

Оглавление	
Введение	2
1 Обзор литературы	3
1.1 Основные понятия и определения	3
1.2 Влияние переменного тока на структуры и свойства сварных соединений	4
1.3 Сварка на переменном токе	6
1.4 Способы повышения устойчивости горения сварочной дуги переменного тока	9
2 Экспериментальная часть	12
2.1 Описание эксперимента	12
2.2 Исследование механических характеристик	13
2.3 Исследование макроструктуры и микроструктуры	17
2.4 Исследование распределения микротвердости по высоте и ширине шва	33
3 Анализ результатов и выводы	38
Список использованных источников	39
Приложение А	41

Введение

Дуговая сварка униполярным током электродами с основным типом покрытия является распространенным способом получения неразъемных соединений при ремонте трубопроводов. При этом необходимо создавать условия по исключению магнитного дутья с целью обеспечения пространственной и физической стабильности дугового разряда. Наиболее сложно это осуществлять при наличии остаточной намагниченности соединяемых деталей, которая является следствием применения магнитных методов контроля. Предварительное размагничивание деталей обеспечивают специализированным оборудованием, эксплуатация которого характеризуется продолжительным процессом подготовки к работе, низкой производительностью труда и наличием обслуживающего персонала высокой квалификации. Одним из путей решения этой проблемы является применение вместо постоянного тока обратной полярности переменного прямоугольного тока повышенной частоты, который позволяет стабилизировать процесс горения дуги и переноса металла [1]. Учитывая, что процесс плавления и последующей кристаллизации металла в зоне сварки существенно зависит от рода тока, были проведены экспериментальные исследования, направленные на изучение особенностей формирования структуры металла шва, при отсутствии возмущающего действия магнитного поля.

Цель работы заключается в подтверждение целесообразности применения переменного прямоугольного тока при дуговой сварке покрытыми электродами намагниченных трубопроводов.

Задача: Изучить особенности формирования структуры металла шва как при возмущающем воздействии магнитного поля, так и без него.

1 Обзор литературы

1.1 Основные понятия и определения

Переменный ток – электрический ток, который с течением времени изменяется по направлению.

Постоянный ток – электрический ток, который с течением времени не изменяется по направлению.

Электрическая дуга – пластичный газообразный проводник. Поэтому внешние силы могут вызывать ее отклонения. Для того чтобы возбужденная дуга занимала заданное положение, внешние сил должны быть уравновешены равными и противоположно направленными внутренними силами [7].

Одним из источников внешних сил при дуговой сварке является магнитное поле тока дуги.

Самонаводимое поле, создаваемое сварочным током, окружает дугу и воздействует на нее со всех сторон. До тех пор, пока магнитное поле симметрично, электромагнитная сила в любом направлении уравновешивается равной и противоположно направленной силой и их равнодействующая равна нулю. Как только симметрия поля нарушится, силы становятся неравными и дуга отклоняется в направлении большей силы [7].

Магнитное дутье – явление отклонения электрической дуги от оси электрода, блуждание конца дуги по изделию при ручной дуговой сварке.

Магнитное дутьё приводит к разбрызгиванию металла при сварке, ухудшению качество шва.

В процессе сварки в сварочной цепи протекает ток в электрической дуге и в сварочной цепи изделия. Эти токи создают магнитное поле.

Взаимодействие магнитного поля цепи тока в изделии с током столба дуги создает силу, направленную к его центру (явление пинч-эффекта). Эта сила, при подключении электрического провода к месту где заканчивается дуга, не вызывает отклонения столба, а возвращает его при отклонении в

начальное положение. Если место подключения провода находится на каком-либо расстоянии от перпендикуляра, то возникающее магнитное поле является поперечным и вызывает отклонение столба. Отклоняющая сила пропорциональна квадрату дугового тока, поэтому магнитное дутье увеличивается при увеличении сварочного тока. Дутье приводит к ограничению сварки постоянным током на больших значениях электрического тока.

Действие магнитного дутья сильно ослабляется при сварке на переменном токе. В этом случае под действием переменного магнитного поля тока в изделии наводится электродвижущая сила. Э. д. с. создает вихревые токи. Создаваемый ими магнитный поток меньше потока, создаваемого постоянным током. В результате при больших переменных токах (1000—2000 А) действие магнитного дутья незначительно.

Из-за магнитного дутья возникают трудности при сварке угловых и стыковых швов.

1.2 Влияние переменного тока на структуры и свойства сварных соединений

Электрическая дуга переменного тока нашла широкое применение в сварочной технике. В большинстве случаев ее используют при ручной дуговой сварке покрытыми электродами.

Дуговая сварка переменным током значительно экономичнее с точки зрения расхода электроэнергии: КПД сварочного трансформатора выше, чем у источников питания постоянного тока. Снижаются также расходы на эксплуатацию и обслуживание сварочного оборудования, так как сварочные трансформаторы более простые по устройству, требуют минимального ухода и текущего ремонта; кроме того, они существенно дешевле и легче, занимают меньшую производительную площадь, чем обычные источники питания постоянного тока. При варке переменным током может быть достигнута более

высокая производительность работ, чем при сварке постоянным током. Сварку постоянным током характеризует такое отрицательное явление, как магнитное дутье: следствие взаимодействия собственного магнитного поля дуги и поля сварочного контура. Под влиянием магнитного дутья дуга может перемещаться, изменять свою длину и форму и весьма часто обрываться – все это нарушает стабильность процесса сварки. Отрицательное действие магнитного дутья особенно велико при сварке на большой силе тока (свыше 300-400 А). Магнитное дутье ограничивает применение высокопроизводительных режимов при сварке постоянным током. Применение переменного тока – самое простое и надежное средство борьбы с магнитным дутьем. В этом случае последнее незаметно даже при очень большой силе тока (1000-2000 А), что дает возможность применять более производительные режимы сварки [4].

Переменный ток позволяет получать хорошее формирование шва с благоприятными геометрическими его показателями и профилем проплавления, в том числе и на более производительных режимах сварки, чем при сварке постоянным током. Структура металла сварного шва получается более мелкозернистая, качество сварного шва лучше, чем при сварке постоянным током электродами одной и той же марки.

К недостаткам сварки переменным током относится: низкая устойчивость горения дуги, обусловленная периодическими ее погасаниями; в некоторых случаях повышенное разбрызгивание металла и насыщение его газами, которое также связано с ухудшением устойчивости горения дуги. С улучшением стабильности горения дуги уменьшается разбрызгивание металла и насыщение его газами [4].

Сварочная дуга переменного тока промышленной частоты зажигается и гаснет 100 раз в секунду. При этом физические явления, которые наблюдаются в межэлектродном промежутке, как предшествующие зажиганию дугового разряда, так и следующие после его погасания,

свойственны некоторым известным формам электрического разряда в газах. Наличие и длительность этих явлений зависит от условий зажигания и гашения сварочной дуги, в том числе от материала электродов, величины приложенного напряжения, состава защитной среды, потенциала ионизации защитной среды и других факторов [4].

Из множества свойств и особенностей дуг переменного тока для сварки металлов особенно важны те, которые влияют на устойчивость горения дуги и перенос электродного металла. В общем виде устойчивость любого процесса, как известно, оценивают по изменению энергии системы тел, участвующих в этом процессе. Если в дуге нет приращения энергии, т.е. если разность между поступающей энергией и расходуемой равна нулю, то все ее параметры остаются неизменными. Дуга получает энергию от источника электрического тока, образуя с ним единую систему. При наличии в сварочном контуре активного и реактивного сопротивлений потребляемые ими мощности также следует отнести к расходуемым мощностям [4].

1.3 Сварка на переменном токе

Универсальным методом борьбы с магнитным дутьем является применение переменного тока. Дугу переменного тока окружает переменное магнитное поле, действующее как движущее поле. В любом замкнутом проводнике движущее поле индуцирует токи. Следовательно, переменное магнитное поле дуги индуцирует токи в частях заготовки. Направление этих дополнительных (вихревых) токов таково, что в любой момент времени создаваемые ими магнитные поля направлены противоположно основному магнитному полю сварочного тока (Рисунок 1).

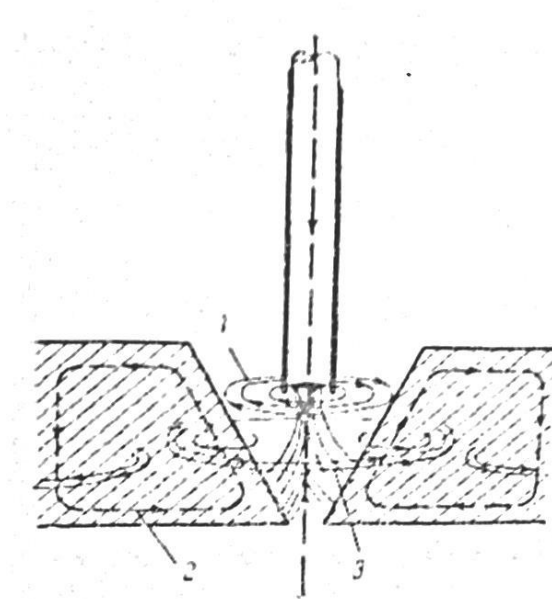


Рисунок 1 – Влияние вихревых токов на основное магнитное поле дуги переменного тока (1 – основное магнитное поле; 2 – линии вихревых токов; 3 – магнитное поле вихревых токов).

Именно частичной нейтрализацией основного магнитного поля дуги магнитным полем вихревых токов можно объяснить ослабление магнитного дутья при сварке на переменном токе [6].

Из множества свойств и особенностей дуги переменного тока для сварки особенно важны те, которые влияют на устойчивость горения дуги и перенос электродного металла. В общем виде устойчивость любого процесса оценивают по изменению энергии системы тел, участвующих в этом процессе [3].

Дуга переменного тока периодически, с частотой питающей сети f , изменяет свою полярность, гаснет и зажигается вновь с частотой $2f$. При использовании тока промышленной частоты $f=50$ Гц электрод и изделие 50 раз за секунду поочередно бывают катодом и анодом, т.е. 50 раз в секунду происходит разрушение и формирование катодной и анодной областей и активных пятен, а также переориентация заряженных частиц в столбе дуги. Ток дуги, величина которого непрерывно изменяется в течении каждого полупериода по синусоидальному закону, обуславливает изменение радиальных размеров столба, его температуры, размеров изотермических

областей активных пятен на электродах, что в ряде случаев является причиной существенного различия технологических свойств дуг переменного и постоянного токов [3].

С точки зрения стабильности горения дуги важными факторами являются как время формирования установившегося разряда, так и время деионизации плазмы столба дуги.

Наличие перерывов в горении – характерная особенность сварочной дуги переменного тока. К концу полупериода перед угасанием дуги и после него с некоторым отставанием температура дугового газа существенно уменьшается (практически в два раза) [8].

Стабильность процесса сварки на практике оценивают двумя методами: непосредственно во время проведения самой сварки или же после обработки результатов, характеризующих сварку. Первый – это субъективный метод, когда сварщик наблюдает непосредственно за горением дуги и оценивает начальное зажигание дуги, разбрызгивание металла, эластичность дуги. По второму методу определяют параметры дугового процесса: частоту обрыва горения дуги; минимальное напряжение холостого хода сварочного трансформатора, при котором все еще возможно стабильное горение дуги; разрывную длину дуги [4].

Устойчивые критерии стабильности горения дуги учитывают многие физические процессы как в дуге, так и в ее цепях питания. Их применяют без каких-либо изменений для оценки устойчивости горения дуги как с плавящимися электродами. Процесс переноса металла так же существенно влияет на устойчивость процесса и при разработке критериев стабильности горения дуги должен учитываться [4].

От характера переноса электродного металла зависят такие показатели сварки, как стабильность, качество металла шва, потери металла, возможность или легкость осуществления сварки в наклонном, вертикальном и потолочном положениях [4].

1.4 Способы повышения устойчивости горения сварочной дуги переменного тока

Применяемые на практике способы повышения устойчивости горения сварочной дуги и стабильности сварки переменным током можно условно разделить на две группы: металлургические и электрические [4].

Металлургические способы:

Активирование легкоионизирующимися добавками, вводимыми через сварочную проволоку, покрытие электрода или защитную среду, в которой горит дуга. Устойчивость горения дуги повышается за счет уменьшения эффективного потенциала ионизации дугового разряда, что в свою очередь ведет к уменьшению сопротивления дугового промежутка и увеличению постоянной времени дуги. Этот способ получил широкое применение в сварочной практике. Однако имеет ряд недостатков: уменьшается производительность сварки за счет катодного падения напряжения, уменьшается глубина проплавления изделия за счет уменьшения плотности тока, часто ухудшаются механические свойства металла шва [4].

Электрические способы:

Обеспечение высокой скорости нарастания напряжения и силы тока при смене полярности. При этом способе, применяются источники питания повышенной частоты, источники питания с крутопадающей внешней характеристикой, а также имеющие прямоугольную форму кривой тока. Этот способ значительно улучшает стабильность горения дуги [4].

Применение сварочных трансформаторов с высоким напряжением холостого хода (90...120 В) позволяют выполнять сварку переменным током покрытыми электродами с любым типом покрытия.

Применение инверторных источников питания переменного тока. Высокая частота выходного напряжения инверторного источника питания позволяет получить высокую стабильность горения дуги [4].

Сварка на повышенных частотах имеет ряд преимуществ:

1. При сварке на повышенной частоте частая смена полярности электродов должна привести к снижению и усреднению размера капель переносимого металла и повысить частоты их внедрения в зону соединения металлов. Мелкокапельный перенос способствует образованию более однородной структуры зерен металла в сварном соединении и повышению его прочности.

2. Питание дуги током высокой частоты должно привести за счет индукционного нагрева металла к некоторому подогреву плавящегося электрода и дополнительному нагреву отрывающейся от него капли металла. При прочих равных условиях в сварочную ванну будет поступать больше тепла, что повысит КПД, с так же производительность процесса.

3. Сварка на переменном токе повышенной частоты позволяет исключить из сварочных аппаратов достаточно мощные и дорогостоящие выпрямители с соответствующими охладителями, а это уменьшает массу и габариты аппаратов [5].

Подключение конденсатора к первичной или вторичной обмоткам сварочного трансформатора. Последовательное или параллельное включение конденсатора в сварочную цепь повышает устойчивость горения дуги [4].

Применение сварочных осцилляторов и генераторов высоковольтных импульсов напряжением 1000 В, создающих затухающие по амплитуде знакопеременные импульсы высокой частоты и высокого напряжения. При подаче импульсов в дуговой промежуток изделием и электродом в моменты начального и повторных зажигания дуги происходит его пробой. Кратковременный искровой разряд развивается в дуговой, поддерживаемый основным источником питания. Сварочный осциллятор способен обеспечить надежную стабильность горения практически любой сварочной дуги переменного тока. Однако, осциллятор имеет ряд недостатков: он создает значительные радиопомехи, требует специальной защиты сварщика, сварочного источника питания и другого оборудования от сети высокого напряжения [4].

Применение генераторов низковольтных импульсов напряжением 1000 В (УСГД). По сравнению с осциллятором УСГД генерирует низковольтные (до 500 В) импульсы, которые не могут осуществлять первоначальное зажигание дуги, но облегчают повторно зажечь дугу. УСГД все больше находят применение как в традиционной для них области – аргонодуговой сварке неплавящимся электродом, так и при сварке плавящимся электродом [4].

2 Экспериментальная часть

2.1 Описание эксперимента

Исследования проводили на образцах трубы из стали 12Г2СБ диаметром 530 мм и толщиной стенки – 10 мм. Для сварки на постоянном токе обратной полярности использовали инверторный выпрямитель УРАЛ–Мастер 300, а при сварке на переменном прямоугольном токе повышенной частоты к нему дополнительно подключали инвертор сварочного тока ИСТ-201 (Патент РФ № 2245231). Разделка кромок трубы (С17) соответствовала требованиям ГОСТ 16037-80. При отсутствии магнитного поля в зоне сварки (0 мТл) применяли постоянный ток обратной полярности, а при начальной величине индукции магнитного поля 100 мТл – переменный прямоугольный ток. Сварку осуществляли в неповоротном положении за три прохода, параметры режимов сварки приведены в табл. 2.4. Механические свойства стали представлены в таблице 2.1. Химический состав основного металла приведен в таблице 2.2, а металла шва - в таблице 2.3. Полученные результаты свидетельствует о незначительном влиянии условий сварки на содержание легирующих элементов в металле шва.

Таблица 2.1 – Механические свойства стали 12Г2СБ (ГОСТ 10705-80)

Временное сопротивление разрыву, МПа	Предел текучести, МПа	Относительное удлинение, %
490	343	20

Таблица 2.2 – Химический состав основного металла (сталь 12Г2СБ)

Содержание элементов, % (ГОСТ 19281– 89)									
С	Si	Mn	Cr	Ni	Co	Cu	Nb	Ti	V
0,12	0,42	1,46	0,12	0,08	0,01	0,15	0,05	0,01	0,06

Таблица 2.3 – Химический состав металла шва

Условия сварки	Химический состав металла шва, %							
	C	Si	Mn	Cr	Ni	Co	Cu	V
Намагниченные детали, переменный прямоугольный ток	0,12	0,3	1,07	0,02	0,01	-	0,07	0,01
Размагниченные детали, постоянный ток	0,12	0,3	1,20	0,04	0,02	0,01	0,04	0,02

Таблица 2.4 – Параметры режимов сварки

Условия сварки Слой шва		Электроды		Величина тока, А
		марка	диаметр, мм	
Намагниченные детали, переменный прямоугольный ток	Корневой	LB-52U	3,2	95...100
	Заполняющий	OK-74.70	3	
	Облицовочный	OK-74.70	4	
Размагниченные детали, постоянный ток обратной полярности	Корневой	LB-52U	3,2	85...95
	Заполняющий	OK-74.70	3	
	Облицовочный	OK-74.70	4	

Полученные сварные соединения первоначально подвергали визуально-измерительному и радиографическому контролю, которые дефектов не выявили. С целью анализа влияния рода тока на свойства металла шва, исследовали его макро- и микроструктуру. Из сваренных стыков труб вырезали образцы для механических испытаний сварного соединения.

2.2 Исследование механических характеристик

Для определения механических свойств сварных соединений изготавливали образцы в соответствии с требованиями ГОСТ 6996-66.

Результаты испытаний на статическое растяжение (Таблица 2.5) показали, что независимо от условий сварки разрушение образцов происходило по основному металлу. Результаты испытаний на статический изгиб (Таблица 2.6) показали, что при угле загиба 140° разрушение образцов не происходило.

Анализ результатов испытаний участков сварного соединения на ударный изгиб (Таблица 2.7) показал, что при температуре плюс 20°C величина ударной вязкости металла шва практически не зависит от условий сварки. При температуре минус 40°C и прочих заданных условиях эксперимента величина ударной вязкости металла шва в случае использования переменного прямоугольного тока в 1,15...1,36 раза больше, чем при использовании постоянного тока обратной полярности. Также положительное влияние оказывает применение переменного прямоугольного тока на величину ударной вязкости металла зоны термического влияния.

Таблица 2.5 – Результаты испытаний сварного соединения на статическое растяжение

Условия сварки	Механические свойства сварных соединений			
	Временное сопротивление разрыву, МПа	Предел текучести, МПа	Относительное удлинение, %	Относительное сужение, %
Намагниченные детали, переменный прямоугольный ток	$\frac{630 - 658}{644}$	$\frac{518 - 536}{528}$	$\frac{11,6 - 15}{13,3}$	$\frac{61,6 - 68}{64,8}$
Размагниченные детали, постоянный ток	$\frac{625 - 680}{653}$	$\frac{517 - 565}{535}$	$\frac{16 - 16,5}{16,2}$	$\frac{60,6 - 72}{66,3}$

Таблица 2.6 – Результаты испытаний сварного соединения на статический изгиб

Условия сварки	Величина угла загиба, град. с расположением корня	
	В наружу	Во внутрь
Намагниченные детали, переменный прямоугольный ток	Более 125	Более 125
Размагниченные детали, постоянный ток	Более 125	Более 125

Таблица 2.7 – Результаты испытаний участков сварного соединения на ударный изгиб

Условия сварки	Расположение концентратора	$KCV^{+20^{\circ}\text{C}}$, МДж/м ²	$KCV^{-40^{\circ}\text{C}}$, МДж/м ²
Намагниченные детали, переменный прямоугольный ток	Сварной шов	$\frac{104 - 142}{123}$	$\frac{26 - 67}{47}$
	Зона термического влияния	$\frac{165 - 274}{220}$	$\frac{185 - 261}{223}$
	Основной металл	$\frac{179 - 196}{188}$	$\frac{189 - 248}{219}$
Размагниченные детали, постоянный ток	Сварной шов	$\frac{104 - 141}{122}$	$\frac{23 - 56}{25}$
	Зон термического влияния	$\frac{215 - 268}{242}$	$\frac{61 - 239}{150}$
	Основной металл	$\frac{159 - 281}{220}$	$\frac{156 - 227}{192}$

С целью выявления причин увеличения ударной вязкости металла шва и зоны термического влияния образцов, полученных при сварке намагниченных деталей переменным прямоугольным током, исследовали макро и микроструктуру характерных участков соединения и распределение микротвердости.

2.3 Исследование макроструктуры и микроструктуры

С целью анализа влияния рода тока на свойства металла шва, исследовали его макро- и микроструктуру.

Рассмотрим макроструктуру металла шва.

Стык №1. Образец сварен переменным прямоугольным током повышенной частоты с МП.

Рисунок 2 – Макроструктура металла шва (корневой слой): переменный прямоугольный ток повышенной частоты с МП.

Рисунок 3 – Макроструктура металла шва (корневой слой+заполняющий слой): переменный прямоугольный ток повышенной частоты с МП.

Рисунок 4 – Макроструктура металла шва (корневой слой+заполняющий слой+ облицовочный слой): переменный прямоугольный ток повышенной частоты с МП.

Стык №2. Корень образца сварен переменным прямоугольным током повышенной частоты с МП, а заполняющий и облицовочной слои постоянным током обратной полярности без МП.

Рисунок 5 – Макроструктура металла шва (корневой слой): переменный прямоугольный ток повышенной частоты с МП.

Рисунок 6 – Макроструктура металла шва (корневой слой+заполняющий слой): постоянный ток обратной полярности без МП.

Рисунок 7 – Макроструктура металла шва (корневой слой+заполняющий слой+облицовочный слой): постоянный ток обратной полярности без МП.

Стык №3. Образец сварен на постоянном токе обратной полярности без МП.

Рисунок 8 – Макроструктура металла шва (корневой слой): постоянный ток обратной полярности без МП.

Рисунок 9 – Макроструктура металла шва (корневой слой+заполняющий слой): постоянный ток обратной полярности без МП.

Рисунок 10 – Макроструктура металла шва (корневой слой+заполняющий слой+облицовочный слой): постоянный ток обратной полярности без МП.

Стык №4. Образцы сварены переменным прямоугольным током повышенной частоты без МП и постоянным током обратной полярности без МП.

Рисунок 11 – Макроструктура металла шва: а – постоянный ток обратной полярности; б – переменный прямоугольный ток повышенной частоты.

Рассмотрим микроструктуру металла шва.

Стык №1.

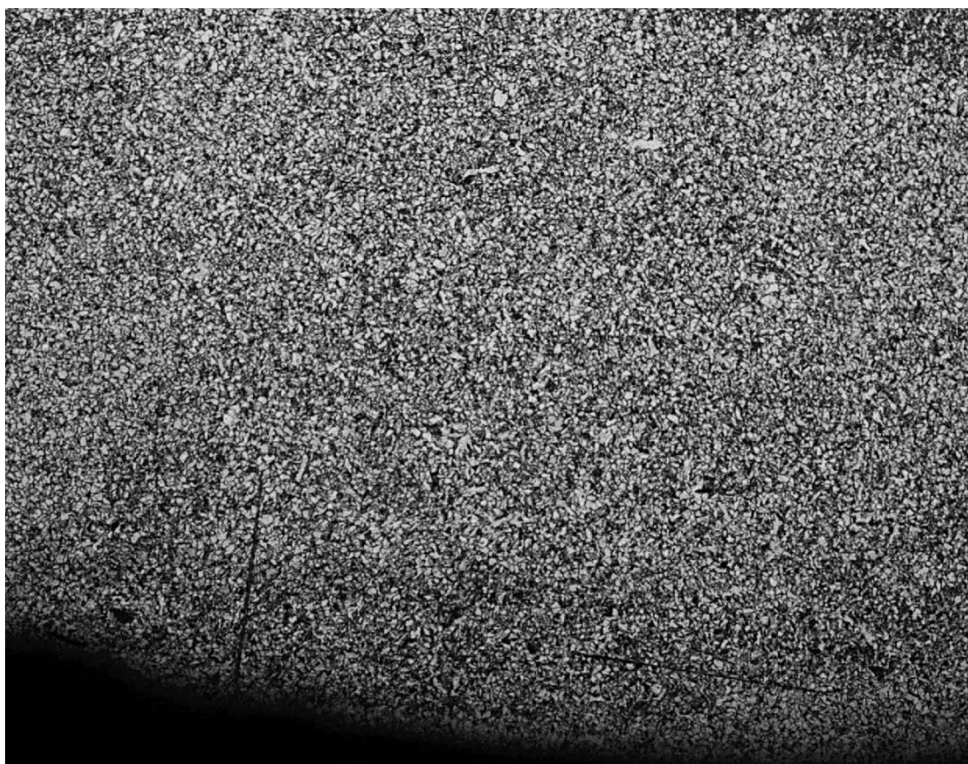


Рисунок 12 – Микроструктура сварного соединения (корневой слой): переменный прямоугольный ток повышенной частоты с МП.

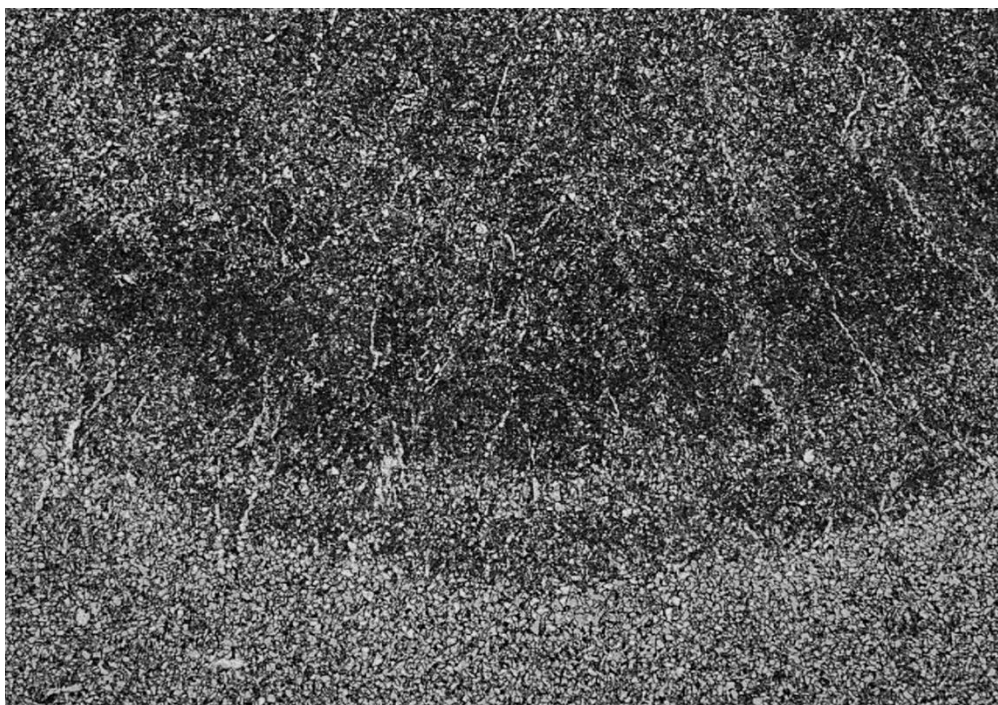


Рисунок 13 – Микроструктура сварного соединения (граница сплавления корневой слой +заполняющий слой): переменный прямоугольный ток повышенной частоты с МП.

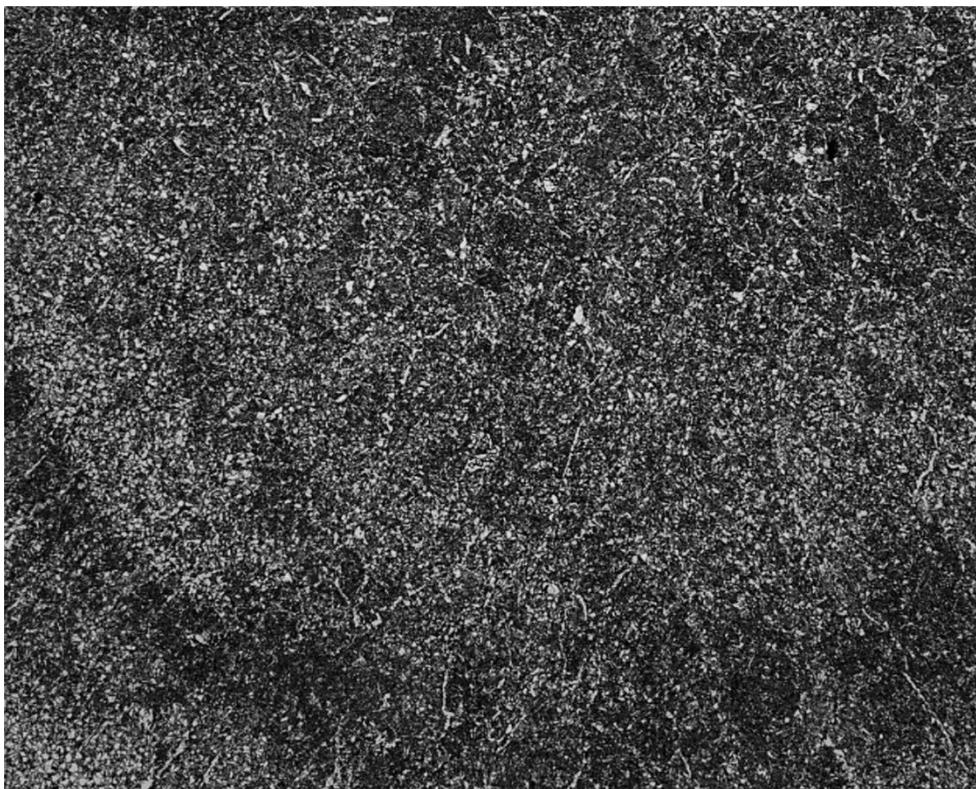


Рисунок 14 – Микроструктура сварного соединения (заполняющий слой): переменный прямоугольный ток повышенной частоты с МП.

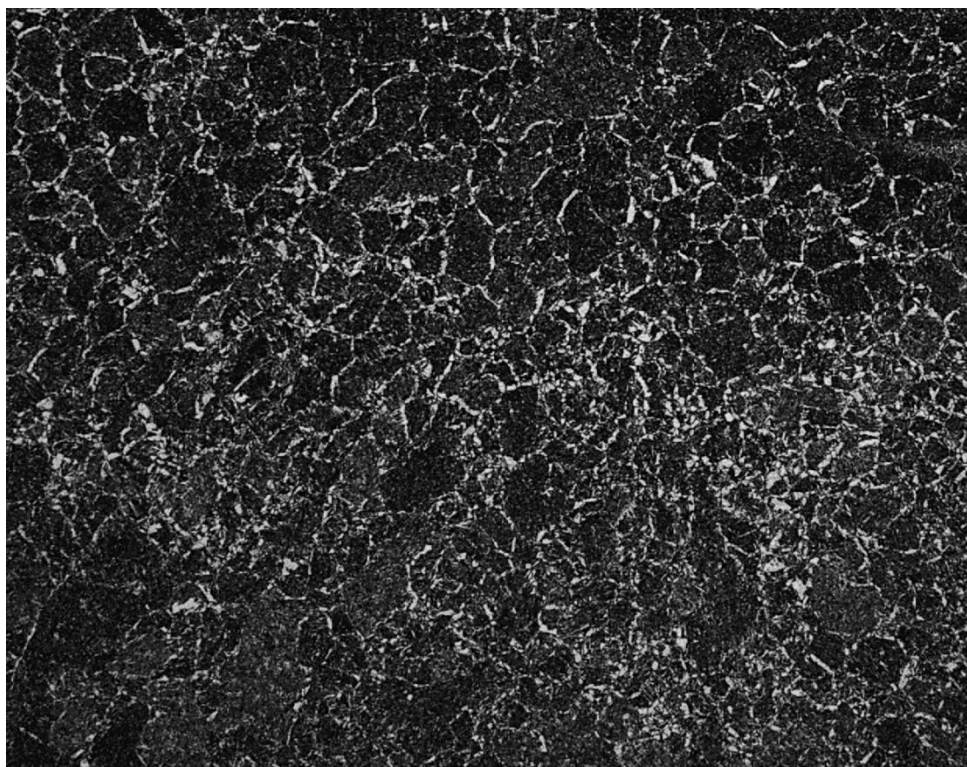


Рисунок 15 – Микроструктура сварного соединения (граница сплавления заполняющий слой+ облицовочный слой): переменный прямоугольный ток повышенной частоты с МП.

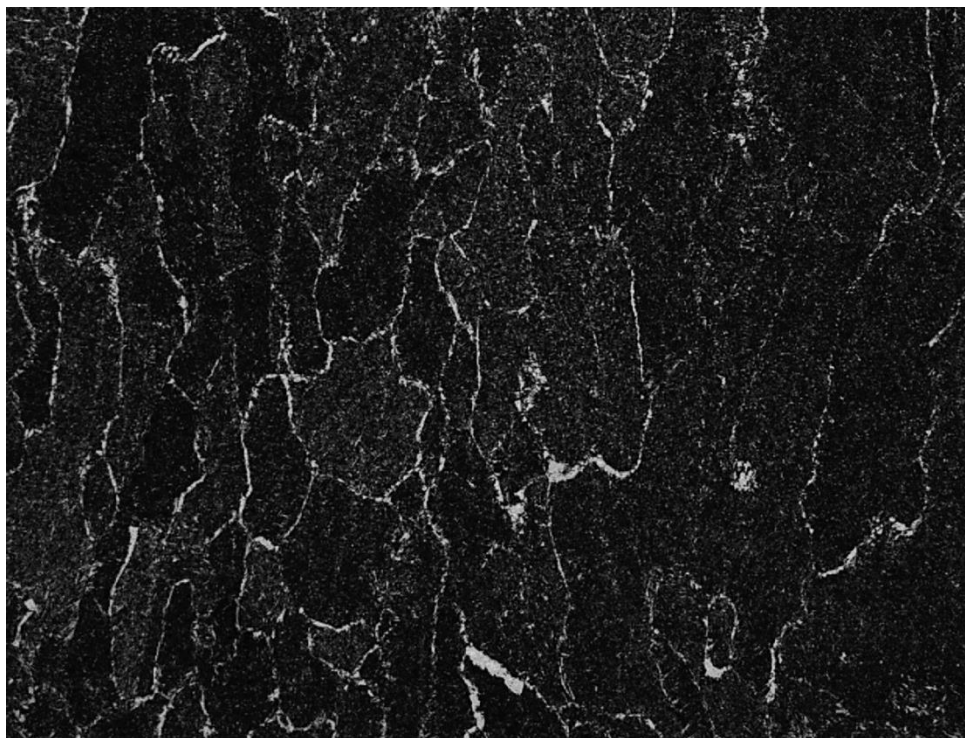


Рисунок 16 – Микроструктура сварного соединения (облицовочный слой): переменный прямоугольный ток повышенной частоты с МП. Стык №2.

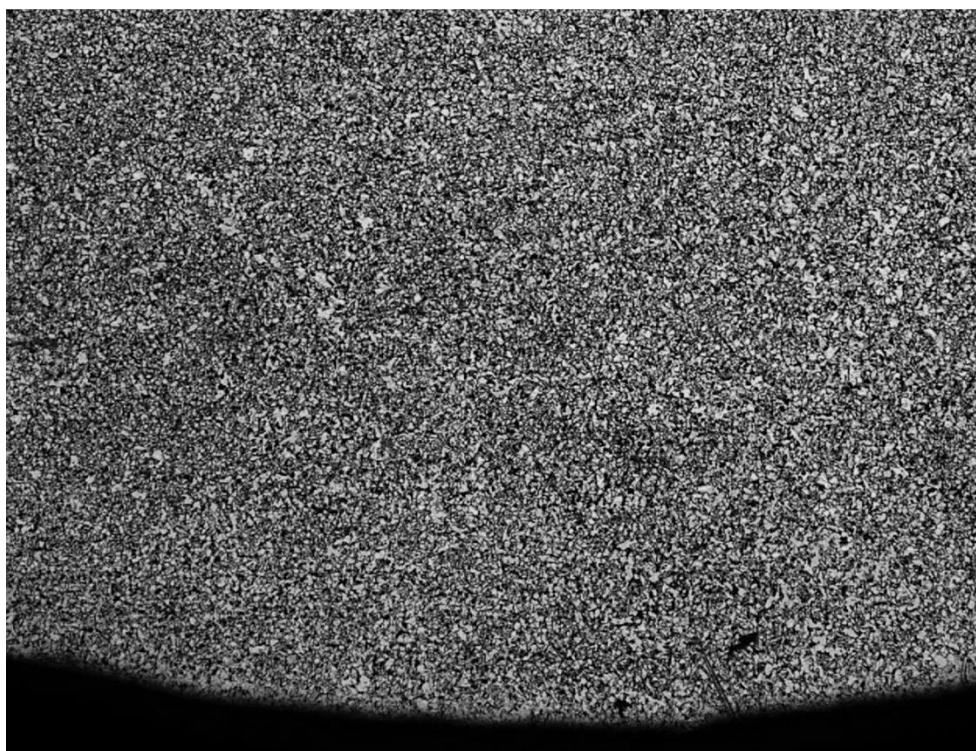


Рисунок 17 – Микроструктура сварного соединения (корневой слой): переменный прямоугольный ток повышенной частоты с МП.

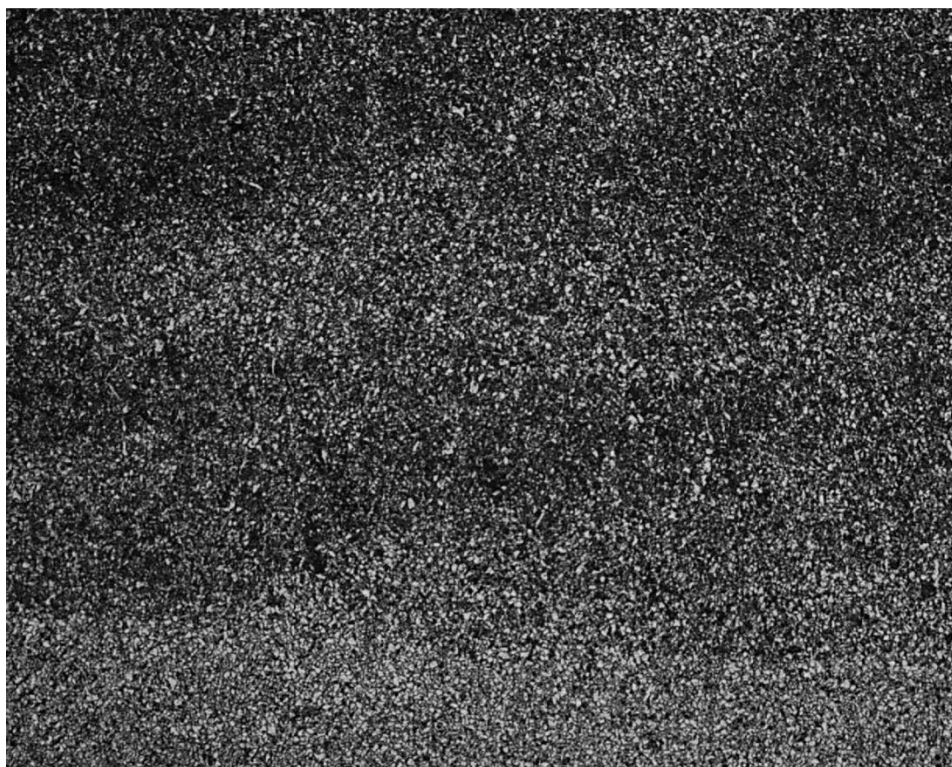


Рисунок 18 – Микроструктура сварного соединения (граница сплавления корневой слой+ заполняющий слой): корень– переменный прямоугольный ток повышенной частоты с МП, заполнение- постоянный ток обратной полярности без МП.

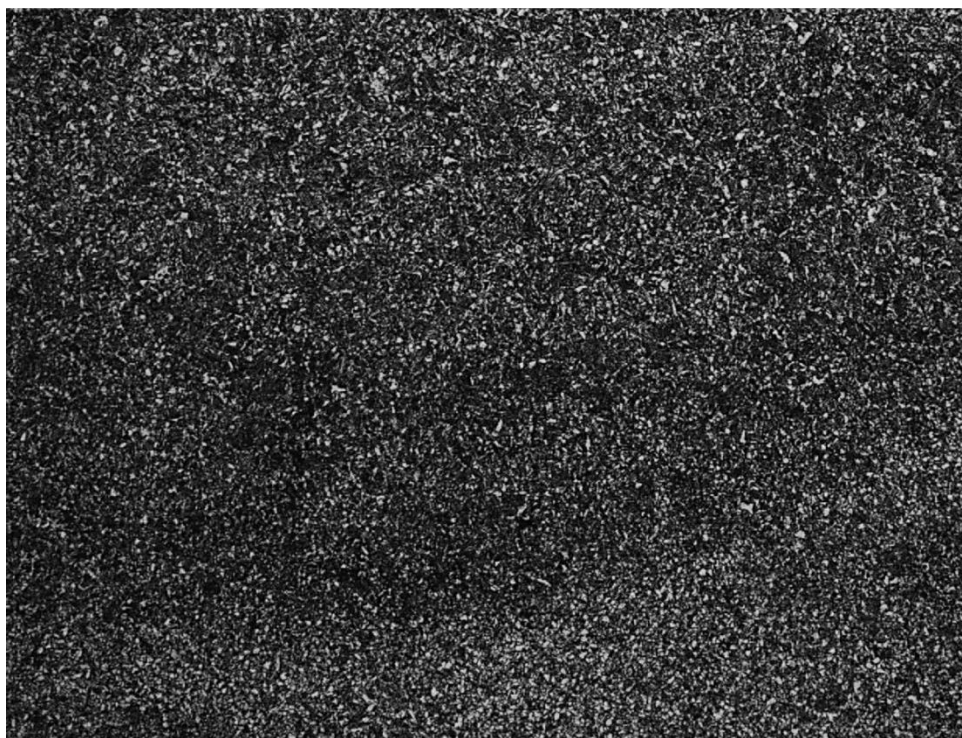


Рисунок 19 – Микроструктура сварного соединения (заполняющий слой): постоянный ток обратной полярности без МП.

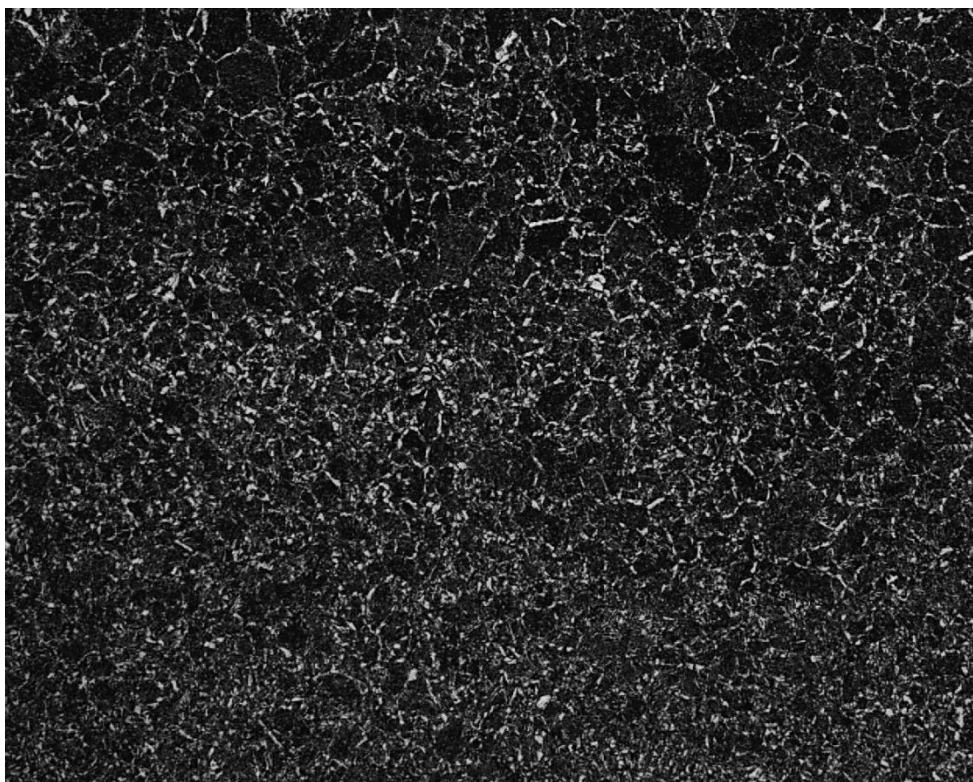


Рисунок 20 – Микроструктура сварного соединения (граница сплавления, заполняющий слой + облицовочный слой): постоянный ток обратной полярности без МП.

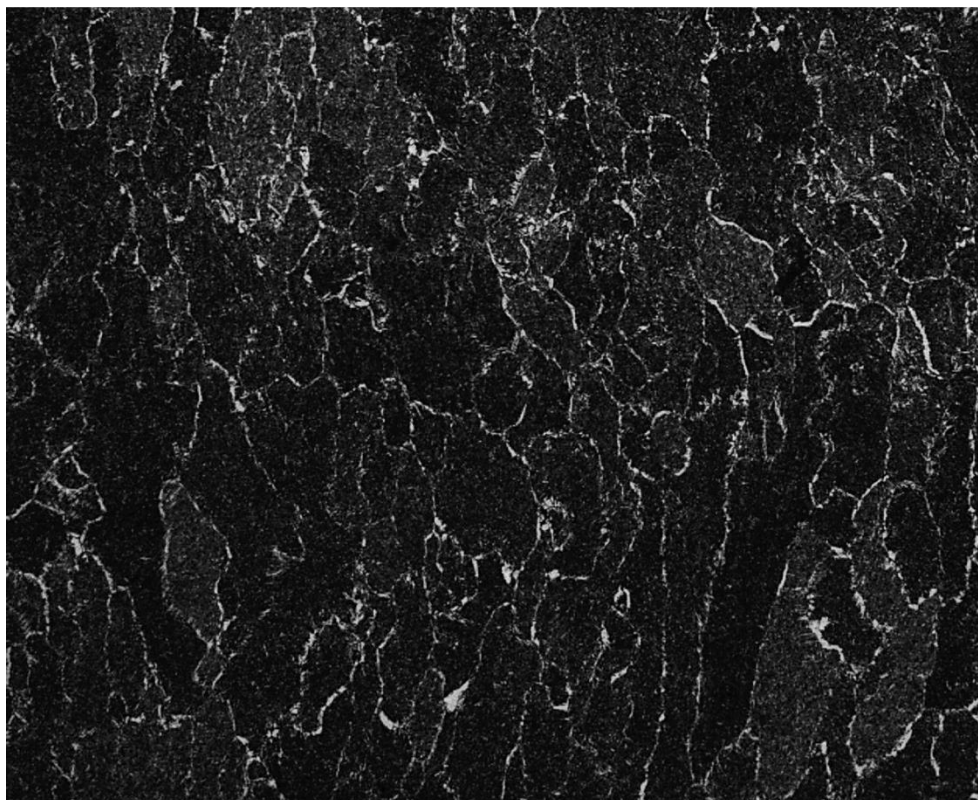


Рисунок 21 – Микроструктура сварного соединения (облицовочный слой): постоянный ток обратной полярности без МП.

Стык №3.

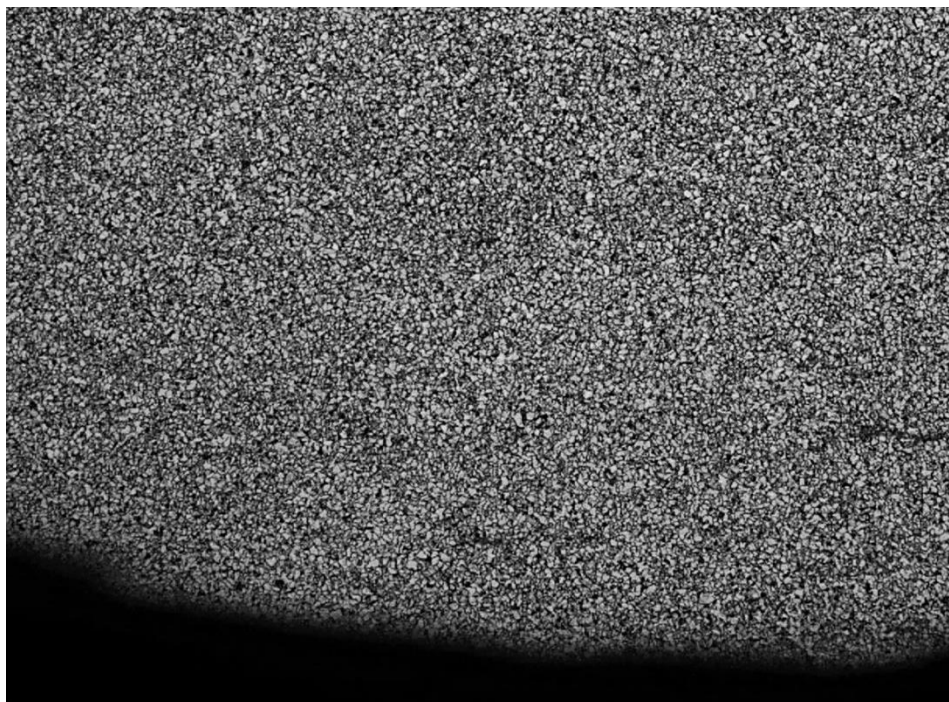


Рисунок 22 – Микроструктура сварного соединения (корневой слой): постоянный ток обратной полярности без МП.

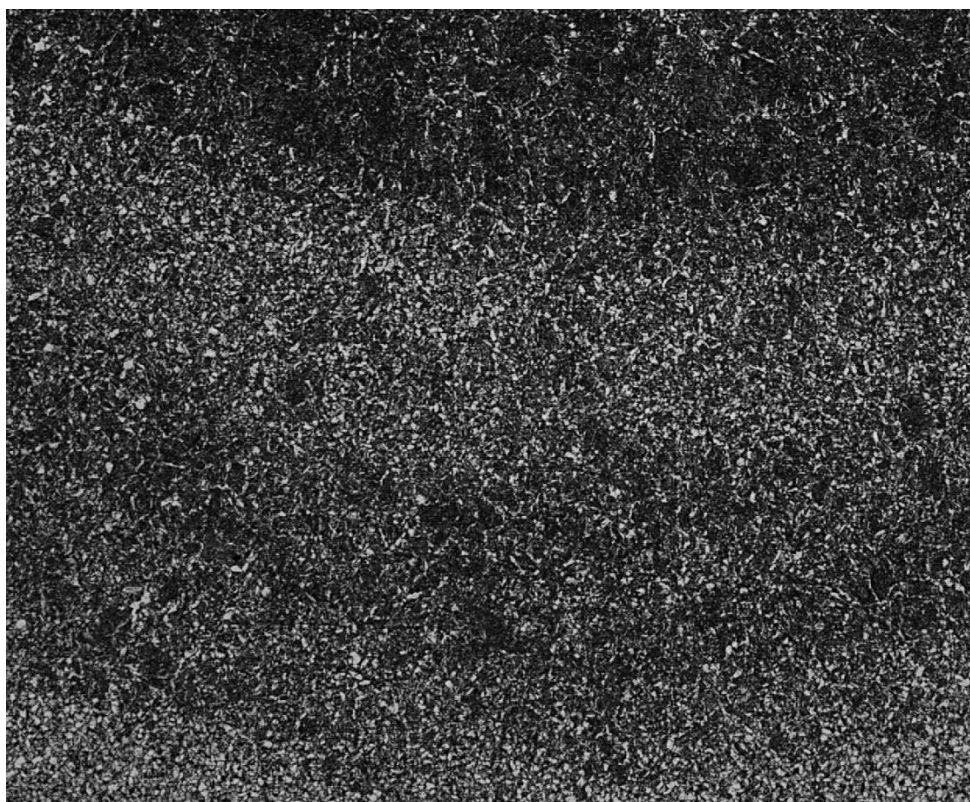


Рисунок 23 – Микроструктура сварного соединения (граница сплавления корневой слой+ заполняющий слой): постоянный ток обратной полярности без МП.

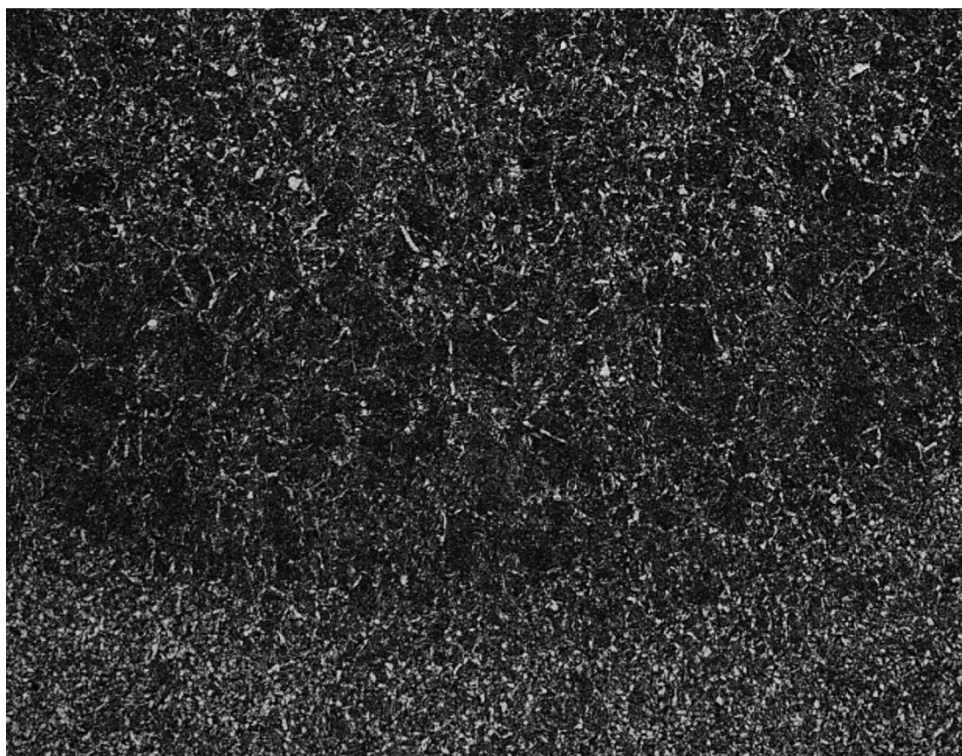


Рисунок 24 – Микроструктура сварного соединения (заполняющий слой): постоянный ток обратной полярности без МП.

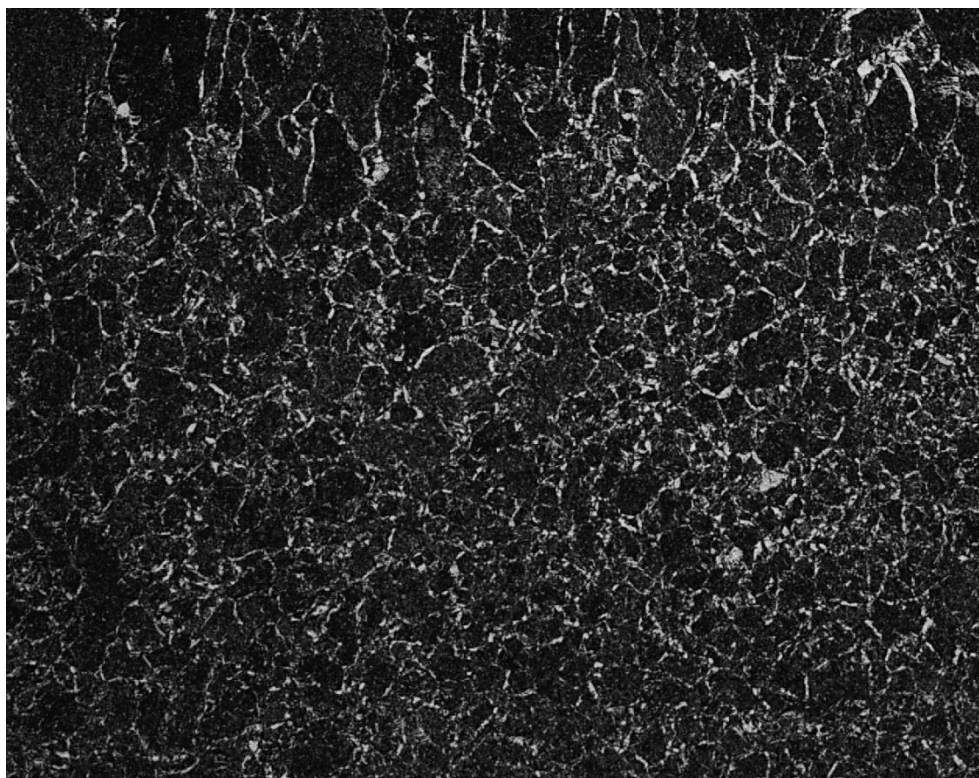


Рисунок 25 – Микроструктура сварного соединения (граница сплавления, заполняющий слой+ облицовочный слой): постоянный ток обратной полярности без МП.

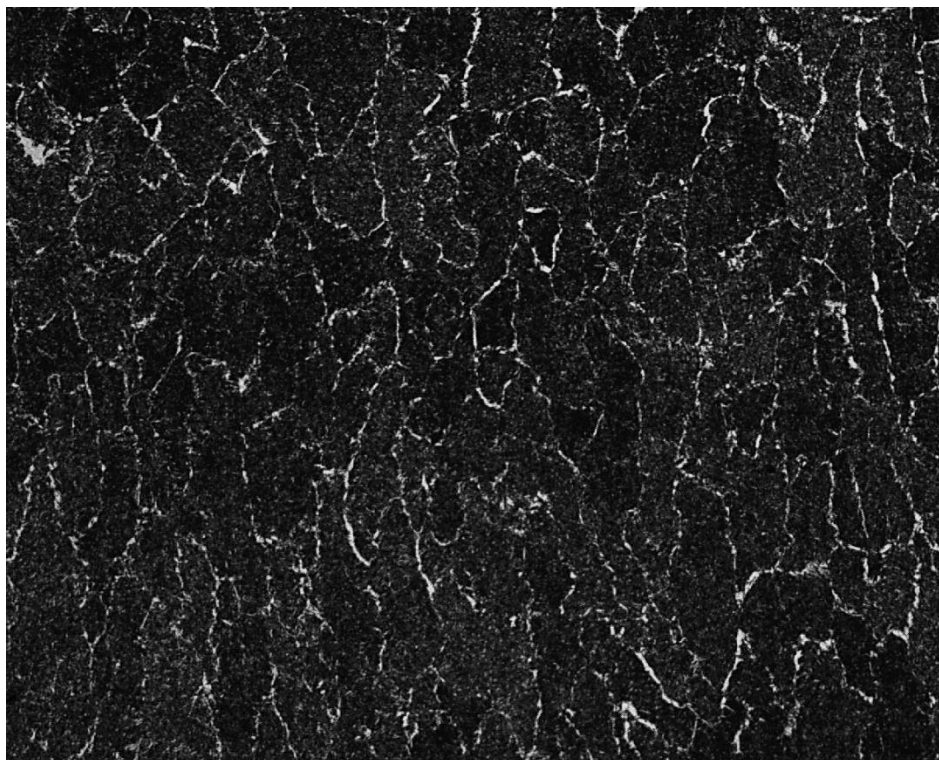


Рисунок 26 – Микроструктура сварного соединения (облицовочный слой): постоянный ток обратной полярности без МП.

Стык №4.

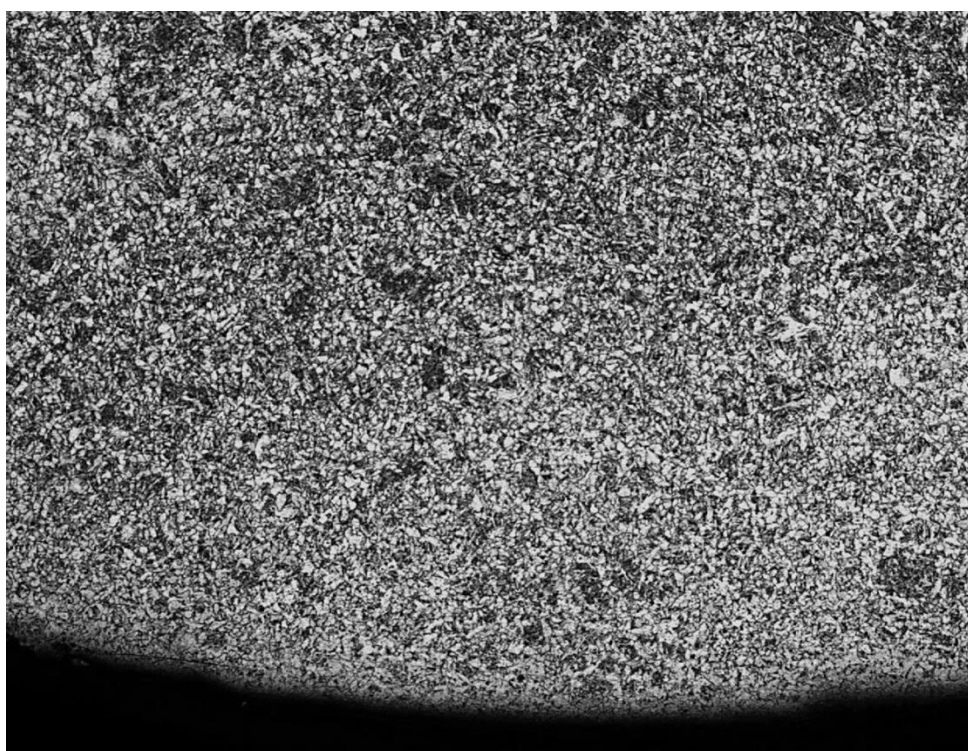


Рисунок 27 – Микроструктура сварного соединения (корневой слой): постоянный ток обратной полярности без МП.

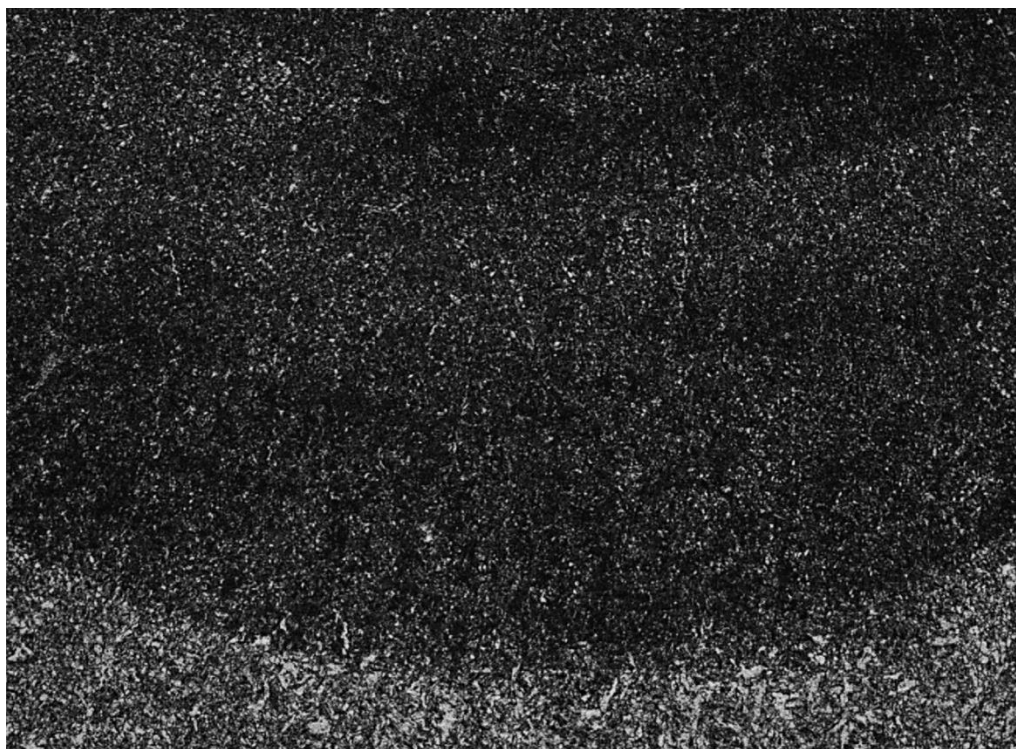


Рисунок 28 – Микроструктура сварного соединения (граница сплавления корневой слой+ заполняющий слой): постоянный ток обратной полярности без МП.

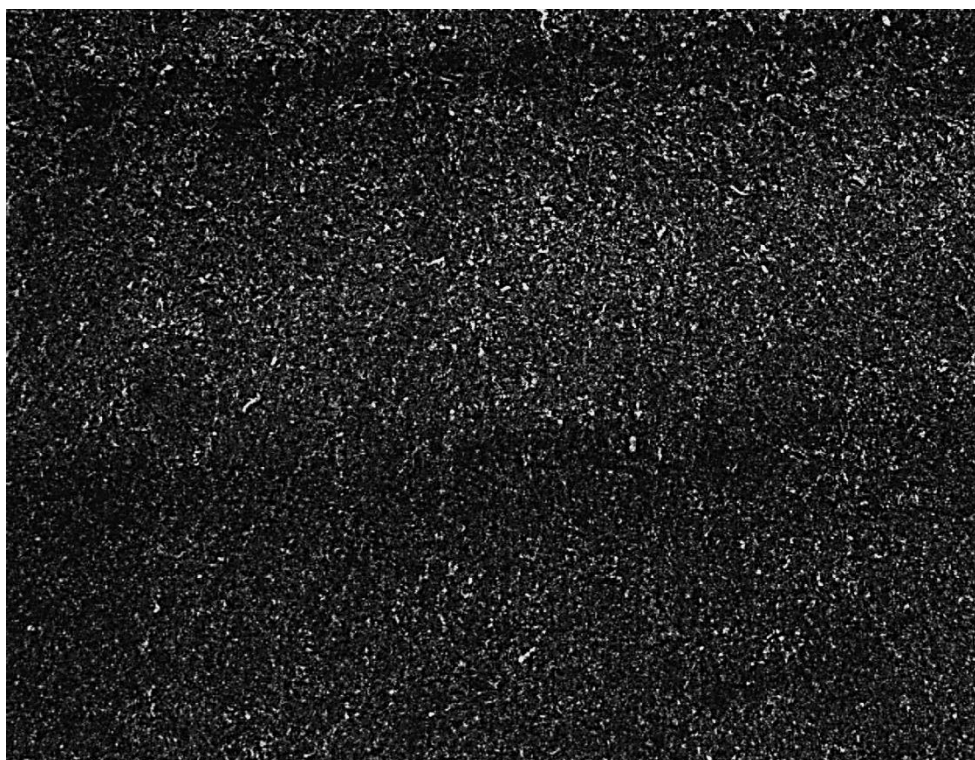


Рисунок 29 – Микроструктура сварного соединения (заполняющий слой): постоянный ток обратной полярности без МП.

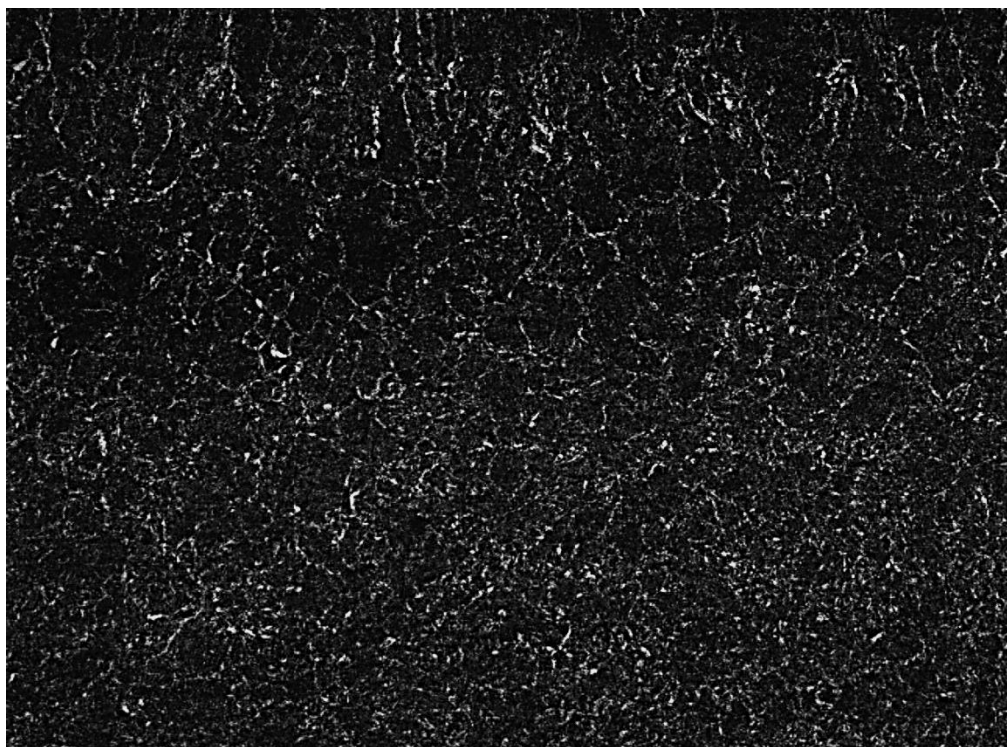


Рисунок 30 – Микроструктура сварного соединения (граница сплавления, заполняющий слой+ облицовочный слой): постоянный ток обратной полярности без МП.

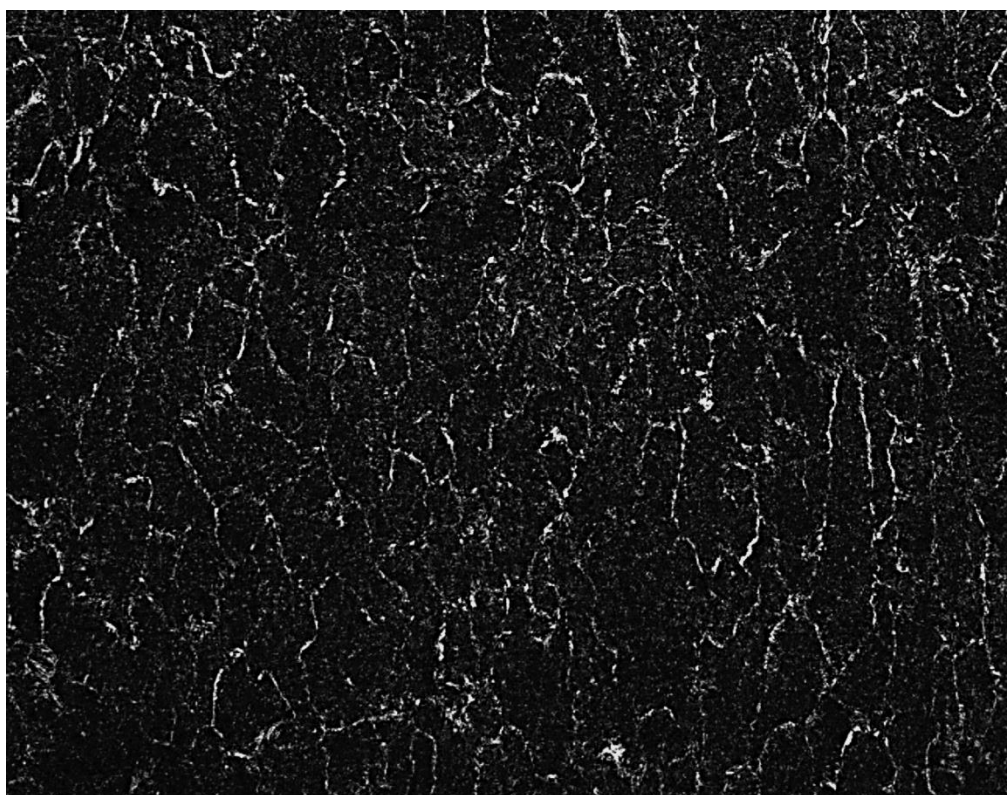


Рисунок 31 – Микроструктура сварного соединения (облицовочный слой): постоянный ток обратной полярности без МП.

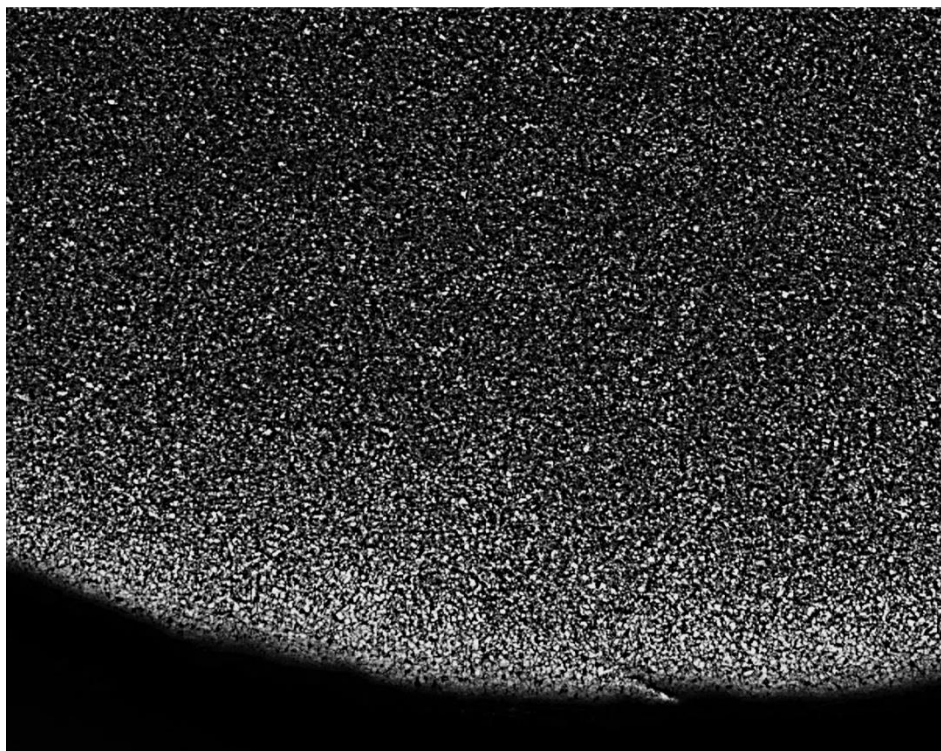


Рисунок 32 – Микроструктура сварного соединения (корневой слой): переменный прямоугольный ток повышенной частоты без МП.

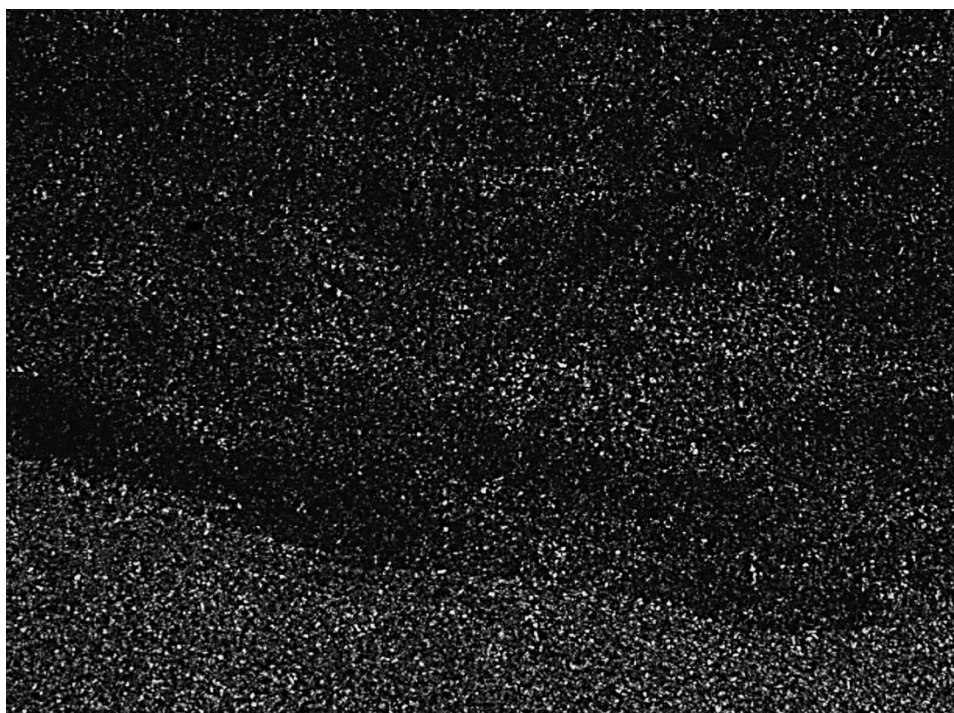


Рисунок 33 – Микроструктура сварного соединения (граница сплавления корневой слой+ заполняющий слой): переменный прямоугольный ток повышенной частоты без МП.

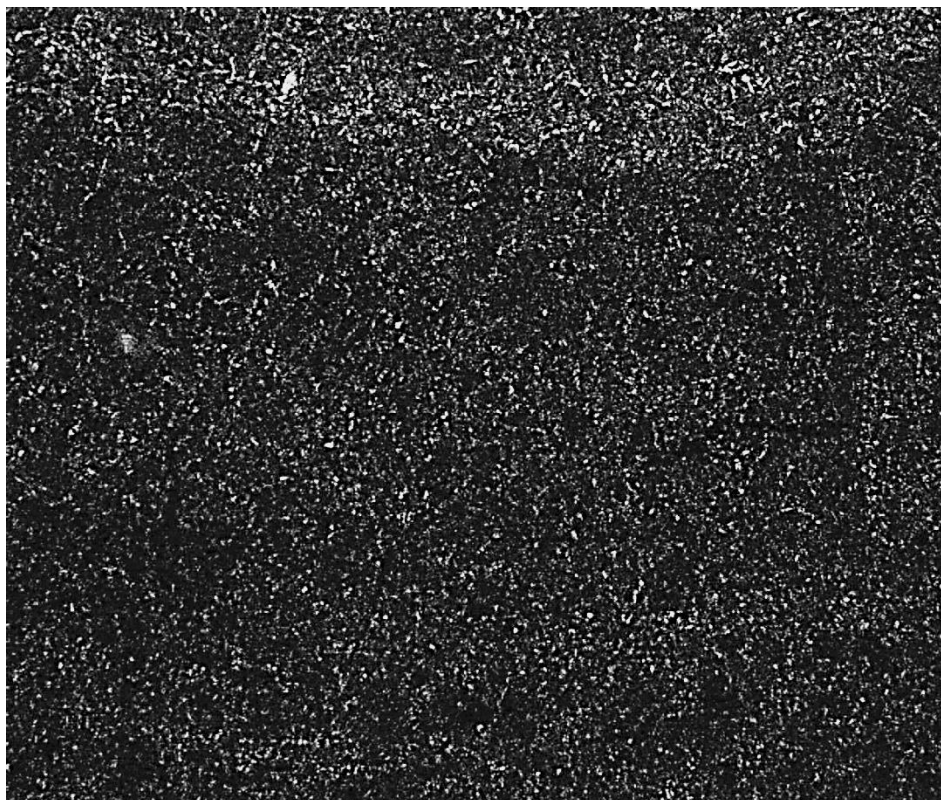


Рисунок 34 – Микроструктура сварного соединения (заполняющий слой): переменный прямоугольный ток повышенной частоты без МП.

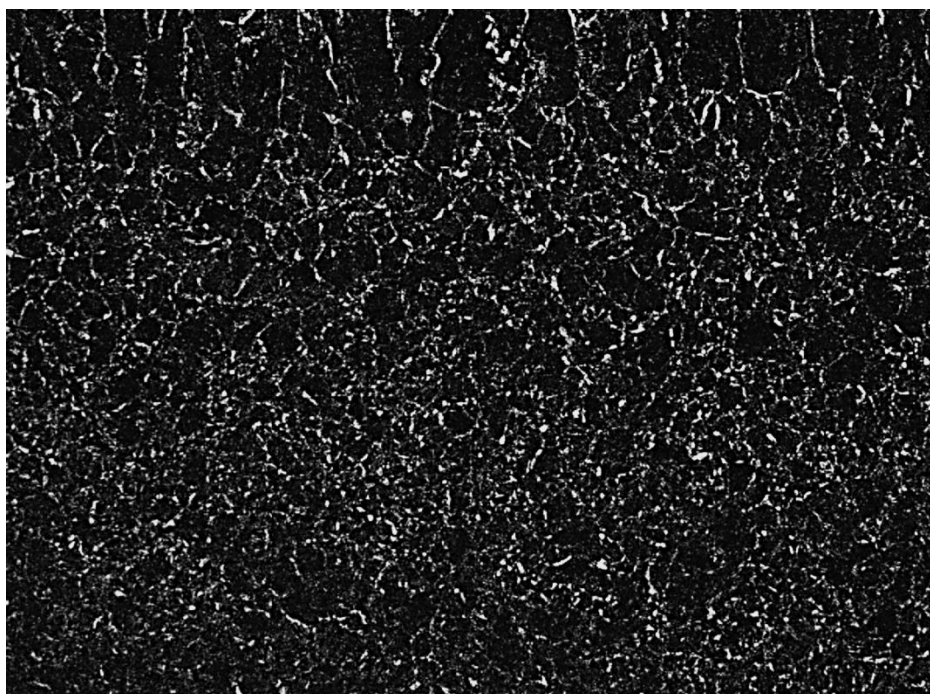


Рисунок 35 – Микроструктура сварного соединения (граница сплавления заполняющий слой+ облицовочный слой): переменный прямоугольный ток повышенной частоты без МП.

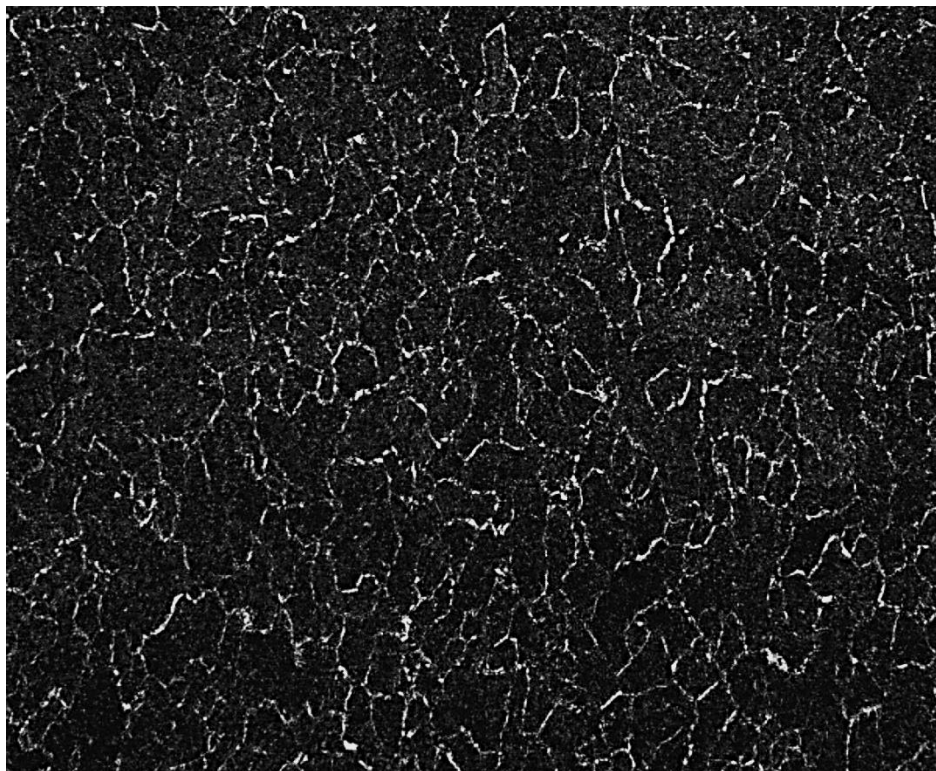
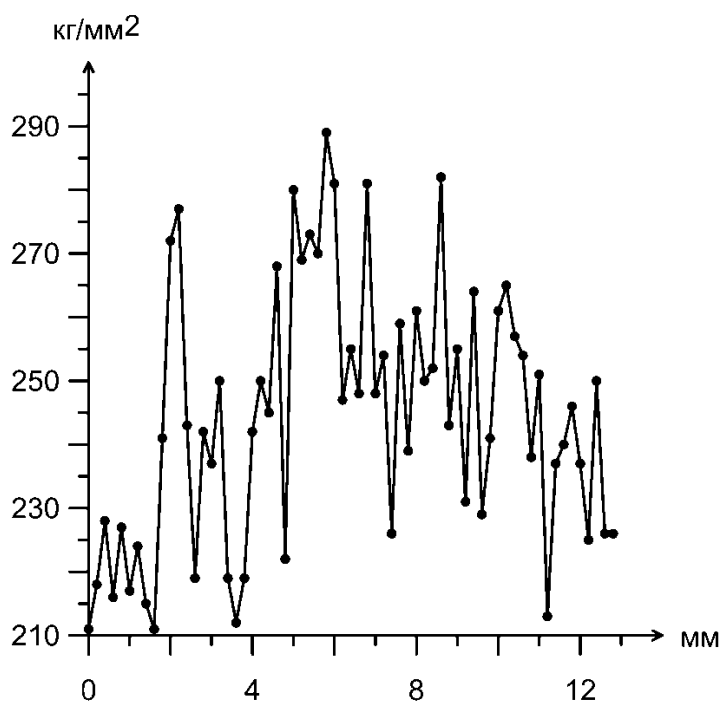


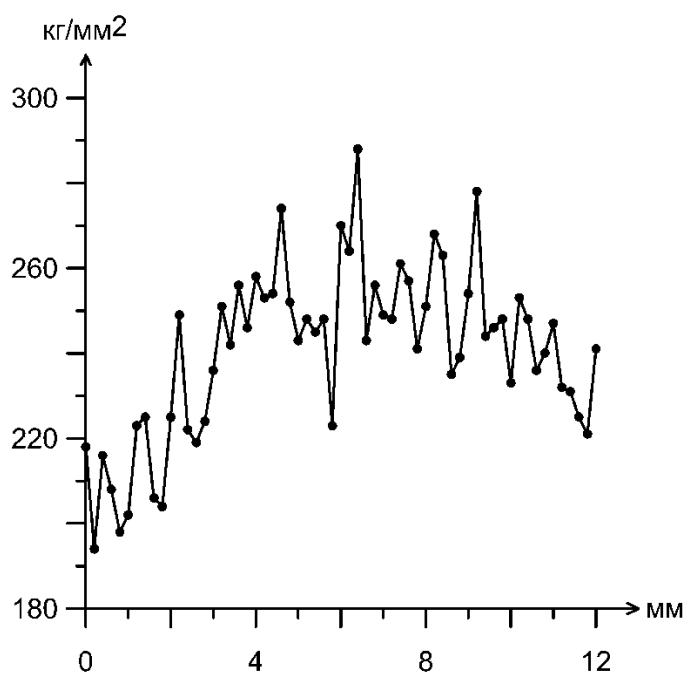
Рисунок 36 – Микроструктура сварного соединения (облицовочный слой): переменный прямоугольный ток повышенной частоты без МП.

Анализ макроструктуры структуры сварных соединений показал, что применение переменного прямоугольного тока приводит к уменьшению размеров кристаллитов в корневом и заполняющем слое шва (Рисунок 11, б) по сравнению с постоянным током обратной полярности (Рисунок 11, а). Детальный анализ микроструктуры корневого слоя шва (Рисунок 27 и 32) показал, что уменьшение составляет как минимум 3...4 раза. Кроме того, применение переменного прямоугольного тока также оказывает влияние на строение околошовной зоны. В частности, уменьшается протяженность участка перегрева с крупным зерном, к шву примыкает участок со структурой металла в нормализованном состоянии.

2.4 Исследование распределения микротвердости по высоте и ширине шва



а)



б)

Рисунок 37 – Распределение микротвердости сварного шва по его высоте (от корня к облицовке): а – намагниченный образец, сваренный переменным прямоугольным током; б – размагниченный образец, сваренный постоянным током.

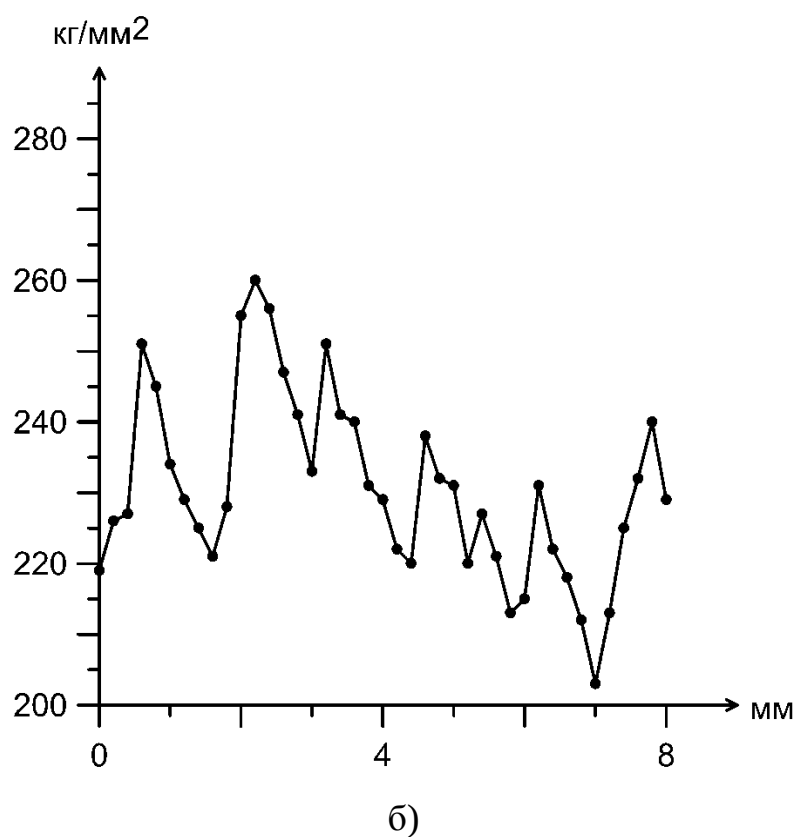
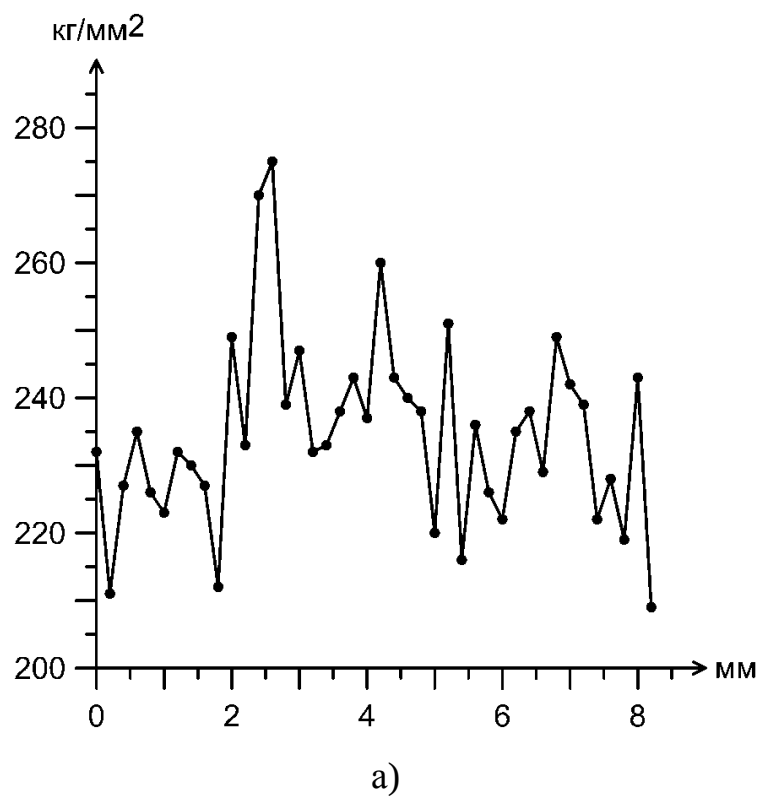


Рисунок 38 – Распределение микротвердости по ширине корневого слоя сварного шва (от центра к основному металлу): а – намагниченный образец, сваренный переменным прямоугольным током; б – размагниченный образец, сваренный постоянным током.

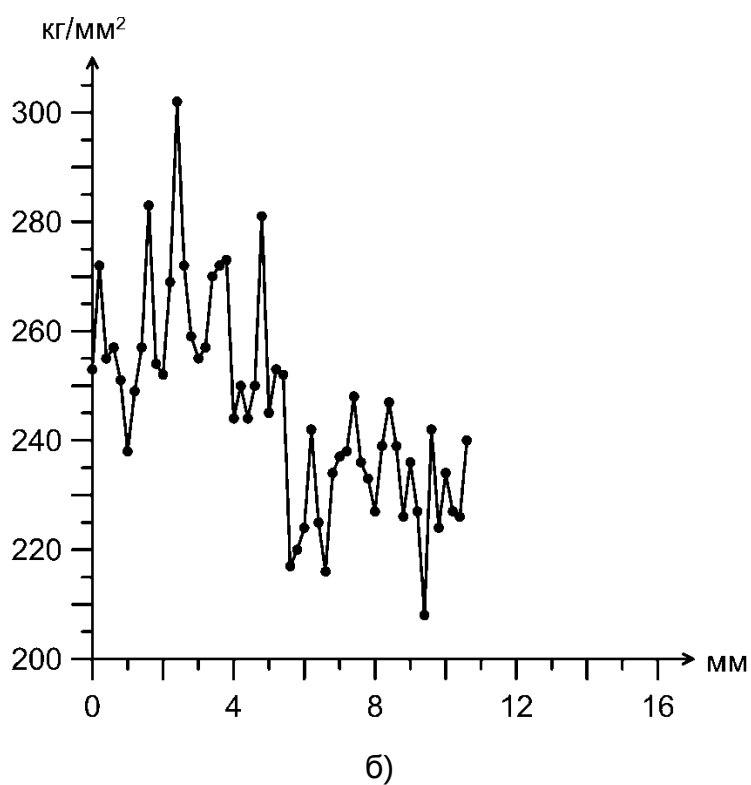
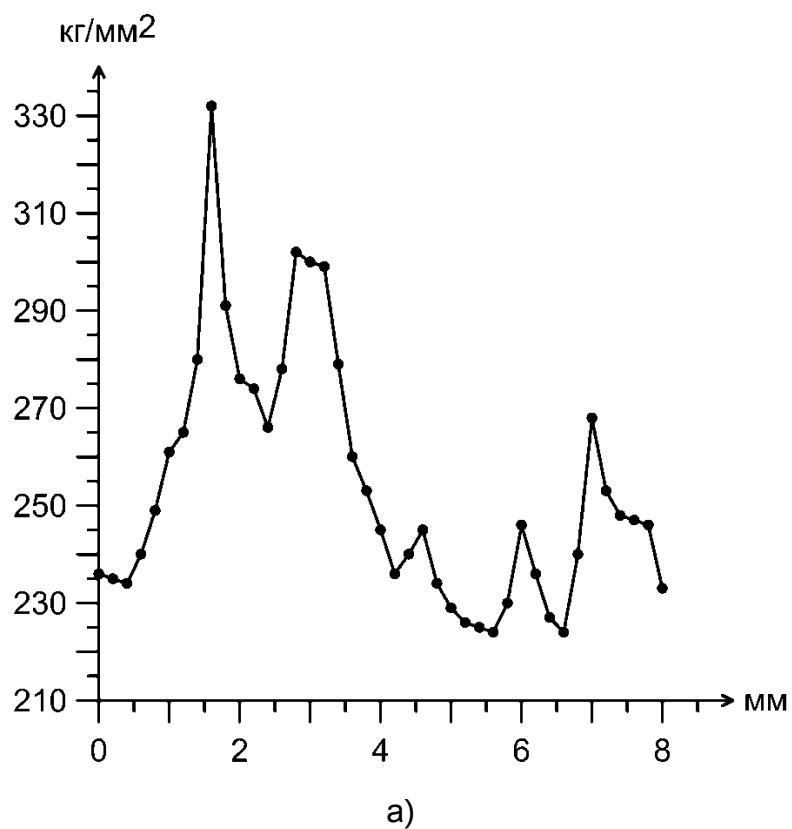


Рисунок 39 – Распределение микротвердости по ширине
заполняющего слоя сварного шва (от центра к основному металлу):
а – намагниченный образец, сваренный переменным прямоугольным током;
б – размагниченный образец, сваренный постоянным током.

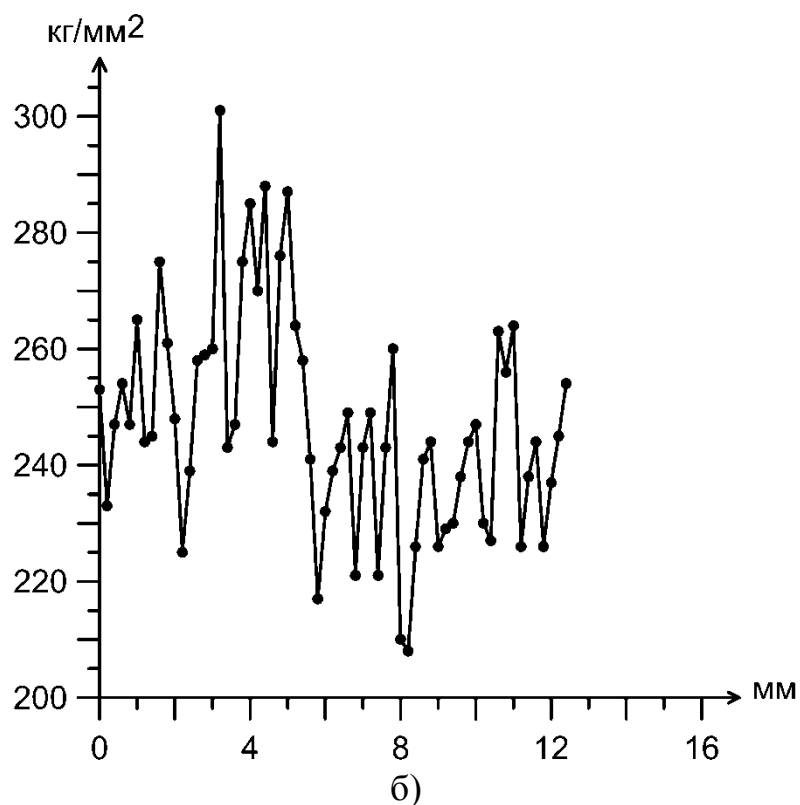
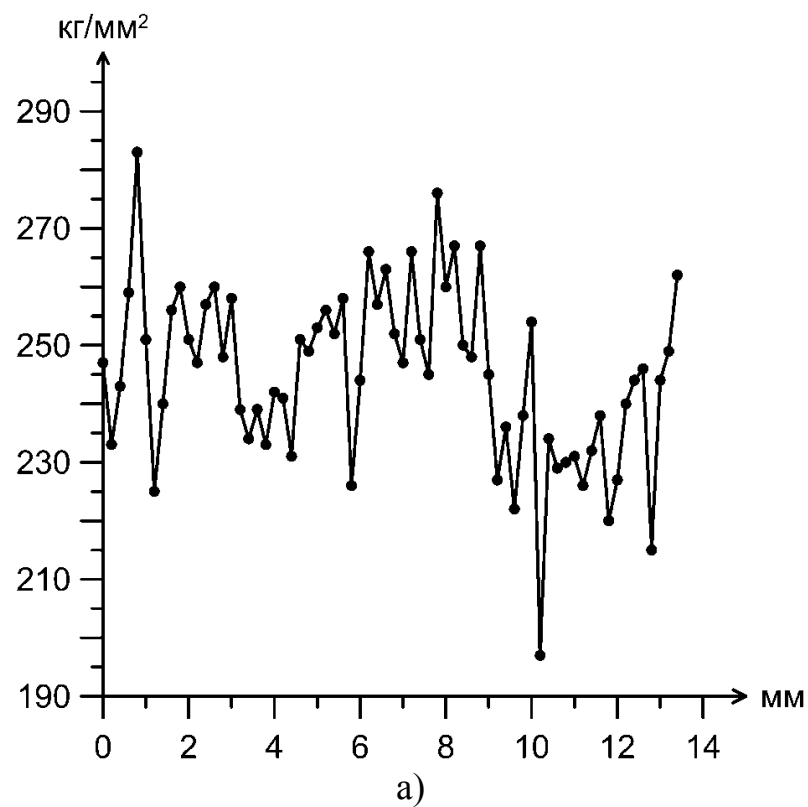


Рисунок 40 – Распределение микротвердости по ширине облицовочного слоя сварного шва (от центра к основному металлу):
а – намагниченный образец, сваренный переменным прямоугольным током;
б – размагниченный образец, сваренный постоянным током.

Анализ распределения микротвердости по высоте и ширине сварного соединения (Рисунок 37...40) показал, что образец, сваренный переменным прямоугольным током, характеризуется равномерным распределением величины микротвердости по высоте шва (Рисунок 37, а). Применение постоянного тока приводит к увеличению показателей микротвердости в корневом слое шва (Рисунок 37, б). Уменьшение ширины зоны термического влияния, при дуговой сварке переменным прямоугольного тока подтверждают графики распределения микротвердости по ширине сварных швов (Рисунок 38...40).

3 Анализ результатов и выводы

Показано, что применение переменного прямоугольного тока частотой 500 Гц при дуговой сварке покрытыми электродами позволяет получать качественные соединения в зоне действия магнитного поля с индукцией 2...100 мТл.

Таким образом, результаты экспериментальных исследований подтверждают целесообразность применения переменного прямоугольного тока повышенной частоты при дуговой сварке покрытыми электродами трубопроводов.

Список использованных источников

1. Гордынец А.С. Управление процессом дуговой сварки при возмущающем воздействии магнитного поля //– Дис. ...канд. техн. наук.– Томск, 2012.– 158 с.
2. Браткова О.Н. Источники питания сварочной дуги:// Учебник. – М.: Выш. школа, 1982. – 182 с., ил.
3. Лесков Г.И. Электрическая сварочная дуга.// - М., «Машиностроение», 1970. – 335 с.
4. Б.Е. Патон, И.И. Заруба, В.В. Дыменко, А.Ф. Шатан. Сварочные источники питания с импульсной стабилизацией горения дуги.//– К.: «Экотехнология», 2007. – 248 с.
5. Бардин В.М., Земсков А.В. Высокочастотные инвенторы для сварки на переменном токе.// – М.: ДМК Пресс, 2015 – 144с.
6. Ю.Г. Гаген, В.Д. Таран. М. Сварка магнитоуправляемой дугой.// «Машиностроение», 1970. – 160с.
7. Александров А.Г., Милютин В.С. Источники питания для дуговой сварки.// – М.: Машиностроение, 1982. – 79 с.
8. Кирдо И.В. О механизме повторного зажигания сварочной дуги переменного тока // Автоматическая сварка. – 1956. - №6. – С. 39 – 54.
9. Паршенков Н. А. Оценка влияния индуктивной составляющей намагничивания ферромагнитных конструкций на сварочные процессы.// Автоматическая сварка, 1991, №5, С. 24-28.
10. Дроздов А. П., Пак К., Рубцов Н. Н. Влияние магнитных полей на качество сварных соединений конструкций из низколегированной стали.// Сварочное производство, 1977, №10, С. 16-18
11. Гордынец А. С., Киселев А. С., Дедюх Р. И., Советченко Б. Ф. Влияние возмущающего воздействия внешнего магнитного поля на процесс дуговой сварки покрытыми электродами // Сварка и диагностика. – 2011. – №4. – С. 37– 40.

12. Гордынец А. С., Киселев А. С., Дедюх Р. И., Советченко Б. Ф. Стабилизация процесса дуговой сварки покрытыми электродами при возмущающем воздействии магнитного поля // Экологические проблемы и техногенная безопасность строительства, эксплуатации и реконструкции нефтегазопроводов. Новые технологии и материалы – 2005: Материалы докладов научно-производственного форума. – Томск. – 2005. – С. 118-121.

13. Пат. РФ № 2245231, МКП7 В 23 К 9/09, Способ дуговой сварки / Гордынец А. С., Александров А. Б., Дедюх Р. И., Киселев А. С., Нехода М. М., Рожков В. В., Советченко Б. Ф., Струков А. В., Юрин П. М.; заявитель и патентообладатель Томский политехнический университет. – 2003134231/02; заявл. 25.11.2003; опубл. 27.01.2005; бюл. № 3.

14. Корольков П.М. Природа возникновения и методы устранения магнитного дутья при сварке // Сварочное производство. 1998. №5. С. 6-8.

15. Сердюк Г.Б. К расчету сварочной дуги в поперечном магнитном поле. // Автоматическая сварка 1960. - №11. – С. 31-38.

16. Лесков Г. И., Лугин В. П. Переменному току – дорогу в сварку. // Приок. книж. изд-во. Тула, 1969, С. 59

17. Гаген Ю.Г., Таран В.Д. Сварка магнитоуправляемой дугой.// - М.: Машиностроение,1970.- 160 с.

Раздел 3
An experimental part

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1BM41	Величко Кристина Александровна		

Консультант кафедры ОТСП:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата

Консультант – лингвист кафедры ИЯФТ:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Мыльникова Татьяна Степановна			

2 An experimental part

2.1 Description of the experiment

Pipes made of 12G2SB steel grade were used as samples, which mechanical properties were presented in Table 2.1. Tube diameter was 530 mm, wall thickness – 10 mm. Edge preparation (C17) was done according to the requirements of GOST 16037-80. Welding was performed for a pipe in non-rotational position in three passes. Welding parameters are presented in Table 2.4. In the absence of a magnetic field in the welding zone (magnetic flux density is equal to 0 mT), positive DC (electrode is connected to positive pole) was used, and if the initial value of the magnetic flux density was of 100 mT, then square wave AC was used. The chemical composition of the base metal is given in Table 2.2, and the weld metal - Table 2.3. The results indicates insignificant influence of welding conditions on the content of alloying elements in the weld metal.

Table 2.1 – Mechanical properties of 12G2SB steel grade (GOST 10705-80)

Tensile strength, MPa	Yield strength, MPa	Elongation, %
490	343	20

Table 2.2 - The chemical composition of the base metal (steel 12G2SB)

Element content, % (GOST 19281- 89)									
C	Si	Mn	Cr	Ni	Co	Cu	Nb	Ti	V
0,12	0,42	1,46	0,12	0,08	0,01	0,15	0,05	0,01	0,06

Table 2.3 - Chemical composition of weld metal

Welding conditions	Chemical composition of the weld metal, %							
	C	Si	Mn	Cr	Ni	Co	Cu	V
magnetized workpieces, square wave AC	0,12	0,3	1,07	0,02	0,01	-	0,07	0,01
demagnetized workpieces, DC electrode positive	0,12	0,3	1,20	0,04	0,02	0,01	0,04	0,02

Table 2.4 – Welding parameters

Welding conditions	Passes	Electrodes		Current value, A
		Name	Diameter, mm	
magnetized workpieces, square wave AC	Root	LB-52U	3,2	95...100
	Fill	OK-74.70	3	
	Face	OK-74.70	4	
demagnetized workpieces, DC electrode positive	Root	LB-52U	3,2	85...95
	Fill	OK-74.70	3	
	Face	OK-74.70	4	

At first, the welded joints were inspected by visual and radiographical methods. This inspection did not reveal any defects.

To determine mechanical properties of the welded joints, the samples in accordance with the requirements of GOST 6996-66 were made.

The results of the static tensile tests (Table 2.5) showed that the failure of the samples occurred in the base metal regardless of the welding conditions. The results of tests on static bending strength (Table 2.6) showed that for bend angles up to 413 K the destruction of specimens was not observed.

Table 2.5 – The results of static tensile tests of welding joints

Welding conditions	Mechanical properties of welding joint			
	Tensile strength, MPa	Yield strength, MPa	Elongation, %	Contraction, %
magnetized workpieces, square wave AC	$\frac{630 - 658}{644}$	$\frac{518 - 536}{528}$	$\frac{11,6 - 15}{13,3}$	$\frac{61,6 - 68}{64,8}$
demagnetized workpieces, DC electrode positive	$\frac{625 - 680}{653}$	$\frac{517 - 565}{535}$	$\frac{16 - 16,5}{16,2}$	$\frac{60,6 - 72}{66,3}$

Table 2.6 – The results of tests on the static bending strength of welding joint

Welding conditions	Bend angle value; root layer displacement	
	on tensile	on compressive
magnetized workpieces, square wave AC	over 125°	over 125°
demagnetized workpieces, DC electrode positive	over 125°	over 125°

Analysis of the results of the welded joint impact strength tests (Table 2.7) showed that at the temperature of 293 K the value of the weld metal toughness did not substantially depend on the welding conditions. At a temperature of 233 K and other experimental conditions the value of weld metal toughness was 1.15...1.36 times greater, when square wave AC was used instead of DC. The positive influence of square wave AC application on the magnitude of impact toughness of the heat affected zone (HAZ) was revealed.

Table 2.7 – The impact toughness test results for zone of welding joint

Welding conditions	Stress raiser location	CVN^{293K} , MJ/m ²	CVN^{233K} , MJ/m ²
magnetized workpieces, square wave AC	Weld metal	$\frac{104 - 142}{123}$	$\frac{26 - 67}{47}$
	HAZ	$\frac{165 - 274}{220}$	$\frac{185 - 261}{223}$
	Base metal	$\frac{179 - 196}{188}$	$\frac{189 - 248}{219}$
demagnetized workpieces, DC electrode positive	Weld metal	$\frac{104 - 141}{122}$	$\frac{23 - 56}{25}$
	HAZ	$\frac{215 - 268}{242}$	$\frac{61 - 239}{150}$
	Base metal	$\frac{159 - 281}{220}$	$\frac{156 - 227}{192}$

In order to identify what caused increase in toughness of the weld metal and of the HAZ specimens obtained by magnetized workpiece welding with square wave AC, macro- and microstructure of the joint and distribution of microhardness were examined.

2.3 Investigation of the microstructure and macrostructure.

In order to analyze the current sort of effect on the properties of the weld metal, it was investigated the macro- and microstructure.

Consider the macrostructure of the weld metal.

Joint №1

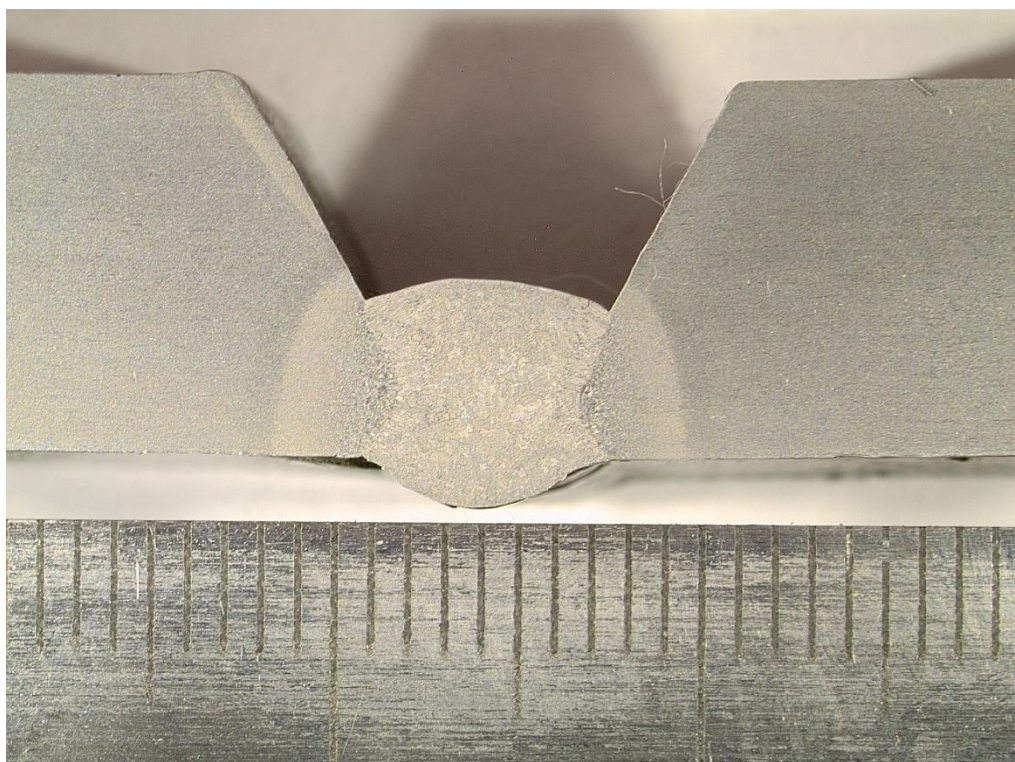


Figure 2 - The macrostructure of the weld metal (root layer) : a rectangular alternating current with a high frequency magnetic field

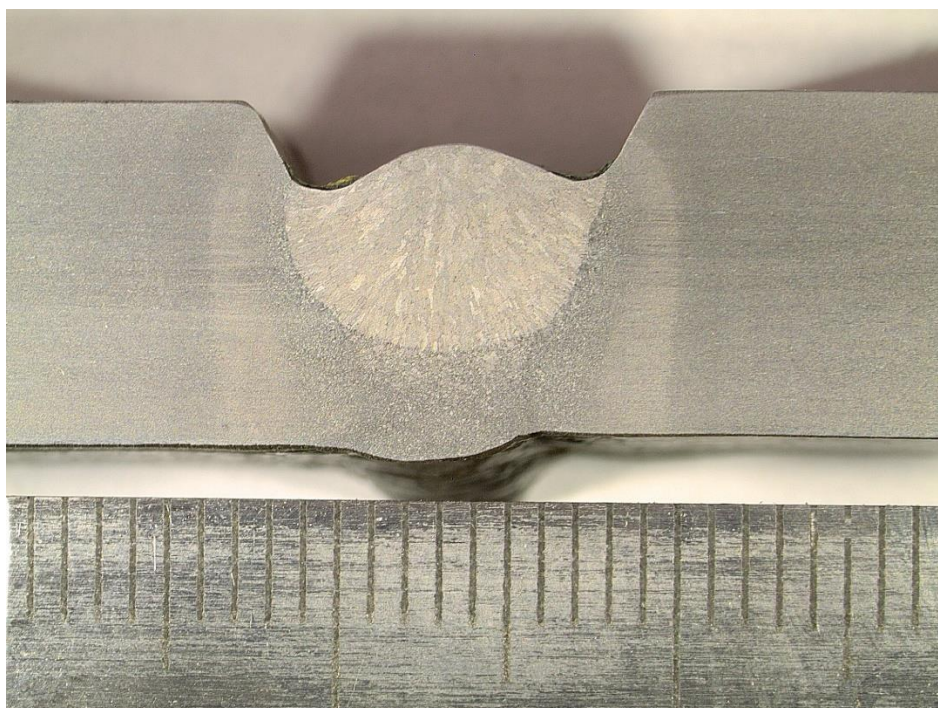


Figure 3 - The macrostructure of the weld metal (root filling layer + layer) : a rectangular alternating current with a high frequency magnetic field.

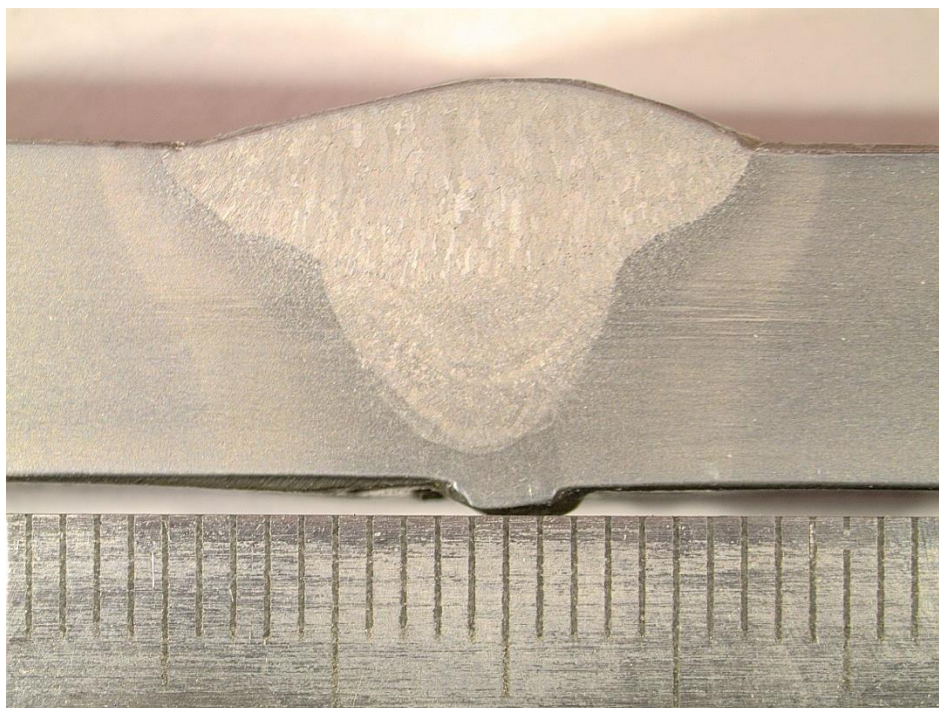


Figure 4 - The macrostructure of the weld metal (root filling layer + layer + cladding layer) : a rectangular alternating current with a high frequency magnetic field.

Joint №2.

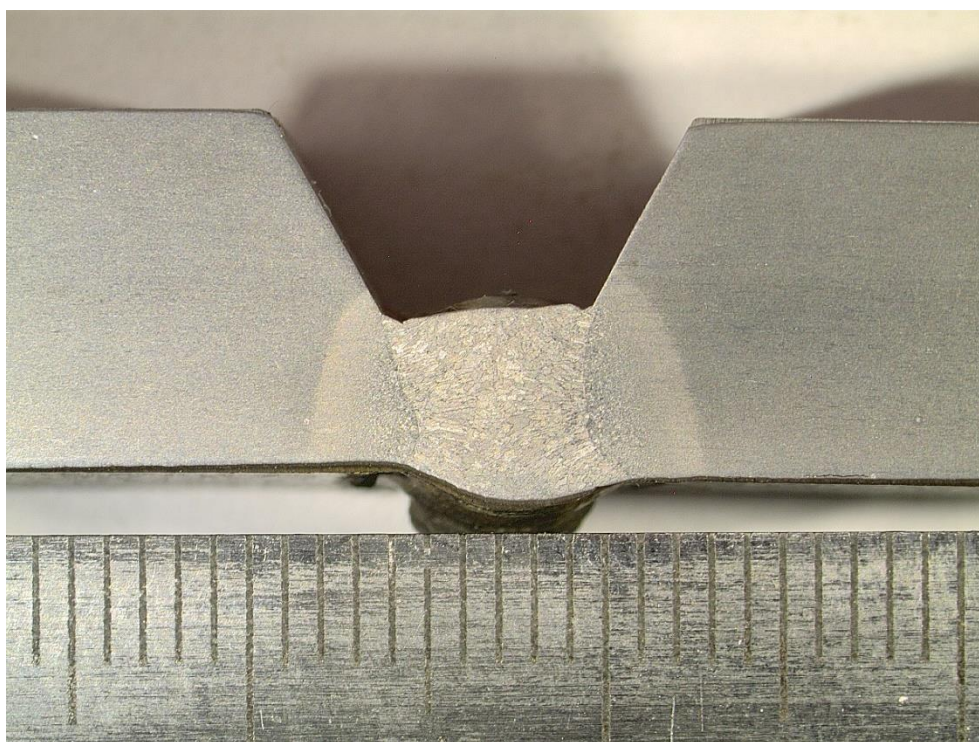


Figure 5 - The macrostructure of the weld metal (root layer): a rectangular alternating current with a high frequency magnetic field.

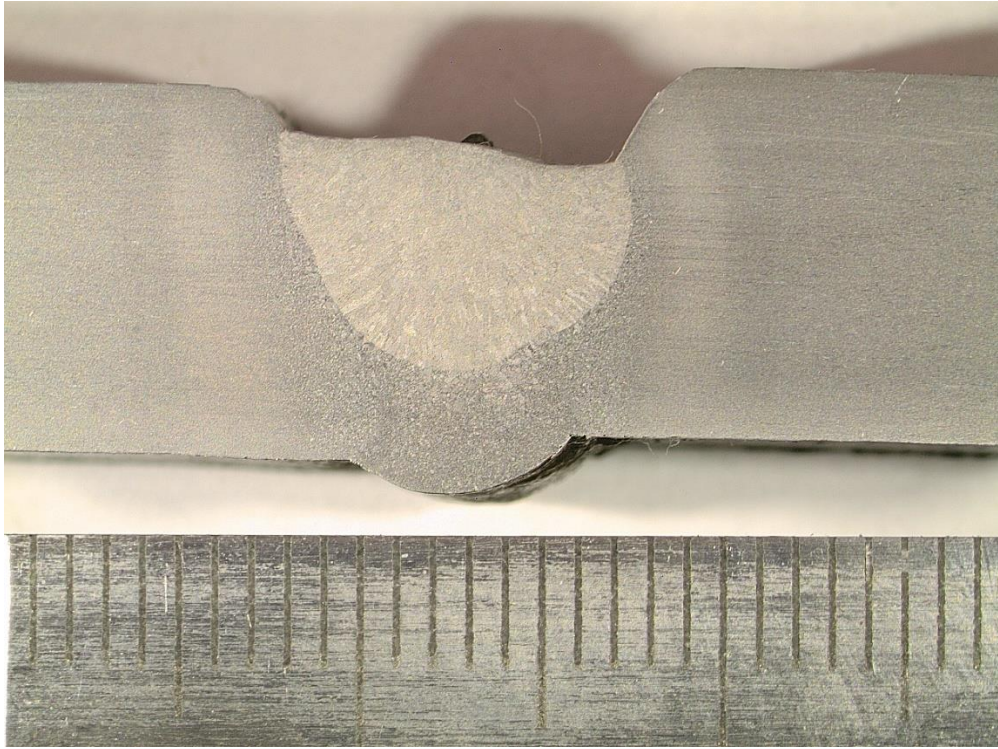


Figure 6 - The macrostructure of the weld metal (root filling layer + layer): DC reverse polarity without MP.

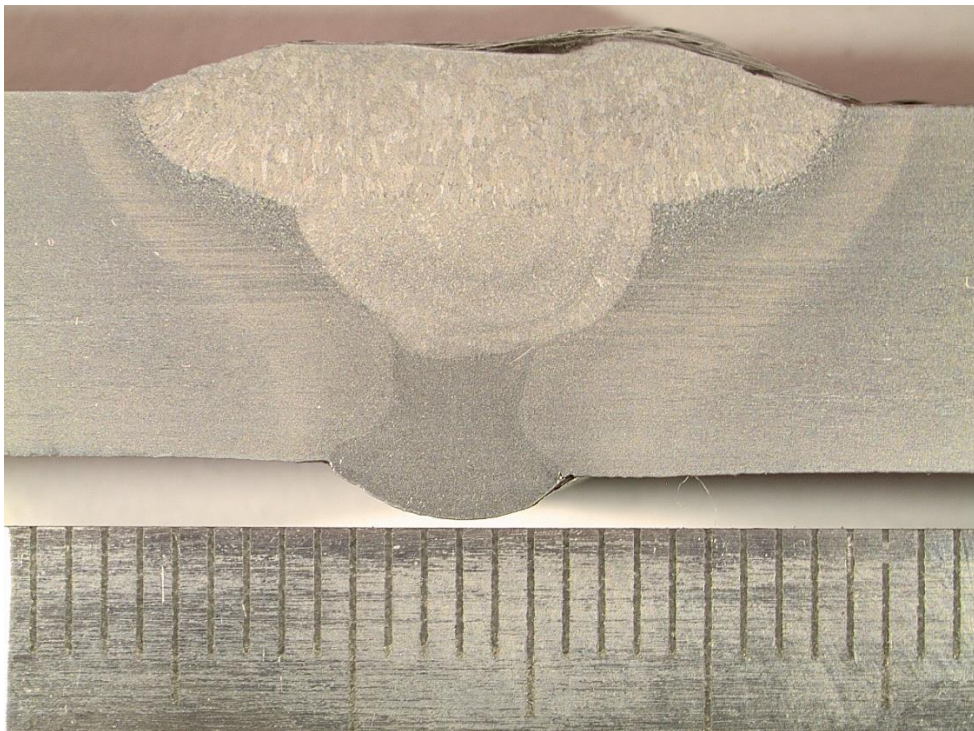


Figure 7 - The macrostructure of the weld metal (root filling layer + layer + cladding layer): DC reverse polarity without MP.

Joint №3.

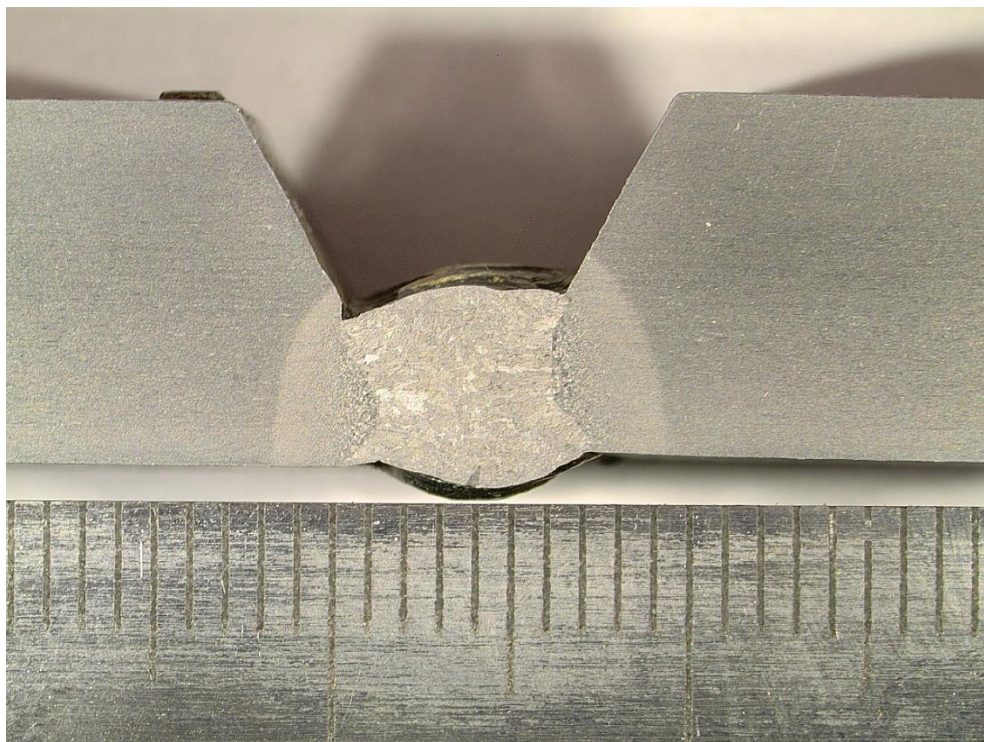


Figure 8 - The macrostructure of the weld metal (root layer): DC reverse polarity without MP.

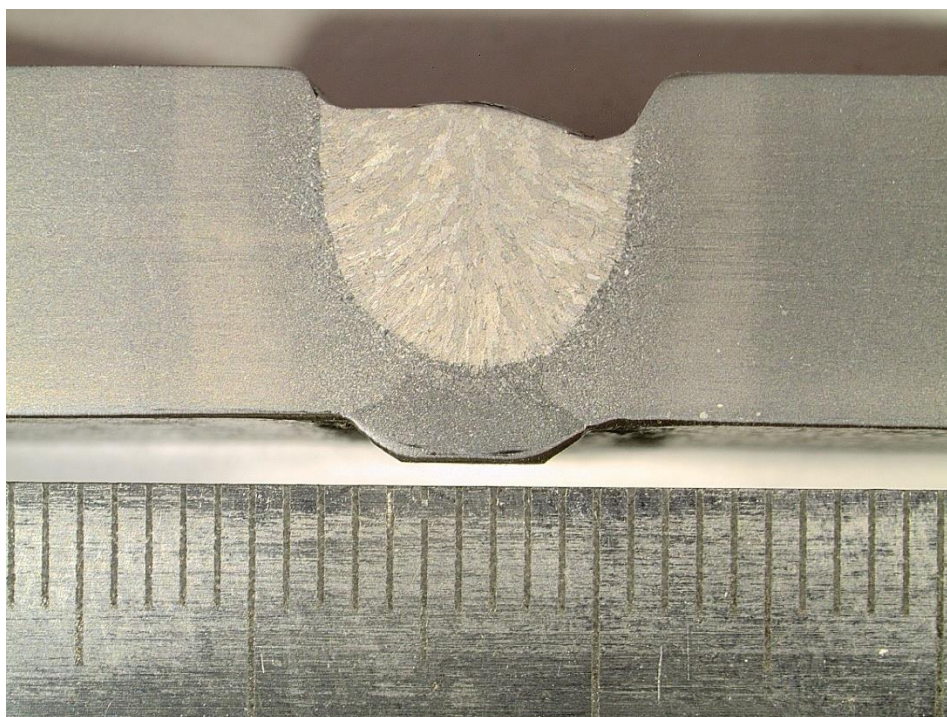


Figure 9 - The macrostructure of the weld metal (root filling layer + layer): DC reverse polarity without MP.

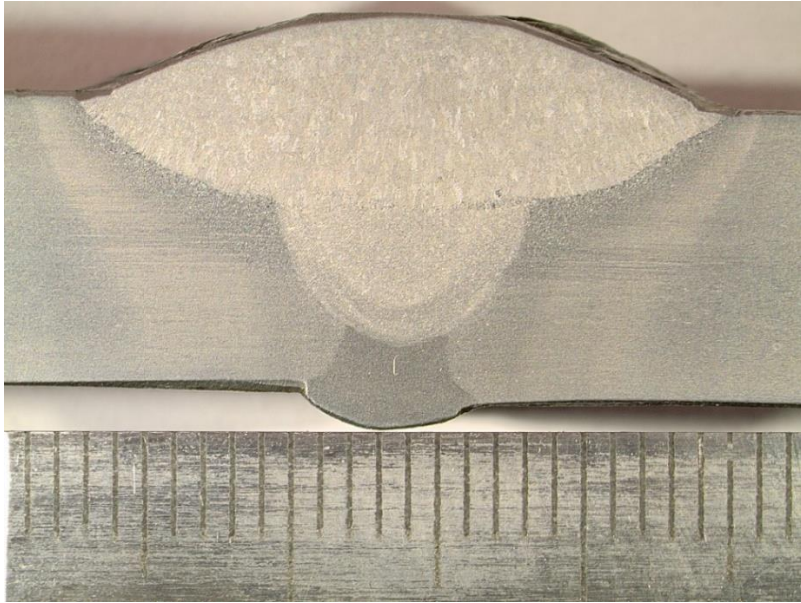


Figure 10 - The macrostructure of the weld metal (root filling layer + layer + cladding layer): DC reverse polarity without MP.

Joint №4.



a)



b)

Figure 11 - The macrostructure of the weld metal: a - DC reverse polarity ; b - a rectangular alternating current of high frequency .