

масштабных уровня – практически равносные образования, размеры которых изменяются в пределах 300 – 400 нм, и образования, размеры которых изменяются в пределах 50 – 100 нм. Темнопольный анализ с последующим индицированием микроэлектронограмм позволяет утверждать, что образования субмикронных размеров являются зернами  $\alpha$ -железа, образования на нанометрового масштабного уровня являются частицами оксида железа  $Fe_2O_3$  и оксикарбида железа  $FeCO_3$ . Следовательно, формирование и распространение трещин при эксплуатации валка сопровождается проникновением в объем материала кислорода.

**Выходы.** Выполненные исследования дают основание заключить, что структура канала распространения трещины многофазна и сформирована блоками (фрагментами)  $\alpha$ -фазы (твердый раствор на основе ОЦК кристаллической решетки железа), имеющими субмикронные размеры. По границам блоков железа располагаются частицы оксидов и оксикарбидов железа, средние размеры которых изменяются в наномасштабном диапазоне.

Выражаем благодарность Е.Г. Белову и В.Я. Чинокалову за помощь в проведении промышленных испытаний.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Структурно-фазовые состояния и свойства упрочненных стального проката и чугунных валков / В.Е. Громов, О.Ю. Ефимов,

- В.Б. Костерев и др. – Новокузнецк: Изд-во «Интер-Кузбасс», 2011. – 205 с.
- Плазменное упрочнение высокоуглеродистых сплавов: физическая природа и технология / О.Ю. Ефимов, А.Б. Юрьев, В.Е. Громов и др. – Новокузнецк: Изд-во «НПК», 2009. – 223 с.
- Ефимов О.Ю. Структурно-фазовые состояния и технологии производства упрочненной стальной арматуры и чугунных валков. – Новокузнецк: Изд-во «НПК», 2008. – 300 с.
- Юрьев А.Б., Ефимов О.Ю., Чинокалов В.Я. и др. // Сталь. 2005. № 6. С. 89 – 91.
- Ефимов О.Ю., Иванов Ю.Ф., Юрьев А.Б. и др. // Проблемы черной металлургии и материаловедения. 2009. № 1. С. 101 – 108.
- Белов Е.Г., Ефимов О.Ю., Юрьев А.Б. и др. // Проблемы черной металлургии и материаловедения. 2010. № 2. С. 37 – 45.
- Юрьев А.Б., Ефимов О.Ю., Иванов Ю.Ф. и др. // Физическая мезомеханика. 2006. Т. 9. № 2. С. 97 – 105.
- Электронная микроскопия тонких кристаллов / П. Хирш, А. Хови, Р. Николсон и др. – М.: Мир, 1968. – 574 с.
- Энгеле Л., Клингеле Г. Растворная электронная микроскопия. Разрушение. – М.: Металлургия, 1986. – 232 с.
- Вудраф Д., Делчар Т. Современные методы исследования поверхности / Пер. с англ. – М.: Мир, 1989. – 564 с.
- Металлография железа / Н. Лямбер, Т. Греди, Л. Хабракен и др. – М.: Металлургия, 1985. – 248 с.
- Электронная микроскопия в металловедении / А.В. Смирнова, Г.А. Коクリн, С.М. Полонская и др. – М.: Металлургия, 1985. – 192 с.

© 2012 г. В.Е. Громов, Ю.Ф. Иванов, О.Ю. Ефимов,

Г. Танз, В.Я. Целлермаер

Поступила 1 сентября 2011 г.

УДК 621.791

**С.Б. Сапожков<sup>1</sup>, Н.А. Козырев<sup>2</sup>, П.Д. Соколов<sup>2</sup>,  
В.В. Ерастов<sup>2</sup>, Э.Я. Живаго<sup>2</sup>,**

<sup>1</sup>Юргинский технологический институт – филиал Томского политехнического университета

<sup>2</sup>Сибирский государственный индустриальный университет

## ПОКРЫТИЯ ДЛЯ ЗАЩИТЫ ПОВЕРХНОСТИ ИЗДЕЛИЙ ПРИ СВАРКЕ В СРЕДЕ УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА

В настоящее время широко распространена ручная дуговая сварка в защитном газе. Существенным недостатком сварки в среде углекислого газа является повышенное разбрзгивание металла и связанное с ним набрызгивание на поверхности свариваемых изделий, сборочно-сварочных приспособлений и деталей сварочной аппаратуры, что приводит к увеличению трудоемкости операций очистки этих поверхностей от брызг расплавленного металла на 30 – 40 %, увеличению расхода виброинструмента и энергии. Забрызгивание газоподводящего сопла горелки ухудшает защиту зоны сварки и приводит к образованию пор в металле шва, вызывает дополнительный нагрев деталей сварочных горелок, что сопровождается преждевременным выходом из строя сопел, изоляционных втулок и токоподводящих нако-

нечников. Основными направлениями борьбы с этими негативными явлениями являются выбор оптимальных режимов сварки в углекислом газе, при которых разбрзгивание минимальное; создание систем, обеспечивающих управление переносом электродного металла; разработка сварочных материалов, стабилизирующих горение дуги и влияющих на перенос электродного металла; использование различных смесей газов.

Еще одно направление борьбы с негативными явлениями – предотвращение последствий разбрзгивания (набрызгивания). Уменьшение набрызгивания обеспечивается тем, что поверхность металла, подлежащего сварке, покрывается защитным слоем в виде раствора веществ (защитным покрытием), высыхающим до сварки и препятствующим прилипанию брызг к основному металлу.

Проведенные рядом исследователей работы показали, что мелкие брызги размером приблизительно 0,02 мм вылетают из зоны сварки со скоростью примерно 40 м/с, угол между направлением их полета и перпендикуляром к поверхности свариваемой детали обычно не превышает 25°. Для более крупных (диам. более 1 мм) брызг характерны меньшая скорость и больший угол разлета. Контактное взаимодействие капли с поверхностью свариваемого изделия протекает в три стадии: 1 – образование физического контакта, т.е. сближение атомов контактирующих поверхностей до расстояния физического или слабого химического взаимодействия; 2 – активация контактных поверхностей (образование активных центров); 3 – объемное взаимодействие. Во время третьей стадии взаимодействия происходят как в плоскости контакта с образованием прочных химических связей, так и в объеме зоны контакта. Этот процесс протекает на активных центрах, представляющих собой поля упругих искажений решетки, в частном случае дефекты структуры (дислокации, вакансии и т.д.) и заканчивается слиянием дискретных очагов взаимодействия. Критерием окончания третьей стадии при взаимодействии капли расплавленного металла с поверхностью свариваемого изделия служит рекристаллизация, приводящая к образованию общих зерен в зоне контакта. Высокая (до 40 м/с и выше) скорость капли приводит к возникновению в зоне контакта высокого давления, при этом температура капли в момент вылета из дугового промежутка достигает 2500 °C.

Высокие температура и давление являются движущими силами физико-химического взаимодействия, ведущего к прочному сплавлению капли и поверхности свариваемых изделий. На прочность сцепления влияют интенсивность процесса теплоотвода, температуры в зоне контакта и поверхности, ударное давление в момент контакта, наличие оксидов на поверхности, шероховатость поверхности. В ряде случаев в зоне контакта повышается микротвердость, что свидетельствует о необратимых структурных изменениях, которые в условиях работы изделия под нагрузкой могут привести к образованию микротрещин и в конечном итоге к разрушению изделия.

В целом используемые в настоящее время защитные покрытия представляют собой смесь компонентов: наполнителя и связующего. В качестве наполнителя используются различные вещества, которые и определяют защитные свойства покрытия. В качестве связующего используются вода, жидкое стекло и различные крема, масла и растворители.

По характеру связующих покрытия условно можно разделить на три группы: покрытия на основе водного раствора (*I*) и на основе жидкого стекла (*II*), лакокрасочные покрытия с использованием различных растворителей (*III*).

Экономическая эффективность применения защитных покрытий определяется стоимостью и дефицит-

ностью применяемых для приготовления компонентов и их защитными свойствами (чем больше сцепление брызг с поверхностью свариваемого изделия, тем хуже защитные свойства покрытия).

Немаловажным является влияние покрытий на потери металла на угар и разбрзгивание, а также влияние покрытий на изменение механических свойств и химический состав металла сварного шва. Все покрытия влияют на стабильность процесса сварки и характер переноса электродного металла. Это влияние отрицательное: уменьшается частота коротких замыканий, увеличивается размер капель, что, в свою очередь, снижает стабильность процесса сварки и увеличивает разбрзгивание капель жидкого металла. Особенно существенное влияние оказывают покрытия на основе жидкого стекла (интенсивность разбрзгивания наибольшая). Покрытия на основе водных растворов не оказывают значительного влияния на стабильность процесса сварки.

На основании проведенных ранее исследований защитных покрытий [1] можно сделать некоторые выводы о применении покрытий, по составу сходных с исследованными.

По-видимому, покрытия группы *I*, содержащие более 50 % воды, будут отрицательно влиять на качество сварного шва; при длительном хранении изделия с насыщенным покрытием появляется ржавчина. Наиболее широкое распространение в промышленности получили защитные покрытия на основе водных растворов мела и каолина, а также сульфитно-спиртовой барды, в отдельных случаях применяют противопригарные смазки. Перечисленные выше защитные покрытия, как установлено практикой, недостаточно полно защищают поверхность металла от брызг, особенно в случае выполнения многопроходной сварки. К существенным недостаткам известных защитных покрытий относится то, что большинство из них наносят на обрабатываемую поверхность кистью. Это затрудняет получение равномерного защитного слоя, а также требует предварительного просушивания этих покрытий перед сваркой в течение длительного времени.

Результаты исследования влияния различных составов покрытий на эффективность защиты от брызг металла при механизированной сварке в углекислом газе показали, что как отечественные, так и зарубежные препараты на основе кремнийорганических соединений по эффективности защиты в два – три раза превосходят водные растворы мела, каолина и сульфитно-спиртовой барды.

Покрытия на основе водных растворов, по-видимому, могут стать дополнительным источником водорода в металле шва. При определенных условиях этот избыток водорода может способствовать появлению в сварном соединении трещин замедленного разрушения. Наиболее вредное влияние оказывает избыток водорода при сварке углеродистых низколегированных сталей, когда

металл шва или окколошовной зоны имеет закалочную структуру [2]. Увеличение концентрации водорода в шве увеличивает и склонность стали к образованию холодных трещин, пор и других дефектов в металле шва, снижается сопротивление металла замедленному разрушению.

Прочностные и пластические свойства и химический состав металла шва с защитным покрытием и без него практически не зависят от состояния поверхности свариваемых кромок. Обобщение результатов механических испытаний и химического анализа свидетельствует о допустимости попадания защитных покрытий на свариваемые кромки, однако расплавленный металл дополнительно насыщается газами.

Покрытия группы II трудно наносятся и быстро высыхают, поэтому наносить их на детали необходимо сразу же после приготовления, что в условиях производства крайне неудобно. Образуемая ими пленка прочная и плотная, имеет относительно большую толщину. Брызги (особенно мелкие) ввариваются в пленку и остаются на поверхности, которую приходится очищать. Пленка этих покрытий удаляется очень трудно, поэтому лучше всего использовать их в тех случаях, когда детали после сварки проходят дробеструйную или пескоструйную обработку.

Составляющие компоненты покрытия группы III образуют при растворении не эмульсию, а скорее суспензию, поэтому для нанесения покрытия на поверхность свариваемого изделия необходимо постоянное перемешивание раствора. При сварке непосредственно после нанесения покрытия оно воспламеняется из-за наличия легковоспламеняющегося компонента растворителя. Некоторые покрытия (например, на основе органических соединений) выделяют специфический неприятный запах при сварке, что резко ограничивает область их применения. Отдельные виды покрытий при попадании в зону сварки ухудшают процесс, влияют на химический состав металла шва и ухудшают механические свойства сварных соединений. После высыхания на поверхности свариваемого изделия образуется тонкая, но очень непрочная пленка, которая осыпается при ударе по образцу металлическим предметом. Естественно, транспортировать такие детали перед сваркой нельзя.

При применении силиконового крема он воспламеняется при сварке и при сгорании образуется непрочная пленка, которая слабо защищает поверхность от брызг. При сварке с силиконовым покрытием появляется специфический запах, затрудняющий в ряде случаев проведение работ.

Следует отметить, что ряд защитных покрытий группы III, содержащих в составе легковоспламеняющиеся компоненты, вредны при применении, концергенные. При приготовлении покрытий, в состав которых входит алюминий (в виде алюминиевой пудры, алюмосиликатов и т.д.), необходима хорошая вентиляция, так

как алюминиевая пудра легко разносится и отрицательно влияет на здоровье человека.

Исходя из вышеописанных технологических и экономических предпосылок, предложено новое защитное покрытие на основе сульфитно-спиртовой барды, кальцинированной соды и термостойкого наполнителя – сапропеля<sup>1</sup>. Как связующее в защитном покрытии используется сульфитно-спиртовая барда (вводится в состав покрытия в виде водного раствора), в качестве поверхностно-активного вещества – кальцинированная сода (вводится в состав покрытия в виде порошка) и в качестве термостойкого вещества – сапропель, содержащий соли кальция, магния, железа, цинка, селена, марганца, коллоидные компоненты алюминия, кремния, лигнина, целлюлозы. На основе проведенного многофакторного эксперимента по влиянию различных компонентов на технологические и физико-механические характеристики защитного покрытия получен оптимальный состав: 1 литр воды, 140 г сульфитно-спиртовой барды, 50 г кальцинированной соды; 210 г сапропеля.

Предлагаемое защитное покрытие не влияет на механические свойства и химический состав сварного соединения.

Химический состав сварных соединений, выполненных с новым защитным покрытием толщиной 30 мкм (числитель) и 2 мм (знаменатель), приведены ниже:

Содержание, %, элемента							
C	Mn	Si	Cr	Ni	Cu	S	P
0,12 0,12	1,16 1,17	0,61 0,61	0,23 0,28	0,23 0,29	0,19 0,21	0,017 0,017	0,021 0,200

Предел текучести ( $\sigma_t$ ), предел прочности ( $\sigma_b$ ), пластичность ( $\delta$ ), относительное удлинение ( $\psi$ ), ударная вязкость ( $a_h$ ), угол загиба ( $\gamma$ ) сварных соединений, выполненных с предлагаемым покрытием различной толщины, приведены в таблице.

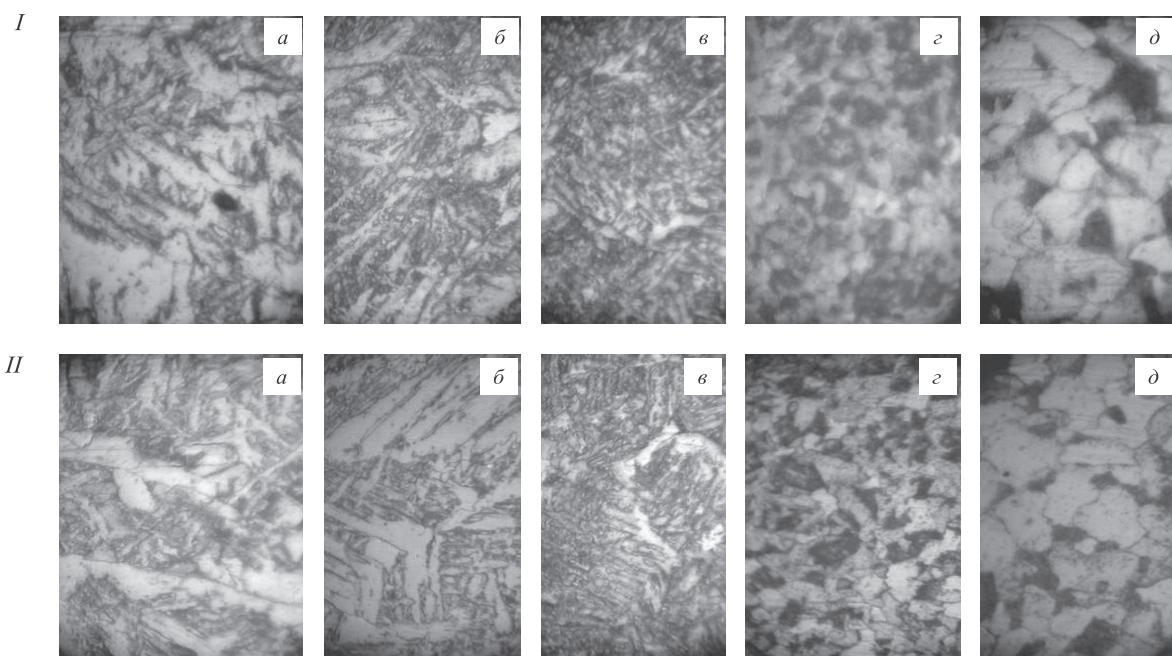
Микроструктура (см. рисунок) по сечению образцов при использовании покрытий различной толщины идентична и представляет собой: мелкозернистую феррито-перлитную смесь (основной металл); феррито-перлитную смесь различной дисперсности (зона термического влияния сварного соединения); дендритную феррито-перлитную смесь (наплавленный металл).

Исследования свойств предлагаемого покрытия показали, что оно обеспечивает хорошую смачиваемость поверхности свариваемых изделий. Такое покрытие легко наносится на поверхность свариваемых изделий, не осыпается при транспортировке, легко удаляется после сварки металлической щеткой. Компоненты, входящие в состав покрытия, не дефицитны, имеют небольшую стоимость. Технология приготовления нового

<sup>1</sup> Пат. № 2252120 РФ.

**Механические характеристики сварных соединений стали 10ХСНД, выполненных с новым защитным покрытием**

Толщина покрытия	$\sigma_t$ , МПа	$\sigma_b$ , МПа	$\delta$ , %	$\Psi$ , %	$a_h$ , Дж/см <sup>2</sup> , при температуре		$\gamma$ , град	Место разрыва
					+20 °C	-20 °C		
30 мкм	435	610	16,5	56	105	38	180	по основному металлу
	455	610	15,0	55	100	46	180	
	455	610	20,0	64	93	23	180	
2 мм	435	610	16,5	56	73	60	180	по основному металлу
	440	610	16,5	58	80	50	180	
	435	610	16,5	61	80	70	180	

Микроструктура,  $\times 300$ , образца с новым покрытием толщиной 30 мкм (I) и 2 мм (II):

*a* – основной металл сварного соединения; *б, в, г* – зона термического влияния сварного соединения; *д* – наплавленный металл

покрытия проста и не требует специальных навыков и дорогих устройств.

Опытно-промышленное опробование покрытия показало, что его использование исключает трудозатраты, связанные с зачисткой поверхности изделия от сварочных брызг; не влияет на механические свойства и химический состав сварного соединения, при этом не наблюдается выделения вредных веществ, превышающего предельно-допустимые нормы.

В настоящее время это защитное покрытие внедрено при производстве металлоконструкций в условиях ОАО «Юргинский машиностроительный завод», ОАО «Металлургмонтаж», ЗАО «Сибтензоприбор», ООО «РТИ-Сибирь», на заводе Горно-шахтного оборудования ООО «ПО ЮРМАШ». Экономический эффект в зависимости от сложности металлоконструкций составляет около 34 руб./т металлоизделия.

**Выводы.** Проведена классификация покрытий, используемых для защиты поверхности свариваемых изделий от брызг при сварке в среде углекислого газа. Рассмотрены отличительные особенности покрытий на основе водного раствора, жидкого стекла и лакокрасочных составляющих в сочетании с различными растворителями. Разработано новое защитное покрытие на основе сульфитно-спиртовой барды, кальцинированной соды и сапропеля.

**БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Федько В.Т., Сапожков С.Б. // Сварочное производство. 1997. № 2. С. 29 – 33.
2. Ильяшенко Д.Е., Сапожков С.Б. // Новые промышленные технологии. 2009. № 5. С. 25 – 27.

© 2012 г. С.Б. Сапожков, Н.А. Козырев, П.Д. Соколов  
Поступила 2 июня 2011 г.