \text{ мм}.$$

Принимаем $d_{\text{эп}}=1,2 \text{ мм}$.

Принимаем $K_v=1100$ по данным таблицы [38].

$$V_c = 1100 \cdot \frac{3^{1,61}}{8^{3,36}} = 5,959 \text{ мм/с} \text{ (21,45 м/ч)}.$$

Принимаем $K_I = 440$ по данным таблицы [38].

$$I_c = 440 \frac{3^{1,32}}{8^{1,07}} = 202,743 \text{ А}.$$

$$U_c = 14 \pm 0,05 \cdot 202,743 \text{ В}.$$

Принимаем $U_c = 25 \text{ В}$.

Вылет электродной проволоки:

$$l_B = 10 \cdot 1,2 \pm 2 \cdot 1,2 = 12 \pm 2,4 \text{ мм}.$$

Скорость подачи электродной проволоки:

$$V_{\text{эл}} = 0,53 \frac{202,743}{1,2^2} + 6,94 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{202,743^2}{1,2^3} = 158,784 \text{ мм/с (571,62 м/ч)}.$$

Расход защитного газа:

$$q_{\text{гз}} = 3,3 \cdot 10^{-3} \cdot 202,743^{0,75} = 0,177 \text{ л/с}.$$

Расчет параметров дуговой сварки в защитном газе соединения С7

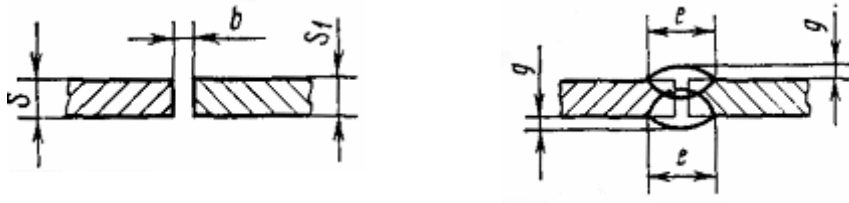


Рисунок 2.3 Конструктивные элементы подготовленных кромок свариваемых деталей и шва сварного соединения по ГОСТ 14771 – 76:

S, S_1 – толщина детали; b – зазор между деталями; e – ширина шва;
 g – усиление шва

Соединение С7 является стыковым, без скоса кромок, а по характеру выполненного шва – двусторонним [39].

Основные размеры:

$$S=6 \text{ мм};$$

$$b=0+2 \text{ мм};$$

$$e=10 \text{ мм};$$

$$g=1 \pm 1 \text{ мм}.$$

$$h_p=2,6...3,6 \text{ мм}.$$

$$d_{\text{эл}} = \sqrt[4]{3,6 \pm 0,05 \cdot 3,6} = 1,197...1,557 \text{ мм}.$$

Принимаем $d_{\text{эл}}=1,2 \text{ мм}.$

Принимаем $K_v=1100$ по данным таблицы [38].

$$V_c = 1100 \frac{3,6^{1,61}}{10^{3,36}} = 3,775 \text{ мм/с (13,59 м/ч)}.$$

Полученное значение V_c не входит в пределы ограничений для механизированной сварки 4...20 мм/с, поэтому нужно сделать перерасчет при более низкой ширине шва.

Принимаем $e=9$ мм.

$$V_c = 1100 \cdot \frac{3,6^{1,61}}{9^{3,36}} = 5,38 \text{ мм/с (19,368 м/ч)}.$$

Принимаем $K_I = 440$ по данным таблицы [38].

$$I_c = 440 \cdot \frac{3,6^{1,32}}{9^{1,07}} = 227,37 \text{ А}.$$

$$U_c = 14 + 0,05 \cdot 227,37 = 25,37 \text{ В}.$$

Принимаем $U_c = 26$ В.

Вылет электродной проволоки:

$$l_B = 10 \cdot 1,2 \pm 2 \cdot 1,2 = 12 \pm 2,4 \text{ мм}.$$

Скорость подачи электродной проволоки:

$$V_{\text{эл}} = 0,53 \frac{227,37}{1,2^2} + 6,94 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{227,37^2}{1,2^3} = 192,232 \text{ мм/с (692,0352 м/ч)}.$$

Расход защитного газа:

$$q_{\text{зг}} = 3,3 \cdot 10^{-3} \cdot 227,37^{0,75} = 0,193 \text{ л/с}.$$

Расчет параметров дуговой сварки в защитном газе соединения С8

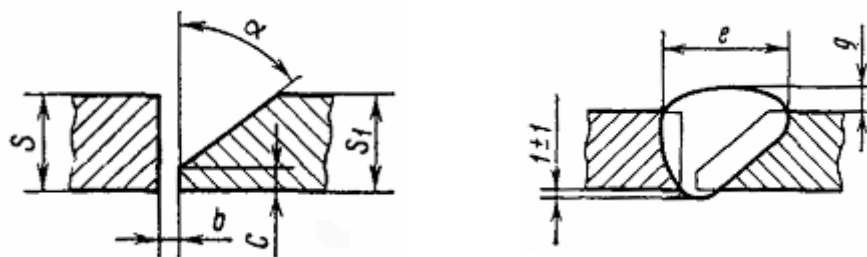


Рисунок 2.4 Конструктивные элементы подготовленных кромок свариваемых деталей и шва сварного соединения по ГОСТ 14771-76:

S, S_1 – толщина детали; b – зазор между деталями; e – ширина шва;

g – усиление шва; α – угол скоса кромки

Соединение С8 является стыковым, со скосом одной кромки, а по характеру выполненного шва – односторонним [39].

Основные размеры:

$$S=8 \text{ мм};$$

$$b= 1 \pm 1 \text{ мм};$$

$$c=1\pm1 \text{ мм};$$

$$e= 16\pm2 \text{ мм};$$

$$\alpha=50\pm2^\circ;$$

$$g=1 \pm 1 \text{ мм}.$$

$$h_p=4,6\dots5,6 \text{ мм}.$$

$$d_{\text{эл}} = \sqrt[4]{5,1 \pm 0,05 \cdot 5,1} = 1,483\dots1,758 \text{ мм}.$$

Принимаем $d_{\text{эл}}=1,6 \text{ мм}$.

Принимаем $K_v=1120$ по данным таблицы [38].

$$V_c = 1120 \cdot \frac{5,1^{1,61}}{16^{3,36}} = 1,389 \text{ мм/с (5 м/ч)}.$$

Полученное значение V_c не входит в пределы ограничений для механизированной сварки 4...20 мм/с, поэтому нужно сделать перерасчет при более низкой ширине шва.

Принимаем $e=11 \text{ мм}$.

$$V_c = 1120 \cdot \frac{5,1^{1,61}}{11^{3,36}} = 4,89 \text{ мм/с (17,604 м/ч)}.$$

Принимаем $K_I = 460$ по данным таблицы [27].

$$I_c = 460 \cdot \frac{5,1^{1,32}}{11^{1,07}} = 303,711 \text{ А}.$$

$$U_c = 14 + 0,05 \cdot 303,711 = 29,186 \text{ В}.$$

Принимаем $U_c = 25 \text{ В}$.

Вылет электродной проволоки:

$$l_B = 10 \cdot 1,6 \pm 2 \cdot 1,6 = 16 \pm 3,2 \text{ мм}.$$

Скорость подачи электродной проволоки:

$$V_{\text{эл}} = 0,53 \cdot \frac{303,711}{1,6^2} + 6,94 \cdot 10^{-3} \frac{303,711^2}{1,6^3} = 219,164 \text{ мм/с (788,99 м/ч)}.$$

Расход защитного газа:

$$q_{\text{зг}} = 3,3 \cdot 10^{-3} \cdot 303,711^{0,75} = 0,24 \text{ л/ч}.$$

Сведем полученные значения режимов сварки в CO_2 и сравним со справочными значениями в инертном газе - аргоне.

Таблица 2.1 - Расчетные режимы механизированной сварки в CO_2 соединения С1

Толщина S, мм	Диаметр электрода $d_{\text{эл}}$, мм	Сила сварочного тока $I_{\text{св}}$, А	Напряжение $U_{\text{св}}$, В	Расход газа $q_{\text{зг}}$, л/с
2	1,2	133,836	21	0,13

Таблица 2.2 - Режим механизированной аргоно-дуговой сварки нержавеющей стали плавящимся электродом в нижнем положении [40]

Толщина S, мм	Диаметр электрода $d_{\text{эл}}$, мм	Сила сварочного тока $I_{\text{св}}$, А	Напряжение $U_{\text{св}}$, В	Расход газа $q_{\text{зг}}$, л/с
2	0,8...1	200...210	22...24	0,025

Сравнивая полученные расчетные значения сварочного тока со справочными, получаем коэффициент k , равный: $k = 1,494...1,55$

Таблица 2.3 - Расчетные режимы механизированной сварки в CO_2 соединения С2

Толщина S, мм	Диаметр электрода $d_{\text{эл}}$, мм	Сила сварочного тока $I_{\text{св}}$, А	Напряжение $U_{\text{св}}$, В	Расход газа $q_{\text{зг}}$, л/с
3	1,4	202,743	25	0,177

Таблица 2.4 - Режим механизированной аргоно-дуговой сварки нержавеющей стали плавящимся электродом в нижнем положении [40]

Толщина S, мм	Диаметр электрода $d_{эп}$, мм	Сила сварочного тока $I_{св}$, А	Напряжение $U_{св}$, В	Расход газа $q_{зг}$, л/с
3	0,8...1	200...230	22...24	0,025

Сравнивая полученные расчетные значения сварочного тока со справочными, получаем коэффициент k, равный: $k = 0,98...1,134$

Таблица 2.5 - Расчетные режимы механизированной сварки в CO_2 соединения С7

Толщина S, мм	Диаметр электрода $d_{эп}$, мм	Сила сварочного тока $I_{св}$, А	Напряжение $U_{св}$, В	Расход газа $q_{зг}$, л/с
6	1,4	227,37	26	0,193

Таблица 2.6 - Режим механизированной аргоно-дуговой сварки нержавеющей стали плавящимся электродом в нижнем положении [40]

Толщина S, мм	Диаметр электрода $d_{эп}$, мм	Сила сварочного тока $I_{св}$, А	Напряжение $U_{св}$, В	Расход газа $q_{зг}$, л/с
6	1,0	260...270	25...27	0,025

Сравнивая полученные расчетные значения сварочного тока со справочными, получаем коэффициент k, равный: $k = 1,143...1,18$

Таблица 2.7 - Расчетные режимы механизированной сварки в CO_2 соединения С8

Толщина S, мм	Диаметр электрода $d_{\text{эл}}$, мм	Сила сварочного тока $I_{\text{св}}$, А	Напряжение $U_{\text{св}}$, В	Расход газа $q_{\text{зг}}$, л/с
8	1,6	303,711	30	0,24

Таблица 2.8 - Режим механизированной аргоно-дуговой сварки нержавеющей стали плавящимся электродом в нижнем положении [40]

Толщина S, мм	Диаметр электрода $d_{\text{эл}}$, мм	Сила сварочного тока $I_{\text{св}}$, А	Напряжение $U_{\text{св}}$, В	Расход газа $q_{\text{зг}}$, л/с
6,5 и более	1,6	280...350	22...24	0,025

Сравнивая полученные расчетные значения сварочного тока со справочными, получаем коэффициент k , равный: $k = 0,921 \dots 1,15$

Коэффициент k разделился на 4 интервала: $[1,494; 1,55]$; $[0,98; 1,134]$; $[1,143; 1,18]$; $[0,921; 1,15]$. Из них можно выделить общий коэффициент $k=1,15 \dots 1,2$.

Рассчитанный поправочный коэффициент, показывающий отношение справочной величины сварочного тока в аргоне к расчетному значению сварочного тока в углекислом газе, равен $k=1,15 \dots 1,2$. Этот результат можно применить для создания методики расчета режимов сварки в аргоне.

На основе расчетных и справочных данных был получен коэффициент $k=1,15 \dots 1,2$. Данный коэффициент можно использовать при создании методики для расчета режимов сварки плавящимся электродом в аргоне сталей аустенитного класса.

1.2 Участок для исследования сварки в защитных газах

Для исследования и изучения быстропротекающих процессов при сварке плавящимся электродом в защитных газах был спроектирован экспериментальный комплекс, представленный на рисунке 2.5.

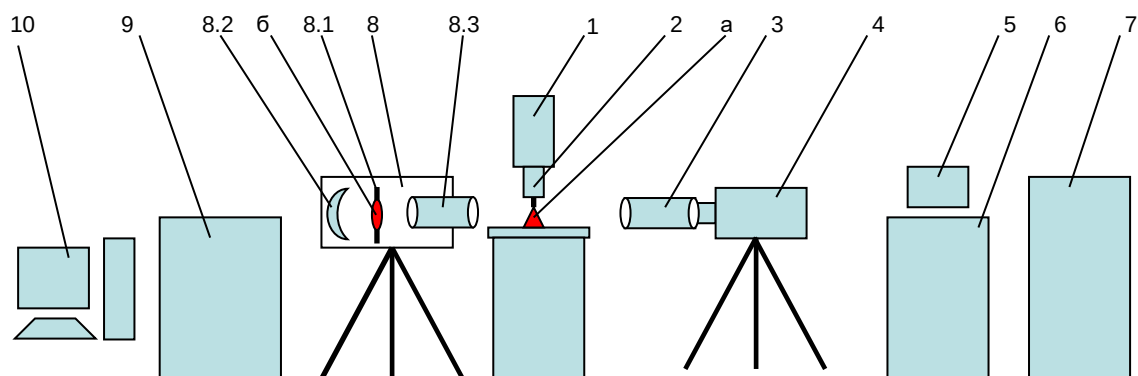


Рисунок 2.5 – Комплекс для проведения исследования

Он включает в себя:

- 1 – подвесная сварочная головка ГСП-2 для автоматической сварки плавящимся электродом в защитных газах;
- 2 – сменное газоподводящее сопло (промышленное или двухструйное) для изменения условий истечения защитного газа;
- 3 – система линз для фокусировки цифровой скоростной видеокамеры на объекте исследования;
- 4 – цифровая скоростная видеокамера «Видео Спринт» с возможностью регистрации быстропротекающих процессов (частота 52000 кадров в секунду);
- 5 – цифровой регистратор параметров сварки AWR-524 для регистрации энергетических параметров сварочного процесса;
- 6 – инверторный источник питания постоянного тока ВС-300Б для питания сварочной дуги;

7 – блок автоматического регулирования сварки БАРС-2В для автоматического регулирования параметров сварки (ток, напряжение, скорость сварки, расход газа и т.д.), возбуждения и гашения дуги;

8 – прожектор для создания «теневого» эффекта, включающий в себя:

8.1 – угольные электроды для создания мощного источника света;

8.2 – сферическое зеркало для отражения светового потока;

8.3 – система линз для фокусировки светового потока на сварочной дуге.

9 – источник питания ТИР-315 для возбуждения и питания дуги между угольными электродами;

10 – персональный компьютер со специальным программным обеспечением (ПО) для управления параметрами цифровой скоростной видеокамеры, обработки и хранения полученной видео информации.

Сварочный выпрямитель ВС-300Б предназначен для полуавтоматической сварки в среде защитных газов на постоянном токе. Выпрямители имеют жесткую внешнюю вольтамперную характеристику, ступенчатое регулирование выходного напряжения. Для транспортировки выпрямителя служит тележка на поворотных колесах, на которой расположена площадка для установки баллона с защитным газом. Прекрасно работает при сварке на короткой и длинной дуге проволоками сплошного сечения и порошковыми.

Технические характеристики источника питания ВС-300Б представлены в таблице 2.9.

Таблица 2.9 – Технические характеристики ВС-300Б [41]

Параметр	Значение
Напряжение питающей сети, В	3*380
Диапазон сварочного тока, А	50-350
Номинальный сварочный ток (ПВ 60%), А	315
Количество ступеней индуктивности	2

Продолжение таблицы 2.9

Количество ступеней регулирования сварочного напряжения	20
Номинальное рабочее напряжение, В	30
Напряжение холостого хода, В	45
Пределы регулирования сварочного напряжения, В	16-33
Потребляемая мощность, кВА	18
Масса сварочного аппарата, кг	115
Габариты сварочного аппарата (Ш*В*Г), мм	425*710*800

Сварочная головка ГСП-2 предназначена для осуществления сварочного процесса в автоматическом режиме. Их используют при сваривании кольцевых и продольных швов корпусных металлических изделий. Собирают их из унифицированных модулей, а сам процесс начинается после того, как будет включен механизм подачи электродов. Такой механизм состоит из нескольких частей: мотор-редуктор, мундштук, тянущие ролики и направляющие ролики. Кроме этого механизм сварочной головки состоит из двух механизированных суппортов, имеющих повышенную точность. С их помощью механизм подачи и мундштук имеют возможность перемещаться как в горизонтальном, так и в вертикальном направлении. Основным предназначением сварочной головки является подача электродов или электродной проволоки в сварочную зону с определенной скоростью. Кроме этого, она осуществляет подвод к электродной проволоке напряжения [41].

Работа экспериментального комплекса.

Перед запуском комплекса проводится предварительная фокусировка прожектора (рисунок 2.5, позиция 8) на сварочную дугу, а так же фокусировка цифровой видеокамеры (рисунок 2.5, позиция 4) при помощи системы линз (рисунок 2.5, позиция 3).

Запуск комплекса осуществляется в следующем порядке:

-запускаются источники питания сварочной дуги (позиция 6) и дополнительного источника света (позиция 9) в режим холостого хода, включается блок автоматического регулирования сварки (позиция 7), цифровой регистратор параметров (позиция 5), компьютер (позиция 10) и цифровая камера (позиция 4) в режим ожидания;

-выставляются необходимые режимы сварки (БАРС-2В, позиция 7) и параметры видеофиксации (при помощи специального ПО, установленного на ЭВМ, позиция 10);

-возбуждается сварочная дуга (рисунок 2.5, а) и дополнительная дуга между угольными электродами (рисунок 2.5, б);

-в процессе сварки производится регистрация параметров (устройство позиция 5) и видеофиксация (камера позиция 4);

-прекращается подача энергии на сварочную дугу и дополнительную дугу, происходит обработка видеоизображения в ЭВМ (позиция 10);

-после обработки видеоизображения файл сохраняется, изменяются параметры режима сварки, процесс повторяется.

Варьируемые параметры:

-Ток сварки ($I_{св}$) от 140А до 280А;

-Напряжение сварочной дуги ($U_{д}$) от 25В до 28В;

-Вылет электродной проволоки ($l_{эп}$) от 12 мм до 30 мм;

-Расход защитного газа (CO_2) от 15 л/мин до 30 л/мин;

-обработка видеоизображения осуществляется при помощи специального программного обеспечения. Производится «раскадровка» видеофайлов с целью установления поведения изучаемой системы в определенный момент времени;

-обработка данных цифрового регистратора параметров сварки осуществляется при помощи MS Office Excel с целью построения осциллограмм процесса сварки;

Дальнейшее совмещение полученных кинограмм и осциллограмм процесса сварки осуществляется с целью определения частоты переноса

электродного металла в сварочную ванну, характера переноса и размера капель электродного металла.

1.3 Обоснование выбора материалов для проведения исследования

Для практических исследований будет принята нержавеющая сталь коррозионно-стойкая обыкновенная 12Х18Н9Т, содержание химических элементов представлено в таблице 2.10, а механических свойств при $T=20^{\circ}\text{C}$ в таблице 2.11.

Таблица 2.10 - Химический состав стали 12Х18Н9Т, % [42]

С	Si	Mn	S	P	Cr,	Ni	Cu,	Ti
до 0.12	до 0.8	до 2	до 0.02	до 0.035	17-19	9-11	0,30	0,6 - 0, 8

Таблица 2.11 - Механические свойства при $T=20^{\circ}\text{C}$ стали 12Х18Н9Т [42]

$\sigma_{\text{в}}$, МПа	$\sigma_{\text{т}}$, МПа	δ , %	ψ , %
510	196	35	40

Для проведения эксперимента будет использоваться сварочная нержавеющая проволока 12Х18Н9Т (ГОСТ 2246-70). Данная хромоникелевая проволока, предназначенная для сварки нержавеющих сталей, является близкой по химическому составу стали образцов и обладает отличными антикоррозийными характеристиками и удобством использования в сварке. Химический состав проволоки представлен в таблице 2.12.

Таблица 2.12 - Химический состав проволоки 12Х18Н9Т, % [42]

С	Si	Mn	S	P	Cr,	Ni	Cu,	Ti
до 0.12	до 0.8	до 2	до 0.02	до 0.035	17-19	8-9,5	0,30	0,6 - 0, 8

В качестве защитного газа будет использоваться инертный одноатомный газ аргон по ГОСТ 10157-79.

Таблица 2.13 – Защитный газ для дуговой сварки [43]

Газ	Содержание чистого газа по объему, %, не менее	Назначение
Аргон (ГОСТ 10157 – 79)	99,95	Сварка стыков труб и тонколистовых конструкций из углеродистых, низко-, средне- и высоколегированных сталей

2 Результаты проведенного исследования

На качество сварного соединения влияет правильный расчет режимов сварки, однако этот метод является традиционным. Наука не стоит на месте, разрабатываются новые технологии повышения качества сварных соединений. Одним из способов является применение наноразмерных материалов, а в частности наноразмерных элементов-модификаторов.

2.1 Структура наплавленного металла в присутствии нанопорошков

Методом оптической металлографии структуры образцов, полученных при наплавке в среде аргона проволокой сплошного сечения с добавлением наноструктурированных порошков в защитный газ установлено, что при его содержании в наплавленном металле реализуется эффект модифицирования наплавленного металла и средний размер дендрита по толщине уменьшается в 1,5-2 раза, по ширине в 2-3 раза (рисунок 3.1, 3.2).

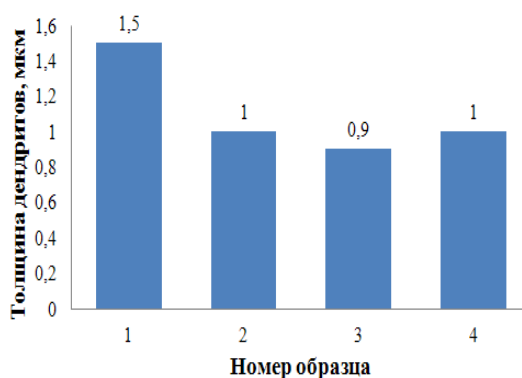


Рисунок 3.1 - Толщина дендритов

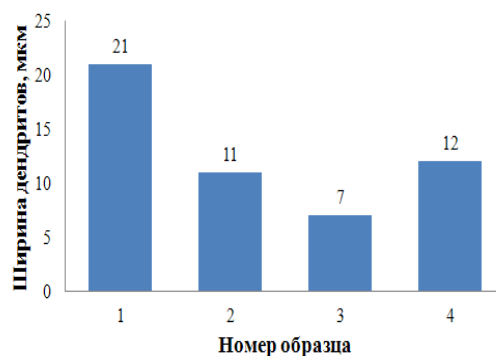


Рисунок 3.2 - Ширина дендритов

На процесс кристаллизации наплавленного металла воздействуют нанопорошки, которые под действием высокой температуры плавления переходят в сварочную ванну. Согласно общепринятым представлениям, чем меньше проявляется дендритное строение наплавленного металла и чем менее грубое строение дендритов, тем лучше механические свойства сварного шва. С этих позиций сварной шов образца при наплавке в среде аргона проволокой сплошного сечения уступает образцам при наплавке в среде аргона проволокой сплошного сечения с добавлением наноструктурированных порошков W, Mo и Al_2O_3 . Наиболее равновесная структура по размеру дендрита достигается с применением наноструктурированного порошка Al_2O_3 .

Основной металл имеет структуру горячекатаной нержавеющей стали 12X18H10T (рисунок 3.3). Она представлена полиэдрическими сдвойникованными зернами, средний размер которых составляет 30 ± 10 мкм.

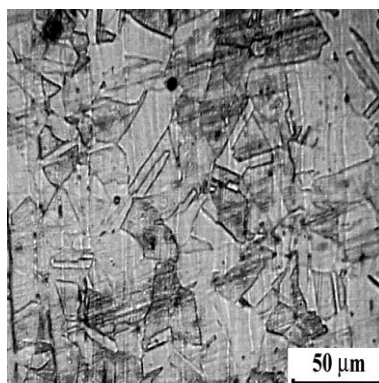


Рисунок 3.3 - Структура основного металла

Исследования показали, что наплавленный металл разделился на три различных по структуре слоя. Толщина слоев для разных вариантов различна. На рисунке 3.4 представлена схема расположения мест исследования микроструктуры швов.

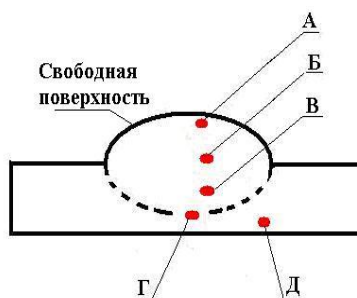
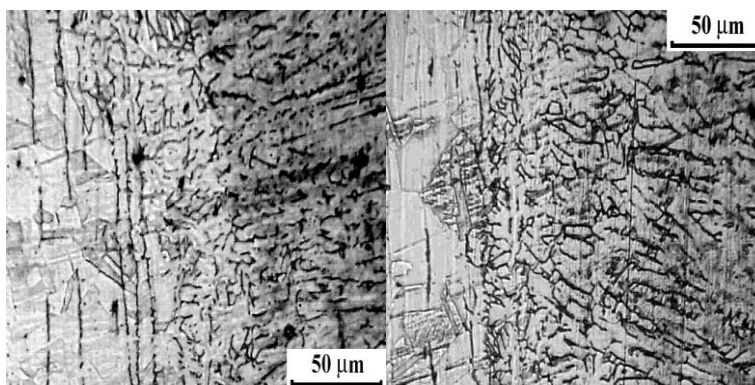


Рисунок 3.4 - Схема расположения мест исследования микроструктуры сварного шва

А – верхний слой наплавленного металла, Б – средний слой наплавленного металла, В. – нижний слой наплавленного металла, Г – участок перехода от наплавленного металла к основному, Д – основной металл

В точке Д фиксировалась структура основного металла. Как указано выше, она одинакова для всех образцов (рисунок 3.4). В точке Г структура наплавленного металла переходит к зоне термического влияния, а затем к основному металлу (рисунок 3.5 а, б, в, г).



а

б

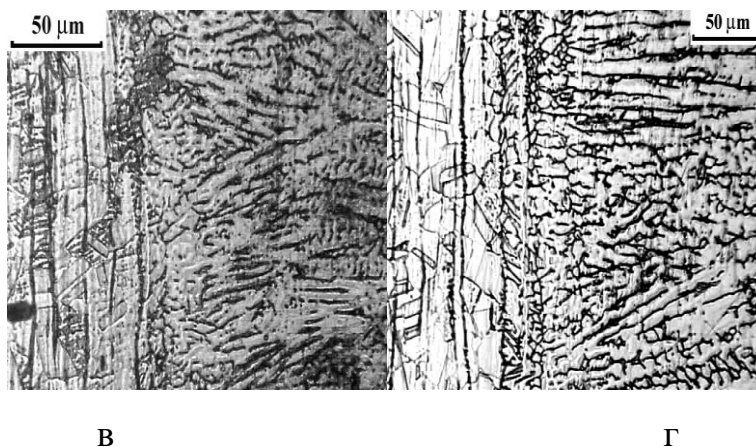
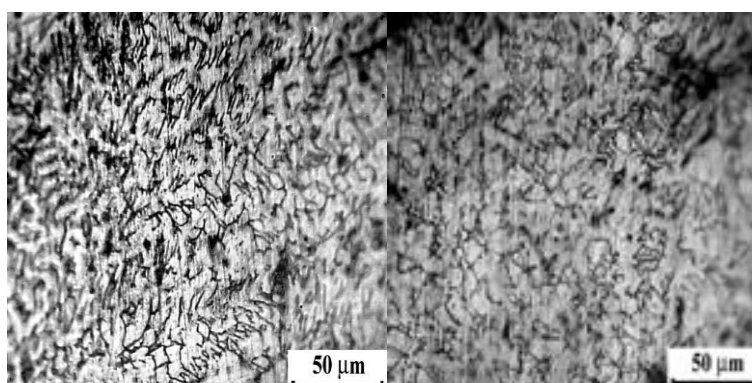


Рисунок 3.5 - Структура границы сплавления и зоны термического влияния; а) – образец № 1; б) – образец № 2; в) – образец № 3; г) – образец № 4

Точки А, Б и В относятся к структурам, находящимся выше слоев наплавленного металла. Первый слой, примыкающий к свободной поверхности, можно отнести к слою с полиэдрической зеренной структурой, в которой наблюдаются полиэдрические зерна аустенита. Имея одинаковую ширину, зона термического влияния во всех образцах четко не выявляется. На границе сплавления происходит плавный переход от дендритной структуры наплавленного металла к полиэдрической зеренной структуре зоны термического влияния. Находящиеся рядом с хаотически расположенными (неориентированными) дендритами. Этот слой слабо выражен в образце № 1 (рисунок 3.6 а). Толщина его составляет 15% от общей толщины наплавленного металла.



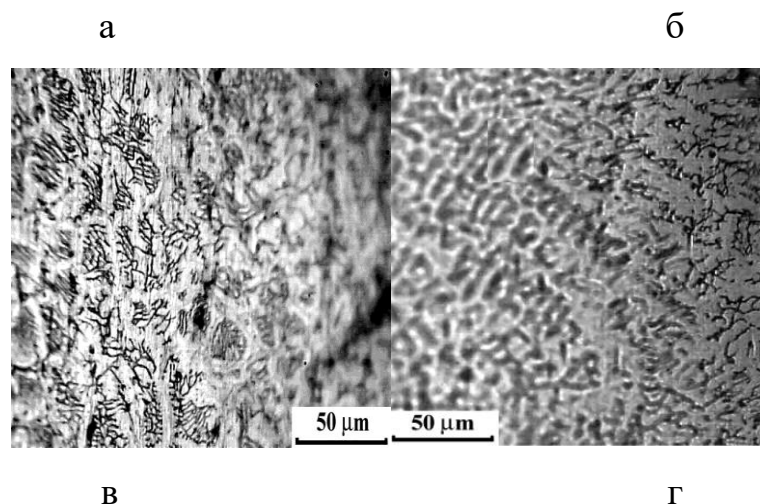


Рисунок 3.6 Микроструктура слоя полиэдрических зерен; а – образец № 1, б – образец № 2, в – образец № 3, г – образец №4

Наиболее ярко «зеренный» слой выражен в образце № 2 (рисунок 3.6 б). Зерна полиэдрической морфологии, которые чередуются с островками коротких неориентированных дендритов хорошо заметны в этом слое. Толщина рассматриваемого слоя составляет более 30% общей толщины наплавленного металла. В образцах № 3,4 (рисунок 3.6 в,г) также достаточно четко наблюдается полиэдрическая зеренная структура. Однако особенностью является расположение в зернах коротких и сильно разветвленных дендритов. Толщина слоя составляет 20% от общей.

Дендриты сильно разветвленные, сравнительно короткие, которые не имеют преимущественной ориентации, являются основной микроструктурной составляющей следующего слоя. Этот слой опять слабо выражен в образце № 1 (рисунок 3.7 а) с толщиной, составляющей 28% от общей. В меньшем процентном отношении 26% такая же толщина слоя выявляется в образце № 2 (рисунок 3.7 б). Наиболее ярко слой неориентированных дендритов выражен в образцах № 3,4 (рисунок 3.7 в).

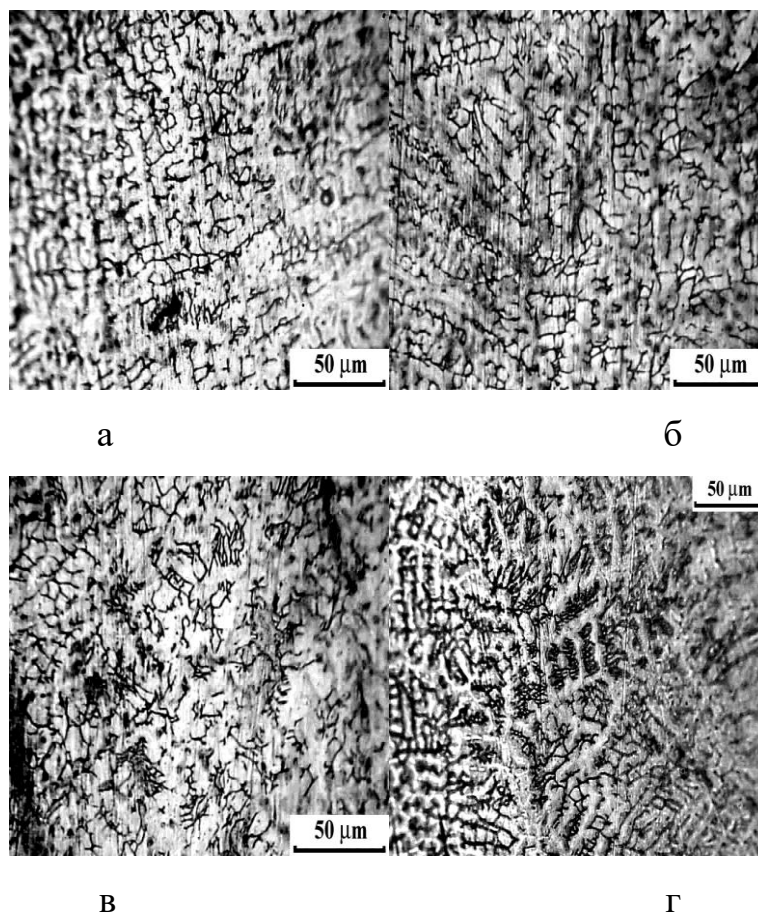


Рисунок 3.7 Микроструктура слоя неориентированных дендритов; а – образец № 1, б – образец № 2, в – образец № 3, г – образец №4

При этом если в образцах № 1 и 2 дендриты образуют практически непрерывную сетку, то в образцах № 3,4 наблюдаются островки свободной поверхности, где в то же время, выделить границы зерен не удастся. Толщина слоя неориентированных дендритов в образце № 3 составляет 32% от общей, в образце № 4 – 31%. Этот слой плавно переходит в следующий слой ориентированных дендритов.

Ориентация длинных осей дендритов в рассматриваемом слое (рисунок 3.8 а-г) нормальна к границе сплавления – вдоль направления теплового потока в основной металл. Слой ориентированных дендритов в образце № 1 составляет 57% , в образце №2 43%, в образце № 3 45%, в образце № 4 44% от общей толщины. Непосредственно перед границей сплавления строгая ориентация

длинных осей дендритов снова нарушается и образуется еще один тонкий слой неориентированных дендритов толщиной около 20 мкм.

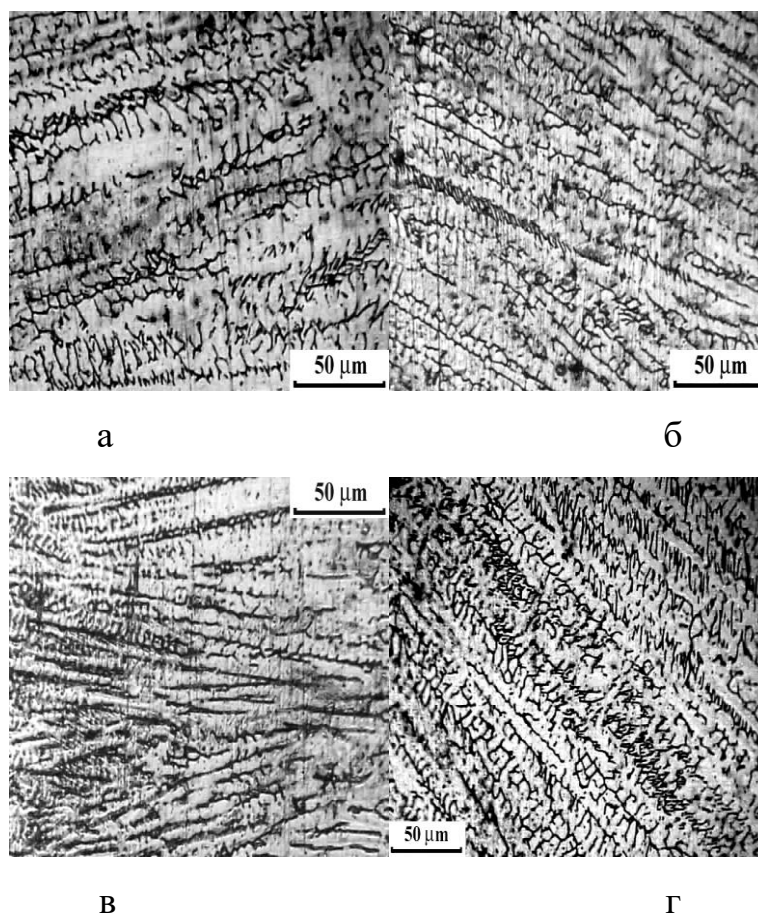


Рисунок 3.8 - Микроструктура слоя ориентированных дендритов; а) – образец № 1, б) – образец № 2, в) – образец № 3, г) – образец №4

2.2 Влияние нанопорошков на структуру наплавленного металла стали 12Х18Н9Т

Для исследования и изучения влияния наноструктурированных порошков – модификаторов на коррозионную стойкость сварных соединений из стали 12Х18Н9Т была выбрана автоматическая сварка плавящимся электродом в среде аргона.

В экспериментальных исследованиях использовали нанопорошки оксида Al (Al_2O_3), вольфрама (W) и молибдена (Mo) изготовленные в Институте физики высоких технологий Национально исследовательского Томского политехнического университета. По разработанной и реализованной в указанном Институте электровзрывной технологии были получены данные порошки.

Частицы имеют сферическую форму, распределение частиц по размерам подчиняется нормально-логарифмическому закону, средний размер частиц лежит в диапазоне 100 – 500 нм. Частицы представляют собой поликристаллы, величина структурных фрагментов находится в области 20–30 нм. Значительная часть материала находится в рентген-аморфном состоянии.

Для получения нанопорошковых металлов использовались следующие проволоки: алюминиевая марки «АМ» диаметром 0,35 мм, вольфрамовая и молибденовая марки «ВА» диаметром 0,31 мм.

Величина удельной поверхности нанопорошка W составила $2,6 \text{ м}^2/\text{г}$, что соответствует среднеповерхностному диаметру частиц 122 нм. Нанопорошок Al имел размеры первичных частиц от 10 нм, которые объединялись в агрегаты с размерами до 500 нм и в агломераты до 5 мкм – со слабой связью между агрегатами. Среднеповерхностный диаметр частиц нанопорошка Al составил 100 нм. НП Al был предварительно пассивирован на воздухе, при этом содержание металлического алюминия оставалось не менее 91 % масс. Затем НП Al подвергали термогидролизу с целью получения нановолокон оксигидроксида Al (AlOOH).

Для исследований коррозионной стойкости сварных соединений применялись образцы из стали (химический состав стали: 0,12% углерода; 18% хрома; 10% никеля; 1-15% титана) в виде пластин толщиной 5 мм, для исследования механических свойств толщиной 10 мм сваренные плавящимся электродом в среде аргона сварочной проволокой (химический состав сварочной проволоки: 0,12% углерода; 18% хрома; 9% никеля; 1-15% титана). При исследовании использовались выпрямитель сварочный с номинальным

током 300 А, головка сварочная подвесная, блок автоматического регулирования сварки. Образцы наплавлялись по четырем разным модификациям: №1 – наплавка в аргоне проволокой сплошного сечения; №2 – наплавка в среде аргона с добавлением в него нанопорошка вольфрама (W) проволокой сплошного сечения; №3 – наплавка в среде аргона с добавлением в него нанопорошка оксида алюминия (Al_2O_3) проволокой сплошного сечения; №4 – наплавка в аргоне с добавлением в него нанопорошка молибдена (Mo) проволокой сплошного сечения.

Из каждой группы были выбраны контрольные образцы и образцы для испытаний по 2 шт. от каждой группы. Контрольные образцы перед испытанием на коррозионную стойкость подвергали химическому травлению при комнатной температуре с целью удаления окалины в водном растворе азотной кислоты и фтористого аммония.

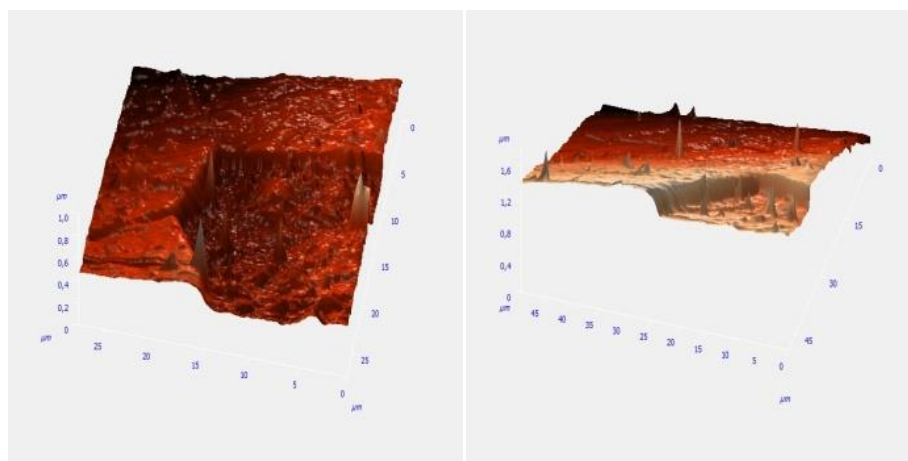
Для проведения испытаний экспериментальных образцов на коррозионную стойкость применяли метод АМУФ (раствор серной кислоты и серноокислой меди в присутствии металлической меди и фтористого натрия или фтористого калия), в котором испытания образцов проводятся в растворе H_2SO_4 и медного купороса в присутствии металлической меди и фтористого натрия или фтористого калия. Реактив и режим воздействия был выбран из приложения, согласно рекомендациям для данной марки стали. Продолжительность испытания составила 2 часа. После окончания испытаний проводилась аттестация на стойкость к межкристаллитной коррозии металлографическим методом, для чего были приготовлены металлографические шлифы из контрольных образцов, не подвергавшихся испытанию, и образцов после испытания. Плоскость шлифа была перпендикулярна сварному шву и включала металл шва, зону термического влияния и основной металл. Микроструктура выявлялась травлением в электролите при времени воздействия до появления границ зерен. Для регистрации результатов металлографического исследования использовались

микроскоп оптический NEOPHOT-21 и микроскоп конфокальный лазерный сканирующий LEXTOLS4000.

Для исследования влияния наноструктурированных порошковых модификаторов на механические свойства сварных соединений был проведен следующий эксперимент. Механические свойства сварных соединений определялись в соответствии с общепринятыми методиками. Оценка механических свойств сварных соединений проводилась по трем характеристикам (временное сопротивление, предел текучести, относительное удлинение) с использованием машины испытательной универсальной при температуре +20°C и +500°C.

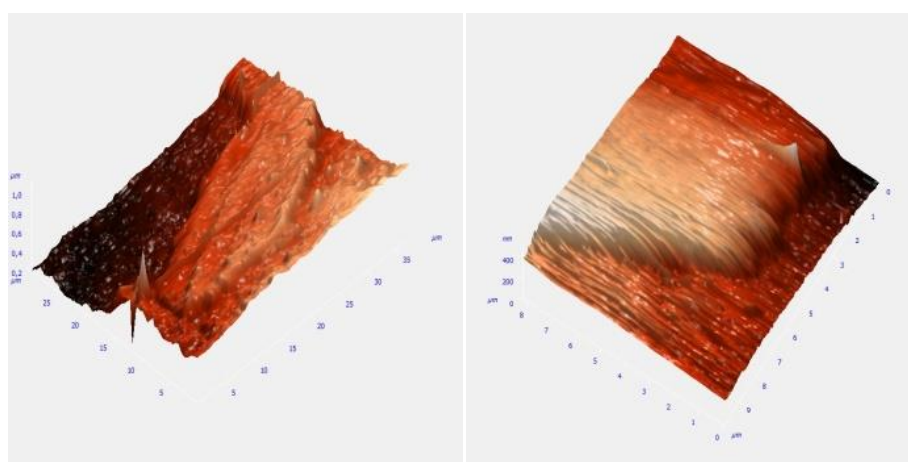
Анализ микроструктур показал, что у всех образцов выявляется зеренная аустенитная структура с примерно одинаковым размером зерна. Однако при одном и том же времени воздействия наиболее интенсивно вытравливались границы зерен у образцов №1. Наиболее слабо травился образец №2.

Оценка склонности к МКК производилась путем определения количества зерен с четко выявленными границами, ширина которых могла достигать 30 мкм. Границы зерен в зоне термического влияния не вытравливаются. Это значит, что при стандартном испытании на коррозионную стойкость проявлений межкристаллитной коррозии действительно нет ни у одного образца. Процесс травления происходил не по границам зерен, а по всей плоскости зерен. В зависимости от ориентации зерен их поверхность стравливалась сильнее или слабее. Таким образом, между зернами образовывались ступеньки (рисунок 3.9).



а

б



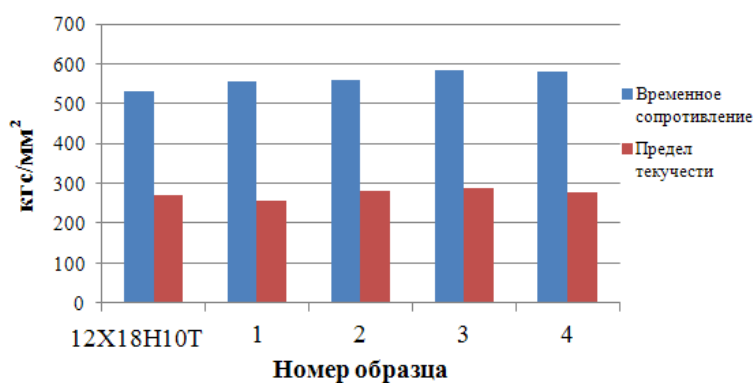
в

г

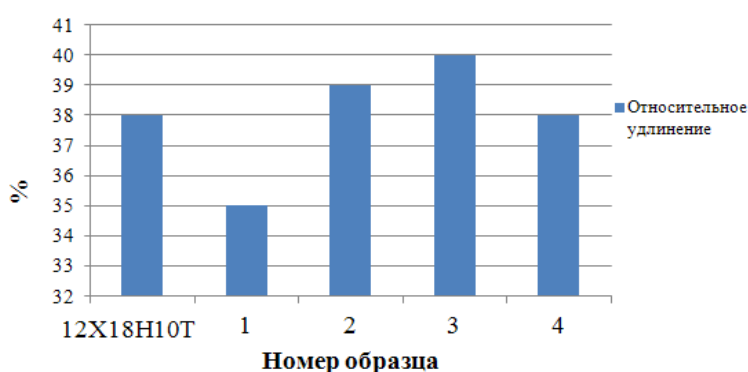
Рисунок 3.9 - Микроструктура образцов после испытаний атомно-силовой микроскоп: а – образец №1; б – образец №2; в – образец №3; г – образец №4

Оценили среднюю высоту этих ступенек на разных образцах: №1 – 320 нм, №2 – 200 нм, №3 – 275 нм, №4 – 250 нм. Самые тонкие границы зерен были у образца №2, в данном случае отмечена и наибольшая схожесть общего вида микроструктуры контрольного образца и образца после испытаний в агрессивной среде. Если анализировать наплавленный металл, то можно оценивать междендритные промежутки. Они травятся сильнее и в результате образуются канавки.

Оценка механических свойств (временное сопротивление, предел текучести, относительное удлинение) сварных соединений производились при температуре +20°C и +500°C. Механические свойства сварных соединений при температуре +20°C представлены на рисунке 3.10.



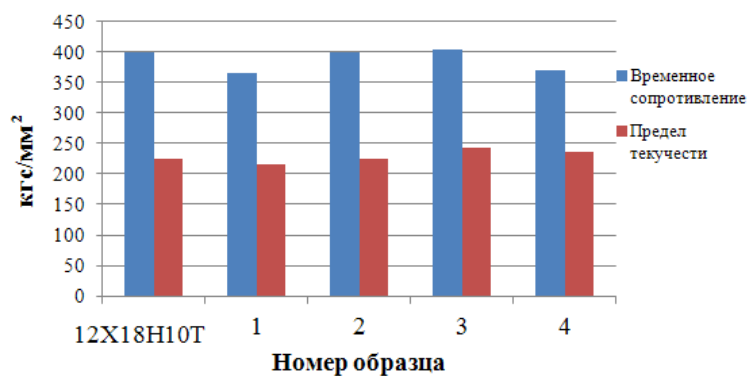
а



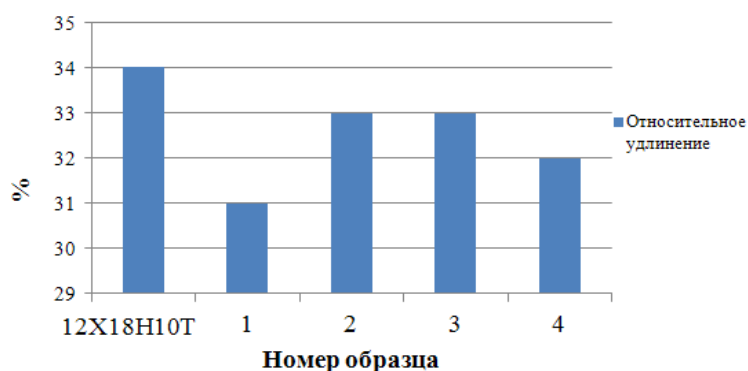
б

Рисунок 3.10 - Механические свойства при +20°C: а – временное сопротивление и предел текучести; б – относительное удлинение

Одной из особенностей применения данного типа сталей является их эксплуатация при повышенных температурах, поэтому и были проведены исследования при температуре +500°C. Механические свойства сварных соединений при +500°C представлены на рисунке 3.11.



а



б

Рисунок 3.11 - Механические свойства при +500°C: а – временное сопротивление и предел текучести; б – относительное удлинение

Из рисунков 3.10 и 3.11 видно, что при введение наноструктурированных порошков-модификаторов в жидкую сварочную ванну происходит повышение механических свойств сварных соединений при температуре +20°C в среднем от 4 до 11%, при температуре +500°C в среднем от 3 до 10%. Наиболее высокие механические свойства у образца с Al_2O_3 .

Опираясь на полученные результаты, можно сделать вывод, что при добавление любого из данных наноструктурированных порошков в жидкую сварочную ванну не происходит проявлений межкристаллитной коррозии ни у одного образца. Повышается коррозионная стойкость сварных соединений по сравнению со сваркой плавящимся электродом в среде аргона без добавления нанопорошков в среднем на 15-20%. Происходит увеличение механических

свойств сварных соединений по сравнению с процессом сварки без добавления нанопорошков-модификаторов при +20°C на 7,5%, при +500°C на 6,5% [44].

3 Выводы

1. На основе расчетных и справочных данных был получен коэффициент $k=1,15 \dots 1,2$. Данный коэффициент можно использовать при создании методики для расчета режимов сварки плавящимся электродом в аргоне сталей аустенитного класса.

2. При добавление наноструктурированного порошка повышается коррозионная стойкость сварных соединений в среднем на 15-20%.

3. При добавление наноструктурированного порошка происходит увеличение механических свойств сварных соединений на 7,5% при +20°C, при +500°C на 6,5%.

4. Установлено, что при добавлении нанопорошков в наплавленный металл реализуется эффект модифицирования наплавленного металла и средний размер дендрита по толщине уменьшается в 1,5-2 раза, по ширине в 2-3 раза, то есть чем менее грубое строение дендритов, тем лучше механические свойства сварного шва.