

2. Потапьевский А.Г., Сараев Ю.Н., Чинахов Д.А. Сварка сталей в защитных газах плавящимся электродом. Техника и технология будущего: монография. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2012. – 208 с.
3. Патон Б.Е., Лебедев В.А., Пичак В.Г., Полосков С.И. Эволюция систем импульсной подачи электродной проволоки для сварки и наплавки // Сварка и Диагностика. – 2009. – № 3. – С. 46-51.
4. Лебедев В.А. Тенденции развития механизированной сварки с управляемым переносом электродного металла (обзор) // Автоматическая сварка. – 2010. – № 10. – С. 45-53.
5. Шигаев Т.Г. Приемы модулирования сварочного тока и устройства для их осуществления // Автоматическая сварка. – 1983. – № 8. – С. 51-55.
6. Брунов О.Г. Механизированная сварка в среде активных газов с импульсной подачей проволоки: научное издание. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2007. – 137 с.
7. Брунов О.Г., Федько В.Т., Слистин А.П. Механизмы импульсной подачи сварочной проволоки // Технология металлов. – 1999. – № 11. – С. 7-9.
8. Воропай Н.М., Савельев О.Н., Семергеев С.С. Электромагнитные механизмы импульсной подачи сварочной проволоки // Автоматическая сварка. – 1980. – № 1. – С. 46-49.
9. Воропай Н.М. Принципы построения устройств для импульсной подачи сварочной проволоки // Автоматическая сварка. – 1998. – № 8. – С. 19-25.
10. Родионов Ю.А., Брунов О.Г., Лысенко А.Ф. Механизм импульсной подачи сварочной проволоки // Патент России № 2090325. 1997.
11. Федько В.Т., Брунов О.Г., Лысенко А.Ф. Механизм импульсной подачи сварочной проволоки // Патент России № 2104134. 1998.
12. Брунов О.Г., Федько В.Т., Князьков А.Ф., Слистин А.П. Механизм импульсной подачи сварочной проволоки // Патент России № 2136463. 1999.
13. Ковешников С.П., Белоусов А.Н., Павлов В.Ф., Полосков С.И. Безредукторные механизмы импульсной подачи сварочной проволоки // Сварочное производство. – 1984. – №5. – С. 32-34.
14. Красношарпа В.В., Кузнецов В.Д., Скачков И.О. Использование привода постоянного тока для импульсной подачи сварочной проволоки // Автоматическая сварка. – 1993. – №9. – С. 53-54.
15. Лебедев В.А. Особенности конструирования механизмов импульсной подачи электродной проволоки в сварочном оборудовании // Автоматическая сварка. – 2003. – №3. – С. 48-52.
16. Лебедев В.А., Мошкин В.Ф., Пичак В.Г. Новые механизмы для импульсной подачи электродной проволоки // Автоматическая сварка. – 1996. – №5. – С. 39-44.
17. Лебедев В.А., Максимов С.Ю., Пичак В.Г. и др. Новые механизмы подачи электродной и присадочной проволоки // Сварочное производство. – 2011. – № 5. – С. 35-39.
18. Лебедев В.А. Особенности управления процессом сварки плавящимся электродом с импульсной подачей электродной проволоки // Сварка и Диагностика. – 2014. – № 1. – С. 15-18.
19. Патон Б.Е., Лебедев В.А., Лендел И.В., Полосков С.И. использование механических импульсов для управления процессами автоматической и механизированной сварки плавящимся электродом // Сварка и Диагностика. – 2013. – № 6. – С. 16-20.
20. Бондаренко В.Л. Дуговая сварка с импульсной подачей электродной проволоки – процесс СМТ, предложенный фирмой «Фрониус» // Автоматическая сварка. – 2004. – № 12. – С. 55-58.
21. Лебедев В.А. Транзисторные источники питания для электродуговой сварки (обзор) // Автоматическая сварка. – 2012. – № 9. – С. 34-40.
22. Лебедев В.А. Классификация механизмов подачи электродной проволоки для сварочного оборудования // Сварочное производство. – 2010. – № 1. – С. 31-37.

УПРАВЛЕНИЕ СТРУКТУРОЙ И СВОЙСТВАМИ НАПЛАВЛЕННОГО МЕТАЛЛА

*Д.А. Уряднов, И.А. Колесников, студенты группы 10А22,
научный руководитель: Кузнецов М.А.*

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

Модификатор (от позднелат. *modifico* - видоизменяю, меняю форму) – вещество, которое существенно изменяют структуру и свойства обработанного им металла или сплава. Эффект от такой

обработки называется модифицированием [1]. Модифицирование – процесс активного регулирования первичной кристаллизации или изменения степени дисперсности кристаллизующихся фаз путём введения в расплав добавок отдельных элементов или их соединений [2]. Модифицированием можно добиться измельчения макро и микрзерна; фазовых составляющих эвтектик; первичных кристаллов; формы, а также изменения размера и распределения неметаллических включений. Модифицирование металлов можно произвести несколькими способами: вводом в расплав добавок-модификаторов; применением различных физических воздействий (регулирование температуры расплава, предварительное охлаждение расплава при переливе, суспензионная разливка, литье в температурном интервале кристаллизации, вибрация, ультразвук, электромагнитное перемешивание); комбинированными способами, сочетающие вышеизложенные.

По природе воздействия модификаторы можно разделить на три вида: модификаторы 1-го рода, 2-го и 3-го рода. Модификаторы 1-го рода влияют на структуру за счет изменения энергетических характеристик (энергия активации и поверхностное натяжение) зарождения новой фазы. Модификаторы 2-го рода изменяют структуру, влияя на нее, как зародыши твердой фазы. Модификаторы 3-го рода – холодильники / инокуляторы – снижают температуру металла и повышают скорость кристаллизации, тормозя тем самым развитие ликвации элементов [3].

Наибольшее применение получили модификаторы 1-го рода. К ним относят примеси, неограниченно растворимые в жидкой фазе и мало растворимые в твердой фазе (0,001...0,1%). Эти примеси в свою очередь можно разделить на два типа: не изменяющие поверхностные свойства кристаллизующейся фазы и меняющие поверхностное натяжение на границе расплав-кристалл. Модификаторы первого типа могут тормозить рост твердой фазы только за счет концентрационного барьера на границе расплав-кристалл. При этом не происходит изменения энергетических характеристик процесса. Добавки второго типа, снижают поверхностное натяжение на границе расплав-кристалл и избирательно концентрируются на поверхности кристаллов (дендритов). Таким образом, ввод модификаторов 1-го рода сопровождается изменением поверхностного натяжения и энергии активации в противоположных направлениях, одновременно измельчается макрзерно и укрупняется микрзерно, т.е. оказывается комплексное воздействие на макро- и микроструктуру.

Также на параметры кристаллизации и отражающую ее макроструктуру могут влиять модификаторы 2-го рода. Это влияние связано с контактным действием на процесс зарождения центров кристаллизации. При введении в расплав нерастворимой примеси со свойствами, близкими к свойствам кристаллизующегося вещества, происходит существенное снижение интервала метастабильности расплава и измельчение макрзерна. Такие примеси называют изоморфными с кристаллизующимся веществом и модификаторами 2-го рода. Обычное содержание модификаторов этого типа менее 0,1 %.

Ввод модификаторов 3-го рода (инокуляторов) в кристаллизующийся расплав обеспечивает повышение однородности и дисперсности литой структуры, оптимизацию формы и распределения неметаллических включений, уменьшение некоторых литейных дефектов. Попадая в металл, инокуляторы приводят к локальному охлаждению металлического расплава, при этом сначала на них происходит намораживание корочки твердой фазы, которая в дальнейшем вследствие нагрева от окружающего расплава расплавляется, позже расплавляется и сам инокулятор. Таким образом, инокуляторы в расплаве отбирают тепло на собственный нагрев и расплавление, в результате чего снижается температура расплава. Эффект охлаждения приводит к росту скорости кристаллизации, что отражается на повышении однородности механических свойств в крупных кованных изделиях ответственного назначения. С увеличением массы вводимых инокуляторов скорость кристаллизации возрастает [3].

В современном мире сварочное производство занимает одно из важнейших мест в машиностроении, т.к. большинство изделий производится при помощи различных способов сварки. Поэтому становится актуальным вопрос о применении модификаторов, в том числе модификаторов с наноразмерными частицами в сварочном производстве. Хотя данное направление является новым, уже есть некоторые научные разработки в данной области.

Так в работе [4] представлены исследования по использованию в качестве модификатора бария при выплавке трубных сталей и сварке нефтегазопроводов. Введение 1-3% Ba в электродное покрытие обеспечивает высокую трещиностойкость сварных соединений, как на воздухе, так и в коррозионно-агрессивных средах. Скорость коррозии сварных металлоконструкций нефтегазопроводов снижается в 4-7 раз. При этом более высокая эффективность бария в сравнении с кальцием, достигается только за счет снижения содержания серы и фосфора.

Введение в расплав стали нанодисперсных металлических и неметаллических порошков [5], свойства которых существенно отличаются от свойств макро- и микропорошков того же химического состава, способствует модифицированию металла и вызывает перераспределение вредных примесей между границами и объемами зерен. Размер зерен при этом уменьшается, что приводит к повышению пределов текучести и прочности, увеличению пластичности и деформируемости стали, а также к снижению коэффициента трения. В качестве нанодисперсного компонента использовали порошок карбида вольфрама. Материалом, транспортирующим нанодисперсный порошок, служил порошок никеля, в который при совместной обработке в планетарной мельнице внедряли карбид вольфрама. В результате получали никелевые гранулы, в которых содержалось около 30 масс. % нанокарбидов. Введение никеля и нанокарбидов вольфрама в электродные покрытия приводит к трансформации структуры металла в модифицированный субдисперсный твердый раствор на основе Fe с остаточным аустенитом, расположенным по границам зерен. Количество неметаллических включений, которые прежде имели произвольные очертания и были неравномерно распределены в металле, сократилось на 15-20%. Такая структура металла должна способствовать повышению его пластических свойств в условиях отрицательных температур и циклического нагружения. Изменение структуры и химического состава металла привело к увеличению его твердости на 23-25%.

В работе [6] представлена технология сварки жаропрочных никелевых сплавов с применением частиц тугоплавких соединений. Для повышения свойств металла шва было применено модифицирование металлической ванны дисперсными инокуляторами, в частности карбонитридом титана. Введение компонентов осуществляли переплавом дополнительного трубчатого электрода на никелевой основе, внутренняя полость которого заполнялась порошкообразным модификатором. В макроструктуре металла шва имеют места зерна, границы которых в основном приблизительно одинаково удалены от центра. Размер зерна при этом уменьшается до 1 – 2 мм. Микроструктура модифицированного шва показывает, что карбиды имеют компактную округлую форму, расположены в большей части на границах зерен, что по-видимому и упрочняет их, обуславливая повышенную жаропрочность. Структура околошовной зоны имеет меньший размер зерна, что несколько повышает свойства всего сварного соединения. Таким образом исследования показали, что повышение свойств металла шва при его модифицировании связано со снижением уровня ликваций, улучшением морфологии и топографии карбидных фаз.

На данный момент уже имеется технология применения наноматериалов при высокотемпературной обработке никельхромовых сплавов при электрошлаковом литье и электрошлаковой сварке [7]. При этом возможно управление микро- и макроструктурой жаропрочных никельхромовых сплавов и их физико-механическими свойствами при помощи введения в расплав наночастиц карбонитрида титана в виде нанокристаллов, которые служат центрами кристаллизации.

Для изготовления строительной и дорожной техники, оборудования для горно-добывающей промышленности, подъемно-транспортного оборудования и других металлоконструкций в основном используют конструкционные, легированные стали. Основным способом получения неразъемных соединений данных сталей является сварка плавящимся электродом, к недостаткам которой относятся механическая, структурная и химическая неоднородность сварного соединения. Актуальным становится вопрос применения модификаторов, а в частности наноразмерных элементов, при дуговой сварке плавящимся электродом. Это позволит управлять процессом кристаллизации металла сварочной ванны; прогнозировать структуру и свойства металла шва, а также получать равнопрочные сварные соединения.

Литература.

1. Большая советская энциклопедия. Второе издание. Т 28. – М., 1969 – 1978. – 660 с.
2. Рябчиков И.В, Панов А.Г., Корниенко А.Э. О качественных характеристиках модификаторов // М. Сталь. – 2007. – №6. – с. 18 – 23.
3. Задиранов А.Н., Кац А.М. Теоретические основы кристаллизации металлов и сплавов. Из-во. РУДН, 2008. – 227 с.
4. Дерябин А.А, Цепелев В.С., Конашков В.В., Берестов Е.Ю., Могильный В.В. Кинетическая вязкость рельсовой стали, модифицированной сплавами Fe-Si-Ca и Fe-Si-Ca-Ba. Известие высших учебных заведений. Черная металлургия. – 2008. – №4. – с. 3 – 6.
5. Соколов Г.Н., Лысак И.В., Трошков А.С., Зорин И.В., Горемыкина С.С., Самохин А.В., Алексеев А.Н., Цветков Ю.В. Модифицирование структуры наплавленного металла нанодисперсными карбидами вольфрама. // Физика и химия обработки материалов. – 2009. – №6. – с. 41 – 47.

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