

4545 535
Московский ордена Ленина, ордена Октябрьской
Революции и ордена Трудового Красного Знамени
государственный технический университет
им. Н.Э. Баумана

На правах рукописи

РЕКУС Валерий Гаврилович

КОНТАКТНАЯ СТЫКОВАЯ СВАРКА СОПРОТИВЛЕНИЕМ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ОДНОРОДНЫХ
И РАЗНОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ВНЕШНИХ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ

05.03.06 - Технология и машины

сварочного производства

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Р.С.

Работа выполнена в Научно-производственном объединении строительного
и дорожного машиностроения ВНИИСтройдормаш

Научный руководитель-доктор химических

наук, профессор

Пугачевич П.П.

Официальные оппоненты: д.т.н., проф. Чакалов А.А.

д.т.н., проф. Потапов Г.К.

Ведущее предприятие- ГОСНИИ, г. Москва

Защита состоится " 3 " ноября 1994 г. в 14.30
часов на заседании

диссертационного совета Д 053.15.07 Московского
технологического Университета им. Н.Э. Баумана по адресу: 107005,
Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, МГТУ имени Н.Э. Баумана.

Ваш отзыв в 1-ом экземпляре, заверенный печатью, просим высылать
по указанному адресу.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке.

Телефон для справок: 267-09-63

Автореферат разослан " 30 " сентября 1994 г.

Учёный секретарь
диссертационного совета,
кандидат технических
наук, доцент



Шип В.В.

Подписано к печати " 14 " 09 1994 г.

Объем I п.л. Зак. № 468 Тираж 100

Типография МГТУ им. Н.Э. Баумана.

НТБ МГТУ им. Н.Э. Баумана



1545535

Рекус В.Г. Контактная стик

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. Важнейшей народнохозяйственной проблемой экономического и социального развития страны является повышение производительности труда и качества выпускаемой продукции на базе широкого внедрения в производство прогрессивной технологии и результатов научных исследований. При этом одной из важных задач является экономия всех видов ресурсов в процессе перехода к ресурсосберегающим технологиям.

В настоящее время к одному из крупнейших потребителей стального проката относится строительство, в котором свыше 10% проката расходуется на изготовление арматуры железобетона, значительную долю которой составляют стержни из высокопрочных термически упрочнённых дефицитных сталей.

При получении сварных соединений арматуры из неупрочнённой низкоуглеродистой стали на базе контактной стыковой сварки сопротивлением отсутствует высокоэффективная технология, обеспечивающая при равнопрочности металла сварных соединений и основного металла одновременное равенство их характеристик пластичности.

В свою очередь, отсутствует и эффективная технология контактной стыковой сварки получения равнопрочных сварных соединений разнородных металлов, обеспечивающая получение прочности разнородного сварного соединения, равной прочности менее прочного металла. Подобные соединения находят применение в различных отраслях промышленности, в частности, в нефтехимической и электротехнической.

В этой связи разработка технологий достаточно простых эффективных способов сварки и устройств для получения сварных соединений однородных и разнородных металлов на базе контактной стыковой сварки сопротивлением при одновременном обеспечении характеристик прочности и пластичности сварного соединения на уровне основного металла при повышении коррозионной стойкости соединения, особенно в условиях отрицательных температур, является актуальной задачей.

Целью диссертационной работы является разработка и исследование эффективных способов и устройств контактной стыковой сварки сопротивлением однородных и разнородных металлов и сплавов на базе неупрочнённых низкоуглеродистых сталей, при воздействии внешних магнитных полей в процессе сварки и охлаждения соединений.

Методы исследования. При решении основных задач диссертационной работы использовались:

55555555

анализ и обобщение литературных данных по эффектам магнитных полей в металлах и сплавах при термической и геомеханической обработке и возможности использования пол. и при контактной стыковой сварке сопротивлением однородных и разнородных металлов и сплавов;

теоретические и экспериментальные исследования с анализом воздействия внешних магнитных полей на физико-механические и физико-химические свойства сварных соединений однородных и разнородных металлов и сплавов с использованием осциллографирования электрических параметров процесса сварки, механических испытаний сварных соединений с записью диаграмм растяжения и с проведением на их основе анализа физико-механических характеристик прочности и пластичности (ударной вязкости, микротвёрдости, удельного электрического сопротивления); исследования коррозионной стойкости металла сварных соединений в агрессивных средах с использованием весового метода и метода травления; металлографические, электронномикроскопические и рентгеноструктурные исследования металла сварных соединений; и методы обработки экспериментальных данных и математической статистики при анализе экспериментальных данных.

Научная новизна работы состоит в следующем:

установлены общие закономерности влияния внешних магнитных полей на качество и эксплуатационные, технические характеристики сварных соединений однородных и разнородных металлов и сплавов, полученных на базе контактной стыковой сварки сопротивлением;

установлен оптимальный диапазон интенсивности и оптимальная индукция внешнего магнитного поля по предложенной методике их определения, в котором достигается одновременное возрастание характеристик прочности и пластичности сварных соединений до уровня и выше характеристик основного металла наряду с повышением коррозионной стойкости;

установлена взаимосвязь дисперсности структуры, её упорядочения и текстуры металла сварных соединений, определяемых интенсивностью внешних магнитных полей, с механическими характеристиками прочности и пластичности.

Практическая ценность. Разработаны способы и устройства для контактной стыковой сварки сопротивлением соединений однородных и разнородных металлов и сплавов на базе низкоуглеродистых сталей (на примере соединяемой сталь-никель и сталь-вольфрам) с использованием воздействия внешних постоянного и переменного промышленной частоты (50 Гц) магнитных полей. Разработанные способы сварки в оптимальном диапазоне магнитной индукции магнитных полей обеспе-

чивают одновременное повышение механических характеристик прочности, пластичности и коррозионной стойкости сварных соединений однородных металлов и сплавов до уровня и выше характеристик основного металла, а также повышение стабильности физико-механических характеристик и одновременное повышение механических характеристик прочности и пластичности сварных соединений разнородных металлов.

Реализация работы. Результаты работы в виде опытно-промышленной проверки разработанных способов контактной стыковой сварки сопротивлением и устройств внедрены на Московском заводе АТЗ-2, а также на предприятиях Новомосковского монтажного управления "Монтажная защита", треста "Кинешмастрой" строительно-монтажного управления № 3, Ростовского хозрасчётного строительного управления МЖКстрой, Ростовского завода монтажных заготовок треста "КЖ-техмонтаж", на экспериментально-опытном заводе РХТУ им. Д.И. Менделеева, и на Московских предприятиях МНПП "Агроинформатика" и МП "Металлика Лтд.Ко".

Апробация работы. Основные результаты работы были доложены и обсуждены: на научно-технической конференции МХТИ им. Д.И. Менделеева (г. Москва, апрель 1969 г.), на III научно-технической конференции Калужского филиала МВТУ им. Н.Э. Баумана и Калужского турбинного завода (г. Калуга, май 1973 г.), на четвёртом заседании Межинститутского семинара по молекулярной физике в МОПИ им. Н.К. Крупской (г. Москва, июнь 1976 г.), на Всесоюзной научно-технической конференции "Износостойкость машин" в Брянском технологическом институте (г. Брянск, апрель 1991 г.).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 14 работ, включая 6 авторских свидетельств на изобретения.

Структура и объём работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, общих выводов, списка литературы и приложений. Она изложена на 265 страницах машинописного текста, содержит 111 рисунков и 15 таблиц. Список литературы включает 74 наименования.

На защиту выносятся:

основы физической модели механизма воздействия внешних магнитных полей на дисперсность структуры, её упорядочение и текстуру металлов и сплавов, определяющих физико-механические и физико-химические характеристики сварных соединений однородных и разнородных металлов и сплавов;

Разработанные способы и устройства для контактной стыковой сварки сопротивлением с воздействием внешних магнитных полей и практические рекомендации по эффективному использованию их для сварки однородных и разнородных металлов и сплавов:

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность решаемой проблемы, сформулированы цель и задачи исследований диссертационной работы, а также научные положения, которые выносятся на защиту.

Глава I посвящена обзору предшествующих работ по рассматриваемой проблеме и постановке задачи исследований.

Анализ литературных источников показывает, что наиболее полно вопросы воздействия магнитных полей на металлы и сплавы при термо- и термомеханической обработке изучен в работах М.А.Кривоглаза, В.Д.Садовского, М.Л.Бернштейна, В.Н.Пустовойта, Э.И.Эстрина, В.Бассета, Р.А.Адамеску, И.П.Кудрявцева, Г.И.Граник, А.С.Ермоленко, А.З.Меньшикова, П.А.Малинена и др., из которых следует, что магнитное поле способно: расширять область существования ферритной фазы ферромагнитных сплавов; изменять в сторону повышения температуру $\gamma \rightarrow \alpha$ фазовых переходов и одновременно воздействовать на кинетику этих превращений; изменять температуру упорядочения ферромагнитных сплавов; измельчать зерно ферритной фазы; создавать текстуру ферритной фазы при $\gamma \rightarrow \alpha$ превращении и изменять текстуру рекристаллизации ферромагнитных сплавов.

Эффект термомагнитной обработки может быть сведен к созданию преимущественной ориентации частиц и изменению как кристаллической, так и дислокационной структуры, с которыми связаны многие физико-химические и физико-механические свойства металлов и сплавов. При этом действие магнитного поля при термообработке наиболее эффективно проявляется при температурах ниже точки Кюри. Максимальный эффект достигается при охлаждении металлов и сплавов от температуры точки Кюри до комнатной и более низких температур.

Анализ металлургических работ по влиянию на структуру и текстуру железоуглеродистых сплавов на примере сталей различных классов убедительно показывает, что использование воздействия внешних магнитных полей является достаточно тонким и гибким инструментом повышения качества металлов и сплавов, в частности, повышения их физико-механических характеристик и коррозионной стойкости.

Успешное применение воздействия внешних магнитных полей на расплав сварочной ванны при сварке плавлением для повышения качества сварных соединений осуществлено в работах целого ряда отечественных и зарубежных исследователей (С.Л.Маңдельберг, И.М.Ковалёв, А.И.Акулов, В.П.Черныш, А.Войсельберг, В.Кюнчер и др.).

В результате проведенного анализа предшествующих исследований по использованию влияния внешних магнитных полей при термо- и термомеханической обработке и при сварке плавлением металлов и сплавов в принципе позволяет сделать предположение, что внешние магнитные поля могут быть эффективно использованы и для улучшения качества металла зоны стыка сварных соединений, выполненных контактной стыковой сваркой сопротивлением.

Выбор указанных пар металлов и сплавов обусловлен тем, что низкоуглеродистая сталь, никель и вольфрам широко используются в различных отраслях народного хозяйства (в строительной индустрии, химической, электротехнической промышленности и др.). В научном плане выбор приведенных сочетаний свариваемых металлов и сплавов обусловлен и тем, что они имеют различные знаки магнитострикции (у стали он положительный, у никеля - отрицательный, у вольфрама он равен нулю). Кроме того, выбор соединения сталь-вольфрам связан с тем, что в плоскости стыка при этом теоретически возможно возникновение структуры стали с включением интерметаллида железа с вольфрамом, охрупчивающей сварное соединение и вызывающей увеличение разброса его механических характеристик.

Исходя из этого сформулированы научные задачи диссертационной работы применительно к контактной стыковой сварке сопротивлением:

- разработать основы физической модели механизма воздействия ВМП на физико-механические и физико-химические свойства металла зоны стыка сварных стыковых соединений исследуемых однородных и разнородных металлов и сплавов;

- исследовать влияние постоянного и переменного промышленной частоты (50 Гц) ВМП на физико-механические и физико-химические характеристики металла зоны стыка сварных соединений рассматриваемых однородных и разнородных металлов и сплавов в широком диапазоне индукций поля;

- установить оптимальный диапазон и оптимальную индукцию ВМП, обеспечивающую при сварке максимально возможный положительный эффект.

Глава 2 посвящена экспериментальным установкам и методике исследования влияния магнитных полей на физико-механические и физико-химические характеристики сварных соединений при контактной стыковой сварке сопротивлением.

Сварку образцов сталь-сталь, сталь-никель и сталь-вольфрам осуществляли на сварочной установке МТ-1213.

Магнитная обработка свариваемого стыка к моменту включения сварочного тока обеспечивалась с помощью предназначенного для этого электромагнитного устройства. Сварка образцов выполнялась при оптимальных значениях параметров режима сварки в широком диапазоне индукций внешнего постоянного и переменного промышленной частоты (50 Гц) магнитного поля. В процессе механических испытаний по ГОСТ 6996-66 образцы, подвергнутые при сварке воздействию магнитного поля,

изготавливались в виде гагаринских образцов с проточкой с таким расчётом, чтобы плоскость сваренного стыка находилась в месте шейки фигурной проточки, предопределяющей разрушение образцов по плоскости сваренного стыка. При этом для каждого образца записывали диаграмму растяжения, по которой определяли механические характеристики прочности и пластичности. Проводились также механические испытания сварных соединений на ударную вязкость и на микротвёрдость методом Виккерса.

Механические испытания образцов сварных соединений сталь-вольфрам, изготовленных в виде контактов прерывателей системы зажигания автотракторного электрооборудования, производили на гидравлическом прессе со специальными приставками для испытаний на растяжение и на срез.

Перед механическими испытаниями сварных соединений сталь-сталь измеряли удельное электрическое сопротивление металла зоны сварки методом двойного моста.

Параллельно с металлографическими исследованиями сварных соединений сталь-сталь, сталь-никель и сталь-вольфрам на макро- и микроструктуру и электронномикроскопическими исследованиями на электронном микроскопе Tesla BS-242E сварных соединений сталь-сталь, полученных при воздействии переменного магнитного поля промышленной частоты, осуществляли также на дифрактометре УРС-50ИМ рентгеноструктурный анализ металла в плоскости стыка этих стальных сварных соединений.

Глава 3 посвящена изучению влияния магнитного поля на физико-механические и физико-химические характеристики сварных соединений однородных и разнородных металлов и сплавов.

Как показывают проведенные исследования, изменения физико-механических характеристик металла зоны стыка сварных соединений сталь-сталь, сталь-никель и сталь-вольфрам являются периодическими функциями индукции магнитного поля. Они содержат последовательно повторяющиеся с определённой частотой максимумы, которые представляют наибольший технический интерес с точки зрения повышения качества сварных соединений, поскольку в них достигается одновременное повышение показателей прочности, пластичности и коррозионной стойкости (Рис. I).

Изучение влияния внешних магнитных полей на характеристики прочности и пластичности сварных соединений сталь-сталь и сталь-никель, полученных контактной стыковой сваркой сопротивлением, производилось на стали Ст. 3 и никеле NI, содержащем 99,68% никеля, а на механические характеристики прочности соединений сталь-вольфрам - на стали IO и вольфраме, содержащем 99,95% вольфрама.

В случае сварных соединений сталь-сталь максимумы характеристик для постоянного и переменного магнитных полей практически совпадают. При этом первый и второй максимумы заключены соответственно в диапазонах индукций $0,15 \pm 0,20$ Тл и $0,45 \pm 0,50$ Тл, а минимуму соответствует диапазон индукций $0,30 \pm 0,35$ Тл.

Как показали механические испытания на растяжение сварных соединений сталь-сталь, в диапазонах индукций, соответствующих максимумам механических характеристик, наблюдается возрастание показателей прочности: σ_B на 20%, $\sigma_{пц}$, σ_T^I , σ_T на 30% и S_k на 60% при одновременном возрастании показателей пластичности: δ и Ψ на 30%, а δ_{max} на 90% по сравнению со сварными соединениями, полученными в отсутствие воздействия магнитного поля (при $B = 0$ Тл). При этом оказалось, что максимальные значения механических характеристик этих сварных соединений даже превышают значения механических характеристик основного металла.

Аналогичные механические характеристики прочности и пластичности сварных соединений сталь-никель также одновременно возрастают в диапазоне индукций поля, который практически полностью совпадает с первым диапазоном индукций магнитного поля для сварных соединений сталь-сталь, однако одновременное возрастание механических характеристик прочности и пластичности соединений сталь-никель было менее значительным, чем соединений сталь-сталь.

Микротвёрдость Нм металла сварных соединений сталь-сталь в первом и во втором диапазонах индукций возрастает до 30%, а в диапазоне минимальных механических характеристик снижается до 40%

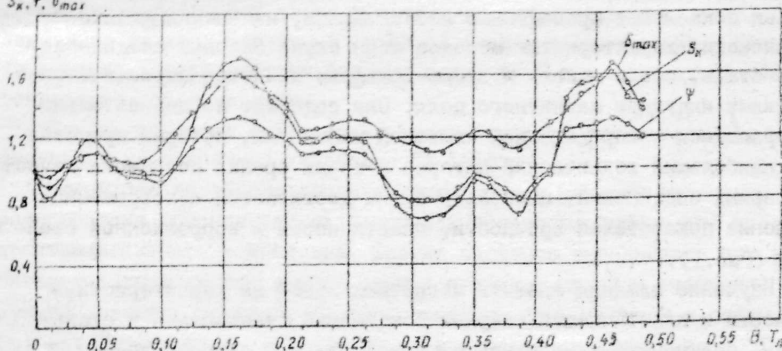


Рис. 1. Зависимости S_H^* , ψ^* и δ_{max}^* сварных соединений сталь — сталь от индукции переменного магнитного поля, отнесенных к соответствующим значениям в отсутствие поля

по сравнению с соединениями при $B = 0$ Тл. Одновременно максимумам механических характеристик соответствует также и превышение микротвёрдости металла сварных соединений над микротвёрдостью основного металла.

Полученные зависимости микротвёрдости металла сварных соединений от индукции внешнего магнитного поля позволяют качественно судить о всех механических характеристиках прочности и пластичности не только в плоскости стыка, по которой осуществляли разрушение сварных соединений, но и в любом сечении их зоны термического влияния.

Вместе с тем, как оказалось, коррозионная стойкость сварных соединений из низкоуглеродистой стали, выраженная скоростью их коррозии в агрессивных средах, также является периодической функцией магнитной индукции как постоянного, так и переменного магнитного поля. При этом в диапазонах индукций магнитного поля с максимальными механическими характеристиками максимумам коррозионной стойкости сварных соединений, установленной при различных длительностях, травимости в агрессивных средах, соответствует повышение коррозионной стойкости в дистиллированной воде, в 10% растворе серной кислоты и в 20% растворе азотной кислоты соответственно в 2 раза, на 10% и на 20%.

В случае же сварных соединений сталь-вольфрам при переменном магнитном поле максимумы и минимумы следуют друг за другом с боль-

шей частотой, чем для сварных соединений сталь-сталь. При этом диапазоны индукций с максимальными характеристиками заключены в пределах $0,09 \pm 0,12$ Тл и $0,16 \pm 0,19$ Тл.

В этих диапазонах индукций предел прочности на растяжение σ_B возрастает более чем на 25%, а предел прочности на срез $\sigma_{ср}$ на 35% по сравнению с соединениями, полученными при отсутствии внешнего магнитного поля.

Однако для практического использования следует отдать предпочтение первому, оптимальному, диапазону индукции $0,15 \pm 0,20$ Тл и соответственно оптимальному значению индукция, равному 1625 Гс /слабое магнитное поле/, поскольку тот же положительный эффект достигается в этом случае при втрое меньшем токе возбуждения и в 9 раз меньшей мощности, потребляемой устройством для магнитной обработки, и соответственно меньших его габаритных размерах и массе, чем во втором максимальном диапазоне индукций /при сильном магнитном поле/. При этом также следует отдать предпочтение более технологичному переменному магнитному полю промышленной частоты перед постоянным МП, обеспечивающему простоту устройства для магнитной обработки и использование более простого типового электрооборудования.

В главе 4 изложены результаты металлографических исследований структуры металла сварных соединений, полученных при контактной стыковой сварке сопротивлением в магнитных полях.

Металлографическими исследованиями сварных соединений сталь-сталь установлено, что в максимальных диапазонах индукций постоянного и переменного магнитных полей возникают ориентированные поперёк плоскости сварного стыка мелкодисперсные зёрна перлита с более тонкой сеткой феррита, нежели при отсутствии воздействия магнитного поля. При этом внутри зёрен перлита также отмечена ориентация пластинок феррита и цементита в направлении ориентации перлитных зёрен. При индукции магнитного поля, соответствующей минимальным механическим характеристикам, структура металла зоны стыка сварных соединений идентична структуре металла соединений, полученных в отсутствие воздействия магнитного поля. Причём тенденции к ориентации структуры металла зоны стыка сварных соединений более чётко прослеживаются при воздействии переменного магнитного поля.

Электронномикроскопические исследования структуры металла шва стальных сварных соединений подтверждают результаты микроанализа в части ориентации фаз феррита и цементита и повышения дисперсности феррито-цементитной смеси металла зоны стыка, полученного с использованием воздействия магнитных полей.

Взаимно перпендикулярная ориентация в диапазонах индукций магнитных полей с максимальными характеристиками структура металла стальной и никелевой частей сварного соединения связана со взаимно перпендикулярными направлениями лёгкого намагничивания стали и никеля в условиях их осевого сжатия и одновременного поперечного намагничивания.

Кроме того, в диапазонах индукций с максимальными характеристиками наблюдается уменьшение толщины ферритной прослойки в зоне сплавления стали с никелем по сравнению с соединениями при $B = 0$ Тл.

Глава 5 посвящена рентгеноструктурным исследованиям упорядочения структуры металла сварных соединений, полученных при контактной стыковой сварке сопротивлением в магнитных полях.

Рентгеноструктурные исследования упорядочения структуры металла зоны стыка сварных соединений сталь-сталь позволили более глубоко оценить текстурные и структурные изменения металла, выявленные металлографическими исследованиями. При этом упорядочение структуры металла зоны стыка, связанное с направленным упорядочением атомов, оценивалось безразмерной величиной упорядочения $K = h/v$ структуры, где h — высота дифракционного рентгеновского максимума, v — полуширина дифракционного рентгеновского максимума. Кроме того,

упорядочение структуры металла зоны стыка сварных соединений в диапазонах индукций с максимальными характеристиками превышало упорядочение основного металла. Аналогичные результаты получены и для никелевой части сварных соединений сталь-никель.

В соответствии с поставленными важными задачами и полученными результатами исследований, свидетельствующими о периодичности изменения свойств металла сварных соединений, предпринята попытка объяснить эту периодичность на основе гармонического анализа. При этом анализу были подвергнуты наиболее ярко выраженные периодические зависимости S_k , Ψ и $\delta_{\max}$ сварных соединений сталь-сталь в функции индукции внешнего постоянного и переменного /50 Гц/ магнитного поля.

В связи с этим можно предположить, что физико-химические и физико-механические свойства металла сварных соединений, связанные с магнитной индукцией внешнего магнитного поля периодической зависимостью, самым непосредственным образом определяются степенью упорядочения структуры этих соединений, главный вклад в которое вносит упорядочение в плоскостях $\{110\}$ и $\{200\}$ кристаллической обобщённо-центрированной решётки α -железа.

Статистические оценки с использованием известных методов по критерию Стьюдента подтвердили, что наблюдаемые экстремумы существенно /значимо/ отличаются от свойств соединений при $B = 0$ Тл. Неравенство при одностороннем критерии соблюдается для всех исследуемых характеристик прочности и пластичности сварных соединений во всех диапазонах индукции магнитных полей. При уровне значимости 0,01 разницу между выборочными средними значениями механических характеристик сварных соединений, выполненных при отсутствии воздействия магнитного поля и при его воздействии, нужно считать значимой с вероятностью 0,99.

Анализ показывает, что в результате взаимодействия поля сварочного тока с ВМП на свариваемый стык воздействуют знакопеременные силы (с частотой 50 Гц при постоянном и 100 Гц при переменном ВМП), а так же высшие гармонические составляющие магнитного поля, обусловленные магнитным гистерезисом, вызывающие в кристаллитах вихревые токи, взаимодействующие с полем сварочного тока и ВМП, предопределяющие возникновение соответствующих магнитных моментов. При благоприятном сочетании составляющих проявляемых силовых воздействий периодически возникают резонансные явления, вызывающие в процессе деформации кристаллографическую переориентацию зерен металла относительно усилия сжатия, обеспечивающую максимальное проявление магнитопластического эффекта и эффекта Ребиндера, связанного с поверхностными явлениями, в сочетании с упругой магнитострикционной деформацией.

На основании проведенных комплексных исследований физико-механических и физико-химических свойств металла зоны стыка сварных соединений модель механизма эффективного воздействия на них ВМП при контактной стыковой сварке сопротивлением представляется следующим образом. Намагничивание образцов свариваемых ферромагнитных материалов на стадии сжатия сварочного цикла предопределяет их более высокую степень пластической деформации на последующей стадии нагрева, обусловленную повышением технологической пластичности этих материалов при реализации магнитопластического эффекта. При этом в результате магнитострикционного взаимодействия границ доменов с дислокациями ускоряется скорость перемещения, а следовательно, аннигиляция и их выход на межзеренные границы, а также достигается переориентация элементарных кубических решеток α -железа. Это и приводит к возрастанию величины и скорости осадки свариваемых образцов, что и предопределяет в плоскости свариваемого стыка более полную адгезию металлов ввиду улучшения в нём условий образования металлической связи и разрушения разупрочненной ферритной прослойки при одновременном более полном удалении из него окисленного металла.

На последней стадии сварочного цикла — проковке достигается получение в зоне стыка не только мелкодисперсной и сориентированной поперёк плоскости стыка /вдоль направления лёгкого намагничивания сварного соединения в условиях его одновременного продольного сжатия и поперечного намагничивания/, но и упорядоченной структуры стальной части соединения вследствие переориентации элементарных решёток α -железа и направленного упорядочения в них атомов внедрения углерода. В итоге, в плоскости сваренного стыка возникают кристаллиты металла с меньшим количеством дислокаций, а следовательно, и с более правильным кристаллическим строением.

По аналогичной модели достигаются изменения структуры и текстуры металла в никелевой части сварных соединений сталь-никель.

В конечном итоге, в металле зоны стыка сварных соединений /однородных и разнородных/ металлов достигаются интегральные изменения, при которых создаются упорядоченные по составу и кристаллографическим ориентировкам атомные построения. Последние обуславливают торможение движущихся через них дислокаций вследствие затраты части их энергии на совершение процесса упорядочения-разупорядочения, что и приводит к одновременному повышению показателей прочности и пластичности исследуемых соединений в целом.

В приложении приводятся таблицы с экспериментальными данными физико-механических и физико-химических характеристик, упорядочения структуры металлов зоны стыка соединений однородных и разнородных металлов и сплавов.

В приложении приведены также акты внедрения результатов исследований по диссертационной работе.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

I. Экспериментально установлено что ВМП с магнитной индукцией до 0,60 Тл, воздействующее на металл в зоне стыка при контактной стыковой сварке с сопротивлением соединений сталь-сталь, сталь-никель и сталь-вольфрам в интервале температур от начала до конца аустенитно-ферритного превращения в низкоуглеродистых сталях приводит к изменению характеристик прочности и пластичности этих соединений, которые имеют периодический характер от интенсивности магнитного поля. При этом эффективность воздействия поля тем значительнее, чем выше температура магнитного превращения свариваемого металла.

2. Рентгеноструктурными исследованиями показано, что периодическое изменение механических характеристик рассматриваемых сварных соединений при воздействии ВМП определяется соответствующим ему периодическим изменением упорядочения структуры металла зоны стыка по плоскостям кристаллической решётки, характеризуемого величинами индексов Миллера, отражающими деформационную способность решётки обработанного магнитным полем металла.

3. Экспериментально установлено, что при воздействии ВМП на металл зоны стыка в течение всего цикла сварки, вплоть до его остывания, в процессе контактной стыковой сварки сопротивлением в диапазонах индукций 0,15–0,20 Тл и 0,40–0,50 Тл удаётся повысить одновременно показатели прочности и пластичности металла зоны сварного стыка до уровня основного металла, наряду со значительным повышением его коррозионной стойкости. Так, для указанных диапазонов индукций при сварке соединений сталь–сталь, сталь–никель и сталь–вольфрам удаётся повысить механические характеристики прочности и пластичности, в частности, для соединения сталь–сталь $\sigma_{\text{в}}$, $\sigma_{\text{пц}}$, $\sigma_{\text{т}}$, $\sigma_{\text{т}}$ и δ_k соответственно на 20%, 30%, 30%, 30% и 60% и δ , ψ и $\delta_{\text{мах}}$ соответственно на 30%, 30% и 90%, а коррозионная стойкость соединений в агрессивных средах при этом возрастает на 20÷25%.

4. Металлографическими и электронномикроскопическими исследованиями установлено, что в результате воздействия ВМП при сварке происходит измельчение структуры и текстурирование зёрен металла зоны стыка относительно направления магнитного поля. При этом в стальной части соединения возрастает дисперсность фаз феррита и цементита и происходит их ориентация, так же как и зёрен перлита, поперёк стыка сварного соединения при одновременном возрастании упорядочения структуры металла, установленного рентгеноструктурными исследованиями, что и обуславливает одновременное повышение прочности, пластичности, коррозионной стойкости и снижение удельного электрического сопротивления металла зоны стыка.

5. Разработаны основы физической модели механизма воздействия ВМП на структуру и текстуру ферромагнитных металлов зоны стыка сварных соединений при контактной стыковой сварке сопротивлением, представляющей собой интегральный результат ряда физических процессов: магнитоупругого эффекта на стадии нагрева, обусловленного магнитоупругим взаимодействием границ доменов с дислокациями, и эффекта изменения структуры и текстуры металла зоны стыка под воздействием ВМП на стадии проковки и охлаждения.

6. Разработана эффективная технология контактной стыковой сварки сопротивлением соединений исследуемых однородных и разнородных металлов на базе низкоуглеродистых сталей при воздействии ВМП с индукцией в оптимальном диапазоне 0,15-0,20 Тл, действующего в течение всего цикла сварки на всех трёх стадиях - сжатия, нагрева и проковки, вплоть до остывания сварного соединения до температуры 100-200°C. При этом показано, что для обработки металла зоны сварного стыка целесообразно рекомендовать наиболее доступное для практического использования переменное магнитное поле промышленной частоты /50 Гц/ с оптимальной индукцией 0,1625 Тл, при котором обеспечивается наибольшая простота, доступность, компактность и низкая стоимость устройства для создания магнитного поля, а расход электроэнергии не превышает 1,5% от общего количества энергии, потребляемой на процесс сварки.

7. Показано, что предложенная технология сварки с использованием ВМП позволяет простыми и доступными средствами обеспечить возможность эффективного одновременного повышения показателей прочности, пластичности и коррозионной стойкости металла зоны стыка до уровня и выше уровня основного металла и уменьшение снижения уровня показателей пластичности при отрицательных температурах при контактной стыковой сварке сопротивлением арматуры из низкоуглеродистых сталей, что весьма актуально, в частности, для железобетонных строительно-дорожных конструкций, особенно работающих в условиях переменных нагрузок и отрицательных температур. Это позволяет существенно повысить качество /надёжность и долговечность/ этих сварных соединений и таким образом исключить возможность их разрушения по месту сварки. При этом расчёт сварных соединений существенно упрощается, поскольку он может быть осуществлён исходя из показателей прочности и пластичности основного металла.

8. В ходе проведенных исследований разработаны новые технические решения на способы и устройства контактной стыковой сварки с использованием ВМП, признанные Госкомизобретений СССР изобретениями, на которые получено 6 авторских свидетельств/ на 3 способа сварки и на 3 устройства/.

Экономический эффект, достигнутый за счёт повышения качества сварных соединений в процессе внедрения разработанных технических решений, составляет 6,078 тыс.руб. в год на одну установку при уровне цен до 02.04.91 г.

По результатам выполненных исследований опубликовано 14 печатных работ.

Основное содержание диссертации отражено в работах:

1. Сварка контактов распределителей системы зажигания авто-тракторного электрооборудования /Б.А.Кузьмин, Н.М.Челноков, В.А.Заварзин, В.Г.Рекус // Сварочное производство.- 1969.- № 8.- С. 27-28.

2. Влияние внешнего магнитного поля на прочность и пластичность соединения при контактной стыковой сварке однородных и разнородных металлов /Б.А.Кузьмин, П.П.Пугачевич, В.Г.Рекус, Н.М.Челноков и др. // Сварочное производство.- 1971.- № 9.- С. 6-7.

3. Сварка контактов распределителей системы зажигания авто-тракторного электрооборудования /Б.А.Кузьмин, Н.М.Челноков, В.А.Заварзин, В.Г.Рекус // Новое в процессах горячей обработки металлов : Сб. ВЗМИ.- М.: Машиностроение, 1971.- С. 75-81.

4. Рекус В.Г., Коблов В.С. О возможности повышения статической прочности стали в условиях понижения температур воздействием магнитного поля // Тр. МХТИ.- 1973.- Вып. 77.- С. 348-355.

5. Рекус В.Г., Быков А.Н. Электронномикроскопическое исследование швов сварных соединений, полученных при воздействии внешнего магнитного поля // Тр. МХТИ. - 1974. - Вып. 78. - С. 252-254.

6. О периодическом характере изменения физико-химических и физико-механических свойств веществ при воздействии внешних магнитных полей / В.Г.Рекус, П.П.Пугачевич, А.П.Исаев и др. //

//Деп. рук. ВИНТИ. - 1988. - Деп. 04.07.88. - № 5381-В88. - 33 с.

7. К вопросу о коррозионной стойкости металлов и сплавов при термомагнитной обработке / В.Г.Рекус, П.П.Пугачевич, А.П.Исаев и др. //Деп.рук. ВИНТИ. - 1988. - Деп. 04.07.88. - № 5382-В88. - 17 с.

8. Рекус В.Г., Сулов А.А. Использование внешних магнитных полей для повышения долговечности деталей машин, оборудования и инструмента// Строительные и дорожные машины. - 1991. - № 1.- С.19.

9. А.с. СССР № 416195. Способ контактной стыковой сварки /В.Г.Рекус. // БИ. - 1974. - № 7.

Ю. А.с. СССР № 492558. Устройство для термомангнитной обработки сварных швов / В.Г.Рекус. // БИ. - 1975. - № 43.

II. А.с. СССР № 651140. Способ контактной стыковой сварки деталей сложного профиля в магнитном поле / В.Г.Рекус, Х.А.Мусаев

и др. // БИ. - 1977. - № II.

12. А.с. СССР № 580960. Способ контактной стыковой сварки / В.Г.Рекус, Г.Г.Рекус. // БИ. - 1977. - № 43.

13. А.с. СССР № 1706065. Устройство для измерения электрического сопротивления сварных образцов / В.Г.Рекус, М.Т.Чирков, А.П.Исаев и др. // Открытия, изобретения, ... - 1992. - № 2.

14. А.с. СССР № 1324797. Машина для контактной стыковой сварки / В.Г.Рекус, Н.М.Челюков, И.Н.Челюкова и др. // БИ. - 1987. - № 27.