М 336627

НА ДОМ НЕ ВЫДАЕТСЯ

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
СССР

М о с к о в с к о е
ордена Ленина и ордена Трудового Красного Знамени высшее
техническое училище имени Н.Э.Баумана

На правах рукописи

ДОРОНИН Юрий Викторович

ИССЛЕДОВАНИЕ ФОРМИРОВАНИЯ ШВА ПРИ ОДНОСТОРОННЕЙ СВАРКЕ СТЫКОВЫХ ШВОВ ПЛАВЯЩИМСЯ ЭЛЕКТРОДОМ НА ПОДКЛАДКАХ

(Специальность 05.04.05 – Технология и машины
сварочного производства)

Автореферат
диссертации на соискание ученой
степени кандидата технических
наук

Москва 1979

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ СССР

Московское
ордена Ленина и ордена Трудового Красного Знамени высшее техническое училище имени Н.Э.Баумана

На правах рукописи

ДОРОНИН Юрий Викторович

№ 336627 ф

ИССЛЕДОВАНИЕ ФОРМИРОВАНИЯ ШВА ПРИ ОДНОСТОРОННЕЙ СВАРКЕ СТЫКОВЫХ ШВОВ ПЛАВЯЩИМСЯ ЭЛЕКТРОДОМ НА ПОДКЛАДКАХ

(Специальность 05.04.05 – Технология и машины сварочного производства)

НТБ МГТУ им. Н.Э. Баумана
1336627
Доронин Ю.В. Исследование

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук

Москва 1979

Работа выполнена в Московском Высшем Техническом училище им.Н.Э.Баумана.

Научный руководитель: д.т.н., проф. АКУЛОВ А.И.

Официальные оппоненты: д.т.н., проф. МАЗЕЛЬ А.Г.

к.т.н., проф. БЛИНОВ А.Н.

Ведущее предприятие: ВНИКТИстальконструкция

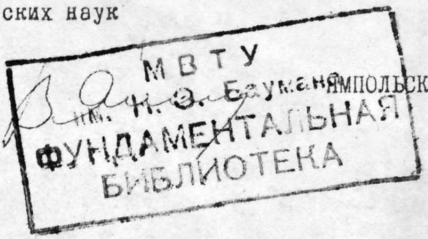
Защита диссертации состоится " " _____ 1979 г. на заседании специализированного Совета К053 I5.03 по технологии и машинам сварочного производства Московского ордена Трудового Красного Знамени высшего технического училища имени Н.Э.Баумана по адресу: Москва, I07005, 2-я Бауманская, д.5.

Ваши отзывы в 2-х экземплярах, заверенные печатью, просим высылать по указанному адресу.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Училища.

Автореферат разослан " " _____ 1979г.

УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ
специализированного совета
доктор технических наук



ЯМПОЛЬСКИЙ В.М.

Л-73505 от 20.II.79г. .Объем 1 п.л. Заказ 333 . Тир. 100
Типография МВТУ им.Баумана

Актуальность проблемы. В связи с высокими темпами роста тяжелой промышленности, судостроения, монтажных и специальных строительных работ особое значение приобретают вопросы односторонней сварки плавящимся электродом.

Анализ существующих способов сварки с двусторонним формированием шва показывает, что несмотря на высокую производительность и снижение трудоемкости процесса сварки, дальнейшее развитие и возможности способа ограничиваются ввиду значительного количества дефектов формирования обратной стороны шва, которые выявляются в виде натеков металла сварочной ванны по ширине обратного валика, неравномерности высоты усиления, вмятин и шлаковых включений в корне шва. В этой связи раскрытие процесса формирования обратной стороны шва с учетом гидродинамических явлений в сварочной ванне и влиянии на него физических свойств шлаковой ванны, является актуальной и технически сложной проблемой, решение которой способно обеспечить существенное повышение производительности труда при односторонней сварке и широкое внедрение в промышленность.

Целью работы явилась разработка флюсовых систем с оптимальными физическими свойствами в расплавленном состоянии с учетом гидродинамических явлений в сварочной ванне и создание на базе этих систем подкладных устройств, обеспечивающих качественное формирование обратной стороны шва при односторонней сварке плавящимся электродом.

Методы исследования. Основные задачи работы решались экспериментальными и расчетными методами с применением теории математического планирования эксперимента и теории пограничного слоя. Расчетным путем определены и экспериментально, с использованием физико-химических методов исследований подтверждены оптимальные физические свойства шлаковой ванны, в том числе: поверхностное натяжение, вязкость, плотность. Разработанные составы формирующих материалов получены на основе методов случайного баланса и Бокса-Уилсона.

Научная новизна состоит в обосновании нового подхода к выбору состава подкладочных сварочных материалов для формирования обратной стороны шва, заключающегося в том, что качественное формирование обратной стороны шва при односторонней сварке плавящимся электродом углеродистых и низколегированных сталей определяется не усилия-

ми поджатия подкладных устройств, а физическими свойствами шлаковой ванны на границе металл-шлак. При этом, на основе модели сварочной ванны с учетом гидродинамических явлений в пограничном слое металл-шлак доказано, что растекание металла сварочной ванны в зазоры между подкладкой и основным металлом предотвращается поверхностным натяжением шлака $\sigma_{п.н.ш.}$, равным 500÷600 $\frac{мдж}{м2}$, а образование вмятин и шлаковых включений - динамической вязкостью $\eta_{шл.}$, равной 8÷10 $\frac{н.сек}{м2}$. Данные физические свойства шлаковой ванны при температуре 1550-1700°С обеспечиваются системой окислов TiO_2-SiO_2-Al_2O_3

Практическая ценность. По результатам исследований разработаны сварочные материалы: керамический флюс, состав для формирования обратной стороны шва и гибкая подкладка для односторонней сварки плавящимся электродом, признанные изобретениями. Технология односторонней сварки на подкладках под флюсом и сварочные материалы внедрены при сварке мостовых конструкций в монтажных условиях. Разработанные сварочные материалы апробированы на предприятиях Минмонтажспецстроя и рекомендованы к внедрению.

Апробация работы. Основные материалы и результаты работы доложены и обсуждены на двух научно-технических семинарах. Диссертация заслушана и рекомендована к защите научно-техническим семинаром кафедры "Машины и автоматизация сварочных процессов" МВТУ им.Баумана (Москва,1977,1978г.)

Публикация. По теме диссертации опубликовано семь печатных работ.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав с выводами, общих выводов и библиографии. Работа изложена на 141 страницах, из них 98 страниц машинописного текста, 59 рисунков, 7 таблиц , 5 фигур.

Библиография содержит 60 наименований, в том числе 14 иностранных. Работа содержит приложение, в котором представлены акты промышленного внедрения и опробования результатов выполненной работы.

Содержание работы.

В первой главе дан анализ современного состояния односторонней сварки плавящимся электродом и перспектив развития исследований в области повышения качества формирования обратной стороны сварного шва. Выявлению причин образования дефектов формирования

посвящены работы Емельянова И.Л., Еремеева Г.А. (СССР), Чадбэнда и Уайли (Великобритания), а также Накаяма и Хашимото (Япония), которые указали на влияние физических свойств подкладочных флюсов и технологических параметров режима сварки, на качество формирования обратной стороны шва. Однако, в этих работах не раскрыт механизм формирования обратной стороны шва и отсутствуют полные количественные данные о физических свойствах шлаковой ванны при взаимодействии с жидким металлом в диапазоне температур 1550÷1700°С. Анализ состояния вопроса по рассматриваемой проблеме позволил установить, что развитие односторонней сварки плавящимся электродом в настоящее время идет в следующих направлениях: сварка на медных и флюсомедных подкладках, сварка на флюсовой подушке, сварка на малогабаритных, переносных жестких и гибких подкладках. Первые три способа характеризуются высокими усилиями поджатия формирующих устройств к обратной стороне свариваемых листов, достигающих 4-8 т, необходимых для предотвращения вытекания жидкого металла сварочной ванны в зазоры между подкладкой и основным металлом. Однако, несмотря на столь высокие значения усилий поджатия, дефекты типа макронатеков по ширине обратного валика шва являются наиболее значительными. Более того, при этих способах сварки наблюдается значительная зашлаковка корня шва и образование характерных вмятин.

Два последних способа характеризуются невысокими усилиями поджатия, до 1 кг/см^2, однако, гарантируют качественное формирование обратной стороны шва без макронатеков, вмятин, шлаковых включений. Из работы Г.А.Еремеева видно, что при сварке на флюсовой подушке, отсутствует прямая связь между усилием поджатия в пневмошланге поджимающего устройства и давлением флюсовой подушки на обратную сторону сварочной ванны при сквозном проплавлении. Эти данные свидетельствуют о том, что при плавлении подкладочного флюса, усилия поджатия не будут влиять на размеры шлаковой и сварочной ванн с обратной стороны, даже если они в сотни раз превышают усилия со стороны дуги, а возможность образования макронатеков, вмятин и шлаковых включений зависит от физических свойств шлаковой ванны в диапазоне температур 1550-1700°С. Наиболее важными свойствами шлака влияющими на формообразование сварного шва являются поверхностное натяжение, вязкость, плотность, температура плавления.

Анализ технологии односторонней сварки показал существенное влияние параметров режима сварки и подготовки кромок на размеры обратного валика шва и необходимость комплексного подхода к решению проблемы формирования, путем разработки передовой технологии односторонней сварки и создания новых сварочных материалов с оптимальными физическими свойствами.

Во второй главе изложена методика исследования процесса формирования обратной стороны шва при односторонней сварке на подкладках. На основе анализа механизма образования макронатеков металла сварочной ванны предложена схема формирования обратного валика шва, которая позволила установить, что растекание металла по поверхности шлаковой ванны определяется нарушением равновесия между силами, действующими со стороны дуги, и поверхностными силами шлаковой ванны подкладки. Равновесие сил можно выразить уравнением:

$$P_{д.} + P_{г.ст.} + P_{ц.б.} = P_{п.н.м.} + P_{п.н.ш.} + P_{адг.} \qquad (I)$$

где: $P_{д.}$ – давление дуги;

$P_{г.ст.}$ – гидростатическое давление жидкого металла;

$P_{ц.б.}$ – давление, возникающее при движении потоков жидкого металла сварочной ванны из головной в хвостовую часть;

$P_{п.н.м.}$ – давление силы поверхностного натяжения верхнего зеркала сварочной ванны;

$P_{п.н.ш.}$ – давление силы поверхностного натяжения шлака в зазоре между подкладкой и основным металлом;

$P_{адг.}$ – давление сил адгезии в зазоре между жидким шлаком и основным металлом.

Аналитический расчет сил правой части уравнения (I) показал, что активно противодействовать силам, действующим со стороны дуги, может только $\sigma_{п.н.ш.}$ при коэффициенте поверхностного натяжения $\sigma_{п.н.ш.}$ не менее 500 $\frac{мдж}{м^2}$. Применяемые в настоящее время в качестве подкладочных флюсы АН-348, ОСЦ-45, АН-60 в диапазоне температур 1550-1700°С имеют $\sigma_{п.н.ш.}$ около 250-300 $\frac{мдж}{м^2}$ и активно противодействовать силам, действующим со стороны дуги не могут. Поэтому растекание жидкого металла сварочной ванны в зазоры между подкладкой и основным металлом и появление макронатеков по ширине обратного валика неизбежно.

Не менее важной характеристикой физического состояния шлаковой ванны является динамическая вязкость в указанном диапазоне температур. Разработка гидродинамической схемы формирования обратной стороны шва показала, что вязкость шлаковой ванны при движении жидкого металла из головной в хвостовую часть и взаимодействии пограничных слоев металла и шлака оказывает влияние на появление шлаковых включений и газовых полостей - вмятин в корне шва.

Используя положение теории пограничного слоя, а именно течение двух несмешивающихся жидкостей в тонкой щели под действием градиента давления на основании граничных условий:

1. $X=0;\ V_z^{шл'}=V_z^{c'};$

2. $X=-b_{шл};\ V_z'=0;$

3. $X=b_c;\ V_z''=V_c;$

получили распределение скоростей в слое шлака, и металла в зависимости от вязкостей шлакового слоя

$$V_z^{шл}=-\frac{(P_0-P_L)x^2}{2\eta_{шл}L}-\frac{\frac{P_0-P_L}{2L}\left(\frac{b_{шл}^2}{\eta_{шл}}-\frac{b_c^2}{\eta_c}\right)-V_c}{\eta_{шл}\left(\frac{b_c}{\eta_c}+\frac{b_{шл}}{\eta_{шл}}\right)}x+\frac{(P_0-P_L)b_{шл}^2}{2\eta_{шл}L}-\frac{\frac{P_0-P_L}{2L}\left(\frac{b_{шл}^2}{\eta_{шл}}-\frac{b_c^2}{\eta_c}\right)-V_c}{\frac{b_c}{\eta_c}+\frac{b_{шл}}{\eta_{шл}}}\cdot\frac{b_{шл}}{\eta_{шл}} \quad (2)$$

$$V_z^{c}=\frac{(P_0-P_L)x^2}{2\eta_c L}-\frac{\frac{P_0-P_L}{2L}\left(\frac{b_{шл}^2}{\eta_{шл}}-\frac{b_c^2}{\eta_c}\right)-V_c}{\eta_c\left(\frac{b_c}{\eta_c}+\frac{b_{шл}}{\eta_{шл}}\right)}+\frac{(P_0-P_L)b_{шл}^2}{2\eta_{шл}L}-\frac{\frac{P_0-P_L}{2L}\left(\frac{b_{шл}^2}{\eta_{шл}}-\frac{b_c^2}{\eta_c}\right)-V_c}{\frac{b_c}{\eta_c}+\frac{b_{шл}}{\eta_{шл}}}\cdot\frac{b_{шл}}{\eta_{шл}} \quad (3)$$

Интегрируя $V_z^{шл}$ по толщине слоя, мы получим среднюю скорость движения слоя шлака при различных значениях вязкости:

$\eta_{шл}=0{,}2\ \frac{н.сек}{м2}$, $V_{1ср}^{шл}=18$ см/сек;

$\eta_{шл}=2\ \frac{н.сек}{м2}$, $V_{2ср}^{шл}=2{,}4$см/сек;

$\eta_{шл}=10\ \frac{н.сек}{м2}$, $V_{3ср}^{шл}=0{,}12$см/сек;

Таким образом, при вязкости шлакового слоя, равной $10\ \frac{н.сек}{м2}$, граница соприкосновения металлического и шлакового слоя будет минимальной (Рис.1), шлак будет практически оставаться на месте, не совершая движения из головной в хвостовую часть ванны. Скорость обоих слоев будет такова, что она не приведет к отрыву от стенки кристаллизующего металла и шлака и образованию вмятин и шлаковых включений. Применяемые ныне в качестве подкладочных сва-

рочные флюсы АН-348, ОСЦ-45, АН-60 в диапазоне температур 1550--1770° имеют вязкость 0,1÷0,2 $\frac{н.сек}{м2}$ и обеспечить отсутствие шлаковых включений и вмятин в корне шва не могут.

Оценивая полученные данные, можно сделать вывод, что актуальность проблемы заключается в создании таких сварочных материалов: флюсов, керамических, гибких подкладок, шихтовых составов, физические свойства которых в диапазоне температур 1550--1700°С, имели бы вышеуказанные значения по поверхностному натяжению, вязкости и температуре плавления, а именно:

$T_{пл}$ =1500-1520°С, $\sigma_{пов.}$ =550÷600 $\frac{мдж}{м2}$, $\eta_{шл}$ =8-10$\frac{н.сек}{м2}$

В третьей главе изложена методика разработки составов подкладочных материалов для формирования обратной стороны шва и экспериментальное подтверждение их физических свойств, обеспечивающих качественное формирование. В качестве шихтовых материалов использовались отечественные сварочные материалы: кислые и основные окислы, соли, ферросплавы, металлические порошки, связующие материалы из органических и неорганических веществ. Для определения оптимального состава использовались методы математического планирования: случайного баланса и Бокса-Уилсона.

Из ряда компонентов, применяемых для изготовления подкладок, были выбраны соединения, наиболее активно влияющие на качество формирования обратного валика шва. К ним относятся: SiO_2. TiO_2 Al_2O_3, MgO, MnO - тугоплавкие шлакообразующие компоненты с хорошими формирующими свойствами. Температура плавления тройной системы SiO_2-TiO_2-Al_2O_3 в зависимости от содержания компонентов колеблется от 1600 до 2000°С. CaF_2 - компонент, при плавлении обеспечивающий значительное количество шлака $FeSi$ - раскислитель. Для оценки качества формирования был использован метод экспертных оценок, учитывающий стабильность размеров обратного валика шва, чистоту поверхности, отделимость шлаковой корки, плавность перехода к основному металлу. Образцом для сравнения служил внешний вид обратного валика шва, полученного при сварке на флюсомедной подкладке с использованием тонко измельченного гетерогенного флюса. Была составлена матрица планирования эксперимента из пяти факторов, каждый из которых варьировался на двух уровнях (таблица I). Движение по градиенту показало, что наиболее значимыми компонентами

являются кислые окислы TiO_2 -40% и SiO_2 - 18,5%. Остальные компоненты выбираются в следующем процентном содержании: CaF_2 =25%, FeSi =15%, Al_2O_3 -1,5%.

Экспериментальная проверка поверхностного натяжения, вязкости и температуры плавления показала правильность выбранной схемы формирования и хорошую сходимость с данными физических свойств, полученных аналитическим путем. Так, коэффициент поверхностного натяжения $\sigma_{п.н.}$ шлака равен 500÷650 $\frac{мдж}{м2}$, динамическая вязкость $\zeta_{шл.}$=8÷10 $\frac{н.сек}{м2}$, температура плавления 1520°С.

Анализируя полученные данные, необходимо отметить, что оптимальное формирование обратной стороны шва обеспечивается не только этой группой компонентов. Различные сочетания шихтовых материалов, используемых при создании флюсов, электродов, паст, могут также удовлетворительно формировать обратную сторону шва. Но при этом должны обязательно соблюдаться условия обеспечения физических свойств шлаковой ванны в диапазоне температур 1550-1700°С. Примером тому служит использование готовых стеклотканей алюмо-боро-силикатного и кремнеземного составов, которые качественно формируют обратную сторону шва при односторонней сварке, имея отличный от разработанного состава комплекс окислов, солей, ферросплавов, но обязательно имеющие необходимые физические свойства.

<u>В четвертой главе</u> на базе полученных сварочных материалов и на основе исследований физических свойств подкладочных материалов разработаны конструкции гибких подкладных лент и керамических подкладок для формирования обратной стороны шва. Гибкие подкладные ленты рекомендуется использовать при сварке криволинейных стыков: труб, резервуаров, котлов, обечаек. Керамические подкладки более целесообразны при сварке прямолинейных стыковых соединений из углеродистой и низколегированной стали повышенной толщины (до 20 мм). В качестве конструктивных элементов использовались шихтовые материалы, стеклоткани Al-B-Si - состава, Si - ткани ячеистой и сплошной конструкции толщиной 0,1÷5 мм, органические смолы.

Разработка технологии сварки показала, что из параметров режима сварки, наибольшим образом влияющих на размеры обратного валика шва, можно назвать $V_{св.}I_{д}$, величину зазора в стыке. Оп-

тимизация режима сварки и конструктивных параметров подготовки кромок проводилась при помощи методов латинского и греко-латинского квадратов.

Анализ влияния параметров режима сварки и конструктивных факторов подготовки кромок на геометрию обратного валика шва выделил две особенности.

Первая особенность состоит в том, что сравнение изменения размеров обратного валика при сварке на флюсовой подушке в зависимости от параметров режима сварки, а также при сварке на флюсомедной подкладке с использованием флюсов АН-348, ОСЦ-45 с изменением размеров обратного валика при сварке на подкладках в равных диапазонах режима показало, что при сварке на подкладках, изменение размеров менее интенсивно. Так, при увеличении $I_{св}$ от 600 до 800А, высота обратного валика увеличилась при $V_{св}$ =30м/час от I2 мм до I,7 мм; при сварке на флюсомедной подкладке в том же диапазоне режимов высота обратного валика выросла от I,5 до 3,5мм, т.е. в 4 раза больше. При сварке под флюсом на подкладке при увеличении зазора в стыке от I мм до 5 мм, ширина обратного валика шва увеличивается от II до I4 мм; при сварке на флюсовой подушке с использованием флюса АН-348, ширина обратного валика увеличивается от I2 до I8 мм, в аналогичном диапазоне режимов.

Очевидно, физические свойства шлаковой ванны оказывают стабилизирующее воздействие на металл сварочной ванны, локализуя его в гораздо меньших размерах, нежели это происходит при сварке на флюсовой подушке и флюсомедной подкладке, где в качестве формирующих флюсов используются легкоплавкие, жидкотекучие флюсы АН-348, ОСЦ-45, АН-60.

Вторая особенность состоит в том, что ввод в сварочную ванну сторонних сварочных материалов - флюсов, шихты порошковых проволок, покрытия электродов изменяют размеры обратной стороны шва в пределах допусков; по ширине обратного валика: $\pm$I мм; по высоте обратного валика: $\pm$0,5 мм.

При исследовании прочностных характеристик образцов, сваренных односторонней сваркой, необходимо учитывать связь между формой обратного валика и общей прочностью конструкции. Для проверки влияния физических свойств шлака на угол и радиус перехода усиления к основному металлу была решена статическая задача, показываю-

щая, что угол перехода зависит от равновесия сил в сварочной ванне, выражаемого уравнением:

$$P_б = \frac{б \frac{d^2y}{dx}}{\sqrt{\left[1+\left(\frac{dx}{dy}\right)^2\right]^3}}, \qquad (4)$$

Решение уравнения (4) показывает, что увеличение поверхностного натяжения на границе металл-шлак приведет к увеличению угла перехода и к улучшению прочностных характеристик сварного соединения.

Разработанные сварочные материалы обеспечивают почти двукратное увеличение $б_{п.ш.}$ по сравнению с флюсами АН-348, ОСЦ-45, АН-60 и будут способствовать повышению усталостной прочности сварных конструкций.

Измерение радиуса перехода и расчет коэффициента формы шва "$\alpha_{ф.}$" показали, что "$\alpha_{ф.}$" =I,2÷I,4 и соответствует высокому качеству формы обратного валика шва при сварке под флюсом, порошковой проволокой, в CO_2 и покрытыми электродами.

Проверка механических свойств соединений и металлографические исследования показали высокую прочность сварного шва, отсутствие шлаковых включений, вмятин, пор, трещин.

Разработанные материалы успешно прошли опытно-промышленные испытания на предприятиях Минмонтажспецстроя и Минтрансстроя. Качество формы обратной стороны шва удовлетворяет ТУ, предъявленным к этому типу швов.

В Ы В О Д Ы

I. Основными дефектами обратной стороны шва при односторонней сварке углеродистых и низколегированных сталей являются макронатеки металла сварочной ванны, вытекающего в зазоры между подкладкой и основным металлом и вмятины и шлаковые включения, образующиеся при взаимодействии пограничных слоев металла сварочной ванны и шлака подкладки.

2. Расчетное моделирование процесса растекания жидкого металла по расплавленному шлаку показало, что появление макронатеков определяется нарушением равновесия между силами, действующими со стороны дуги и поверхностными силами шлаковой ванны подкладки. На основе исследования гидродинамических явлений, возникающих при движении двухфазного пограничного слоя вязкой жидкости, доказано, что появление вмятин и шлаковых включений определяется ростом длины границы контакта и увеличением скорости движения металлической и

и шлаковой фаз.

3. Анализ механизма взаимодействия пограничных слоев расплавленного металла и шлака позволил выявить перспективность применения подкладок, обеспечивающих качественное формирование обратной стороны шва не за счет поджатия, а путем выбора физических свойств шлаковой ванны на границе металл – шлак.

4. Аналитический расчет уравнения равновесия сил определяющих двухфазное течение слоя металл – шлак и экспериментальные исследования позволили установить, что качественное формирование обратной стороны шва обеспечивается поверхностным натяжением расплавленного шлака, заполняющего зазоры между подкладкой и основным металлом. При этом, для предупреждения вытекания металла в зазоры, коэффициент поверхностного натяжения жидкого шлака в диапазоне температур 1550–1700°С должен быть не менее 500 мдж/м^2.

5. Количественный анализ скоростей ламинарного течения двух несмешивающихся жидкостей в условиях взаимодействия суммарного давления со стороны дуги и внутренних сил трения показал, что отсутствие вмятин и шлаковых включений достигается увеличением вязкости шлакового слоя до 8÷10 Н.с/м^2 в диапазоне температур 1550–1700°С и снижением длины границы контакта двухфазного слоя металл – шлак до 0,12 см.

6. При односторонней сварке углеродистых и низколегированных сталей плавящимся электродом, сварочные материалы – электроды, флюсы, порошковые проволоки – не оказывают существенного влияния на изменение физических свойств шлака подкладки и геометрические размеры обратной стороны шва в следующем диапазоне режимов сварки:

а) при сварке под флюсом: по току 600–850 А, по напряжению 34÷42 В, по скорости сварки 20÷60 м/час;

б) при сварке порошковой проволокой: по току 600–900 А, по напряжению 34÷42 В, по скорости сварки 15÷45 м/час;

в) при сварке в CO_2: по току 250–400 А, по напряжению 34÷40 В, по скорости сварки 15÷60 м/час.

7. Формы и размеры обратной стороны шва зависят от поверхностного давления шлака подкладки. Угол перехода усиления шва к основному металлу и коэффициент формы шва $\alpha\varphi$ удовлетворяют условиям работы сварных конструкций из углеродистых и низколегированных сталей.

8. Составы и конструкция гибкой подкладной ленты признаны изобретениями и прошли опытно-промышленные испытания на предприя-

тиях Минмонтажспецстроя и Минтрансстроя. Технология односторонней сварки на подкладках и разработанные сварочные материалы внедрены при сварке мостовых конструкций в монтажных условиях. Ожидаемый экономический эффект составит до 1,5 рубля на погонный метр.

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах:

1. Акулов А.И., Чернышов Г.Г., Доронин Ю.В. Разработка составов самотвердеющих и керамических подкладок для односторонней сварки плавящимся электродом. Материалы П Всесоюзной научно-технической конференции "Прогрессивные методы сварки в тяжелом машиностроении и наплавки в черной металлургии". Жданов, 1977г. с.97-98.

2. Акулов А.И., Сыроваткин А.А., Доронин Ю.В. О выборе состава подкладки при односторонней сварке порошковой проволокой. Исследование новых методов сварки в процессе монтажа резервуаров. Труды ВНИИМСС. 1977г., выпуск №20, с.63-68.

3. Влияние гидродинамических явлений в сварочной ванне на формирование стыковых швов при сварке плавящимся электродом. Известия вузов., 1978г., №8, с.135-139. Авт.: Акулов А.И., Чернышов Г.Г., Доронин Ю.В. и др.

4. Особенности односторонней сварки на керамических подкладках. Монтажные и специальные работы в строительстве. 1978г., №6, Авт.: Доронин Ю.В., Чернышов Г.Г., Акулов А.И.

5. Подкладка для формирования обратной стороны шва при односторонней сварке плавлением. Положительное решение по заявке № 2553465/27 от 20.06.78г. Авт.: Акулов А.И., Чернышов Г.Г., Доронин Ю.В. и др.

6. Состав подкладки для односторонней сварки. АВт.свид.СССР, кл.В23 К 37/06, №625885 заявл.5.04.77г., опубл.10.20.78г. Авт.: Акулов А.И., Чернышов Г.Г., Доронин Ю.В. и др.

7. Состав подкладки для формирования обратной стороны сварочного шва. Авт.свид.СССР кл.В23 К 37/06, №631294 заявл. 10.01.77г. опубл.12.11.78г. Авт.: Акулов А.И., Доронин Ю.В., Чернышов Г.Г. и др.

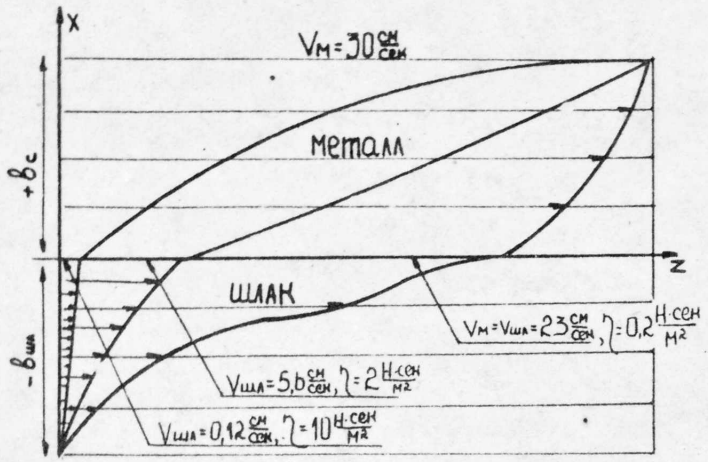


Рис.I. Распределение скоростей в металле и шлаке при различных значениях вязкости и скоростей движения.

Таблица I. Матрица планирования эксперимента методом Бокса-Уилсона.

Исследуемые факторы			SiO_2	CaF_2	FeSi	TiO_2	Al_2O_3	$У_ф$
		X_0	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	
Основной уровень			30	25	15	10	10	
Интервал варьирования			±5	±5	±5	±10	±2	
	1	+	−	−	−	−	−	2,6
	2	+	+	−	−	+	+	2,3
	3	+	−	+	−	+	+	2,3
	4	+	+	+	−	−	−	3
	5	+	−	−	+	+	+	4
	6	+	+	−	+	−	−	2,3
	7	+	−	+	+	+	−	3,6
	8	+	+	+	+	−	+	2,3

Ю.Дорин-