

6. Еремин Е.Н. Применение наночастиц тугоплавких соединений для повышения качества сварных соединений из жаропрочных сплавов. // Омский научный вестник. – 2009. – №3. – с. 63 – 67.
7. Жеребцов С. А. Применение наноматериалов и высокотемпературной обработки никельхромовых сплавов при электрошлаковом литье: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. – Новокузнецк, 2006. – 22 с.

### **ПРИМЕНЕНИЕ НАНОМАТЕРИАЛОВ, ПРИ РУЧНОЙ ДУГОВОЙ СВАРКЕ ПОКРЫТЫМИ ЭЛЕКТРОДАМИ**

*Ю.С. Александрова, М.С. Зубков, студент группы 10А42,  
научный руководитель: Зернин Е.А., к.т.н, доцент*

*Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского  
Томского политехнического университета  
652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26*

В 1924-1935 гг. использовали электрод с тонким меловым покрытием в ручной дуговой сварке. Были изготовлены первые советские котлы, под руководством Волошина В.П. сварку плавлением начали применять также и в кораблестроении. Через 4 года стали использовать покрытые электроды со стержнем из легированной стали, это получило широкое распространение в строительстве. В 40-х гг. XX века разработали сварку под флюсом, что повысило производительность процесса сварки плавлением и качество неразъемных соединений. В начале 50-х годов прошлого столетия в Институте электросварки им Е.О. Патона, для изготовления массивных изделий из заготовок, полученных литьем и ковкой, был создан процесс электрошлаковой сварки [1].

Дуговая сварка покрытым электродом - это процесс получения неразъемного соединения посредством получения межзатомных связей. Этот способ выполняется в ручную плавящимися электродами (стальные, алюминиевые и др.), на поверхности которых имеется специальное покрытие. Изготовление электродов производится с помощью порошкообразных смесей разнообразных компонентов и наносится на поверхность стержня в виде затвердевающего густка. Его наносят с целью повышения устойчивости горения дуги, улучшение качества сварки. Образование сварного шва происходит за счет плавления металла свариваемых кромок и расплавления покрытого штучного электрода [1].

Для производства современных и качественных электродов необходимо усовершенствование технологии изготовления электродов, применяемых материалов и повышение корпоративной культуры. Процесс создания сварочных электродов заключается в необходимой и качественной обработке всех компонентов, присутствующих в составе покрытия, введения определенного количества химических элементов и соединений, изготовлении однородной, сухой и мокрой смеси, нанесении конкретного слоя этой смеси на стержни, сушки и прокатке готовых электродов [2]. Материалы для покрытия, проходят следующую обработку: необходимое количество веществ, размол, просев, дробление, сухое смешивание сухой шихты с жидким стеклом, рубку проволоки на стержни, нанесение на стержни, покрытия, сушку и прокатку электродов. Электроды очень чувствительны даже к незначительным нарушениям технологического процесса. Операции для обработки материалов следует выполнять тщательно параметры, хорошо перемешивать замесы. Количество замесов должна быть, как можно меньше, по возможности, в виду того, что такая смесь храниться малое количество времени. Ввод нанодисперсных, металлических и не металлических, порошков в расплав стали, способности который существенно отличаются от способностей микропорошков и макropорошков, того же химического состава, способствует улучшению металла и перераспределению вредных примесей. При этом уменьшается размер зерен, благодаря этому повышаются такие свойства как предел текучести, предел прочности, увеличивается пластичность, снижается коэффициент трения [3].

Одним из способов повышения эффективности ручной дуговой сварки является применение наноматериалов для изготовления штучных покрытых электродов. В исследованиях [3] Соколова Г.Н., Лысака И.В и др. по модифицированию структуры наплавленного слоя металла наноструктурированными карбидами вольфрама. Материалом для транспортировки частиц карбида вольфрама служил нанодисперсный порошок никеля (99.9 % Ni) с размером частиц 50 – 80 мкм. По итогам получали никелевые гранулы, внутри которых находилось около 30 масс.% нанокарбидов. Смесью из таких гранул со связующим калий-натриевым жидким стеклом покрывали тонким слоем защитное покрытие электродов. Для эксперимента были использованы электроды марок ОК 43.32 – электроды

рутилового типа, предназначенные для сварки низкоуглеродистых сталей (ESAB Group Limited) и UTP 67 S – электроды основного типа, применяемые при наплавке износостойкого сплава (UTP Sweissmaterial GmbH). Данные электроды обеспечивают химический состав наплавленного металла (масс. %) С – 0.07; Si – 0.4; Mn – 0.5 и С – 0.5; Cr – 9.0; Si – 3.0; Mn – 0.5, соответственно, железо – основа, а примеси – остальное. Также на поверхности стержней диаметром 2 мм было нанесено покрытие, содержащее никелекарбидные гранулы. Стержни были из проволоки марки Св-06Х19Н9Т. В ходе эксперимента производили наплавку на пластины из стали 20. Структура наплавленного металла покрытыми электродами марки ОК 43.32, в первоначальном виде представляет собой феррито-перлитную смесь (рисунок № 4). Добавление никеля и нанокарбидов вольфрама приводит к изменению структуры металла в модифицированный субдисперсный твердый раствор на основе  $\alpha$ -Fe с присутствием остаточного аустенита, расположенного по границам зерен. Количество неметаллических включений, имевших прежде произвольные очертания и неравномерно распределенных в металле, уменьшилось на 15-20 %. Оставшиеся неметаллические включения расположены более равномерно и находятся в глобулярной форме. Данный вид структуры металла должен влиять на повышение его пластических свойств и надежности в условиях низких температур и повторяющегося нагружения. В ходе исследования структуры металла, который наплавка которого производилась электродом UTP 67 S с легирующим покрытием, было установлено, что существенных изменений его структуры и твердости не произошло. Такой эффект можно объяснить особенностями малоизученных и сложных процессов диффузии углерода, протекающих в металле, при наличии в нем наночастиц карбидов. Для более эффективного воздействия на структуру слоя наплавленного металла представляет интерес создание электродов и проволок с нанодисперсными частицами других тугоплавких материалов.

В работе [4] С.О. Гордина, А.Н. Смирнова и В.Л. Князькова, с целью повысить износостойкость наплавленного покрытия, работающего в условиях абразивного износа, в состав электродного покрытия (электроды марки Т-590), содержащего феррохром, ферробор, мрамор, ферросилиций, плавиковый шпат, ферромарганец, графит, поташ дополнительно введен нанопорошок карбонитрида титана в количестве 2.0%. В процессе изготовления электродов был добавлен порошок, в покрытие, карбонитрида титана с размером частиц от 60 до 200 нм. Покрытие наносилось на стержни диаметром 4.0 мм из стали марки Св-08А. Полученный состав покрытия обеспечивал повышение пластичности обмазочной массы, получение наплавленного сплава с твердостью до 66 HRC с повышенным показателем износостойкости и длительной эксплуатационной стойкостью восстановленных деталей. Частицы карбонитрида титана являются тугоплавким соединением ( $T_{пл} \sim 3100^\circ\text{C}$ ), и при попадании в жидкую ванну расплава повышали его вязкость, ускоряли кристаллизацию металла и позволяли получить крепкий твердый раствор с мартенситно-карбидной или дендритной структурой, упрочненной твердыми износостойкими фазами.

Коэффициент износостойкости покрытия, выполненного электродами с нанопорошком карбонитрида титана в покрытии, выше коэффициента износостойкости покрытия, выполненного серийными электродами на 57%. Для выявления термостойкости наплавленного слоя, полученного серийными и экспериментальными электродами, образцы после наплавки каждого слоя в разогретом состоянии охлаждались в воде. При осмотре в наплавленных слоях с карбонитридным упрочнением трещин и расслоений выявлено не было [4].

В работах Сапожкова С.Б. и Макарова С.В. [6, 7] разработана технология введения наноразмерных модификаторов в сварочный электрод, которая позволяет избежать потерь нанопорошка. Также установлено, что процентная доля игольчатого феррита в металле сварного шва увеличивается с ростом количества наночастиц оксида титана в покрытии электрода. Данный эффект объясняется возрастанием числа центров кристаллизации на Ti-содержащих включениях и фиксирующего эффекта оксидных наночастиц на границе зерна.

В заключении необходимо отметить, что применение нанопорошков в покрытиях штучных электродах позволяет измельчать структуры наплавленного слоя металла наноструктурированными частицами. Наиболее рациональным способом введения нанодисперсных порошков в сварочную ванну при ручной дуговой сварке является размещение наноматериалов в тонкой поверхности сварочных электродов. Для более эффективного воздействия, в процессе сварки и наплавки на структуру и свойства наплавленного металла в приоритете необходимо использовать нанопорошки различных тугоплавких соединений, а также микропорошков никеля, железа и других металлов с регламентированным содержанием наночастиц тугоплавких химических соединений.

Литература.

1. Введение в основы сварки: учебное пособие / В.И. Васильев, Д.П. Ильященко, Н.В. Павлов; Юргинский технологический институт. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2011. – 317с.
2. Обзор российского рынка сварочных электродов. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [www.marketcenter.ru](http://www.marketcenter.ru)
3. Соколов Г.Н., Лысак И.В., Трошков А.С., Зорин И.В., Горемыкина С.С., Самохин А.В., Алексеев Н.В., Цветков Ю.В. Модифицирование структуры наплавленного металла нанодисперсными карбидами вольфрама // Физика и химия обработки материалов. 2009. №6. С. 18 – 25
4. Гордин С.О., Смирнов А.Н., Князьков В.Л. Состав износостойкого покрытия для износостойкой наплавки // Вестник Кузбасского государственного технического университета. №2. 2015. С. 106 – 108.
5. Соколов Г.Н., Трошков А.С. Влияние нанодисперсных карбидов WC и никеля на структуру и свойства наплавленного металла // Сварка и диагностика. 2011. №3. С. 36 – 38.
6. S. V. Makarov and S. B. Sapozhkov Use of complex nanopowder (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Si, Ni, Ti, W) in production of electrodes for manual arc welding // World Applied Sciences Journal 22 (Special Issue on Techniques and Technologies). 2013. P. 87-90.
7. S. V. Makarov and S. B. Sapozhkov Production of electrodes for manual arc welding using nanodisperse materials // World Applied Sciences Journal. 2014. 29 (6). P. 720-723.

**МЕТОДЫ БОРЬБЫ С НАБРЫЗГИВАНИЕМ ЭЛЕКТРОДНОГО МЕТАЛЛА  
ПРИ СВАРКЕ В АКТИВНЫХ ГАЗАХ**

*К.С. Фадеев, студент группы 3-10А41,*

*научный руководитель: Колмогоров Д.Е., к.т.н.*

*Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского  
Томского политехнического университета  
652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26*

Механизированная сварка в среде защитных газов плавящимся электродом нашла широкое применение при изготовлении конструкций из углеродистых и легированных сталей [1]. Однако данный способ сварки имеет недостатки, которые снижают эффективность его применения. К ним, в первую очередь, относится повышенное разбрызгивание электродного металла. Оно ведет к увеличению расхода электродной проволоки и защитного газа.

Причинам и механизму разбрызгивания посвящено множество работ [2,3 и др.]. Основными причинами разбрызгивания являются:

- 1) реактивные силы, выталкивающие капли металла за пределы шва в начале короткого замыкания;
- 2) интенсивное газовыделение в объеме жидкого металла капли и сварочной ванны, сопровождающееся взрывообразными выбросами расплавленного металла из сварочной ванны;
- 3) газо-гидродинамический удар при разрушении перемычки между электродом и переходящей в сварочную ванну каплей при сварке с короткими замыканиями;
- 4) недостаточная стабильность процесса сварки;
- 5) увеличение размера капель переносимого электродного металла при повышенном напряжении.

Следствием повышенного разбрызгивания является набрызгивание – сцепление брызг расплавленного металла с поверхностью деталей сварочной аппаратуры и свариваемых изделий. Это происходит за счет механического сцепления с неровностями поверхности, физико-химического сцепления образующихся соединений типа шпинелей и приваривания, основанного на межатомном взаимодействии металла капли и изделия. Количество трудноудаляемых брызг, достигающих поверхности, зачищенной наждачным кругом, составляет около 73% от их общего количества, поверхности, подвергнутой пескоструйной обработке – 67% и поверхности в состоянии поставки – 47% [4].

Забрызгивание деталей сварочной горелки, свариваемых изделий и сборочно-сварочных приспособлений требует введение дополнительной технологической операции – очистки поверхностей от брызг, что составляет 20-40% от общей трудоемкости для изделий и 10-15% для деталей сварочной горелки [2]. Это приводит к дополнительным затратам на зачистку, расход виброинструмента и энергии, что повышает себестоимость изготовления сварных конструкций. К тому же забрызгивание