

УДК 621.791.75

Г.Е. Трекин, О.И. Шевченко

Нижнетагильский технологический институт (филиал)
Уральского федерального университета, г. Нижний Тагил, Россия

ВЛИЯНИЕ АЛЮМИНИЕВОГО ЭЛЕКТРОИСКРОВОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПОДСЛОЯ И ТЕМПЕРАТУРЫ ОТПУСКА НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА НИЗКОУГЛЕРОДИСТОГО, НИЗКОЛЕГИРОВАННОГО СВАРНОГО ШВА

Рассмотрено влияние технологического алюминиевого подслоя, нанесенного электроискровым способом в среде азота на микроструктуру, твердость и ударную вязкость (КCU) сварных стыковых швов при температуре $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$, выполненных ручной дуговой сваркой и сваркой под флюсом, без и после отпуска при температурах $200\text{--}500\text{ }^{\circ}\text{C}$. Сварка образцов из стали 20 толщиной 12 мм производилась на типовых режимах. Установлено, что технологический подслоя изменяет дисперсность перлита и морфологию остаточного аустенита в наплавленном металле. Твердость наплавленного металла после ручной дуговой сварки и отпуска резко снижается, а при сварке под флюсом практически не изменяется, независимо от применения технологического подслоя. Выявлено положительное влияние технологического подслоя на ударную вязкость при ручной дуговой сварке. Отпуск влияет отрицательно при обоих способах сварки.

Ключевые слова: сварка, электроискровое легирование алюминием, отпуск наплавленного металла, свойства сварных соединений, ударная вязкость наплавленного металла, твердость наплавленного металла, сварка низколегированных сталей, микроструктура наплавленного металла.

G.E. Trekin, O.I. Shevchenko

Nizhny Tagils Technology Institute (department), Ural Federal University,
Nizhnii Tagil, Russian Federation

EFFECT ALUMINIUM ELECTRO-SPARK TECHNOLOGICAL DEPOSIT AND TEMPERINGS TEMPERATURE ON MICROSTRUCTURE AND PROPERTIES LOW-CARBON, LOW-ALLOYED WELD

In this article the influence electro-spark under nitrogen environment technological aluminium deposit, on microstructure, hardness and impact toughness (KCU) on temperature minus $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ executed by manual arc welding and welding under gumboil without and after tempering at temperatures $200\text{--}500\text{ }^{\circ}\text{C}$, was considered. Welding procedure was carried on conventional parameters for low carbon base metal 12 mm thickness. Technological deposit changes pearlite dispersibility and retained

austenite morphology in all considered welds. Hardness of the built-up metal after manual arc welding and holiday sharply decreases, and when welding under gumboil practically doesn't change, irrespective of application of a technological underlayer. Positive influence of a technological underlayer on impact strength at manual arc welding is revealed. The tempering influence was negatively for all welds.

Keywords: welding, electro-spark alloying, welded metals tempering, welds properties, welded metals impact toughness, welded metals hardness, welding low-carbon steels, welded metals microstructure.

Повышение комплекса свойств сварных соединений за счет изменения режимов сварки в настоящее время в значительной мере исчерпано, поэтому актуальными становятся дополнительные технологические воздействия на свариваемые заготовки, сварочные материалы или сам процесс сварки. Одним из видов технологического воздействия является нанесение технологического подслоя на разделку свариваемых заготовок, т.е. в том месте, где он будет полностью переплавлен. Технологический подслоя легирует наплавленный металл и защищает основной металл от окисления вблизи сварочной ванны. Уменьшая толщину оксидной пленки в переплавляемой части зоны окисления, технологический подслоя способен снизить количество окислов в наплавленном металле (рис. 1). Поскольку защитные свойства при термических выдержках образцов низкоуглеродистой стали с алюминиевым электроискровым слоем в печи в воздушной атмосфере достаточно высоки, толщина оксидной пленки уменьшается на порядок, а толщина обезуглероженного слоя составляет не более 0,2 мм [1].

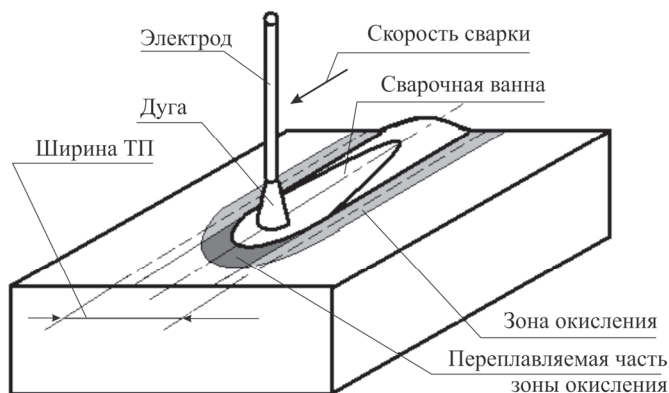


Рис. 1. Расположение зоны окисления при дуговой сварке.

ТП – технологический подслоя

Исследование структуры алюминиевого электроискрового слоя выявило большое разнообразие структур в нанесенном слое, светлые поля с темными включениями округлой формы, испещренные сет-

кой трещин в верхней части, а в зоне, прилегающей к линии сплавления с основным металлом, – дендритные структуры различной морфологии [1].

Положительное влияние микролегирования алюминием и азотом отмечают многие авторы, как для сталей, так и для сварных швов [2–4], связывая положительный эффект с измельчением зерна, образованием карбонитридов и игольчатого феррита.

Нанесение электроискрового технологического подслоя производилось в среде азота с помощью установок «Элитрон – 22А» и разработанной на кафедре металлургической технологии НТИ (ф) УрФУ, на режимах, обеспечивающих хорошее формирование технологического подслоя.

В качестве основного металла использовались пластины из стали 20 толщиной 12 мм, длиной 300–400 мм, шириной 100–150 мм.

Ручную дуговую сварку производили в нижнем положении в V-образную разделку в два слоя электродами МР-3 диаметром 3 и 4 мм на типовых режимах. Сварку под флюсом АН-348 А выполняли проволокой Св-08 ГА диаметром 3 мм в один слой на пластинах без разделки, также на типовых режимах. Технологический подслоя располагали на плоскости разделки или на торцевой и верхней поверхности свариваемых пластин в области переплавления.

Распиловка образцов на темплеты шириной 12–15 мм производилась на ленточнопильном станке S-330 CSO с интенсивным охлаждением. Отпуск темплетов производился в печи «Термит» модели ПКЛ-1.1.0-м2 при температурах 200–500 °С в течение 2 ч.

Металлографическое исследование было произведено с помощью микроскопа Zeiss Observer D1m при увеличении от 50 до 500 крат и электронного микроскопа Phenom G2 Pure при увеличении от 300 до 17 000 крат.

Исследование ударной вязкости производилось на маятниковом копре типа МК-30 А на образцах с U-образным надрезом (КСУ), при температуре –40 °С, по три образца на каждое сварное соединение.

Измерение твердости производилось на приборе Роквелла по шкале В, при отрицательных температурах измерения использовалось специальное приспособление, удерживающее образец на основании и позволяющее перемещать образец при помощи винтов. Охлаждение образца производилось в термостате жидким азотом. Контроль темпе-

ратуры осуществлялся хромель-алюмелевой термопарой, приваренной к образцу. Запись термического цикла производилась при помощи измерительного комплекса на базе аналого-цифрового преобразователя Zet 210 по схеме рис. 2.

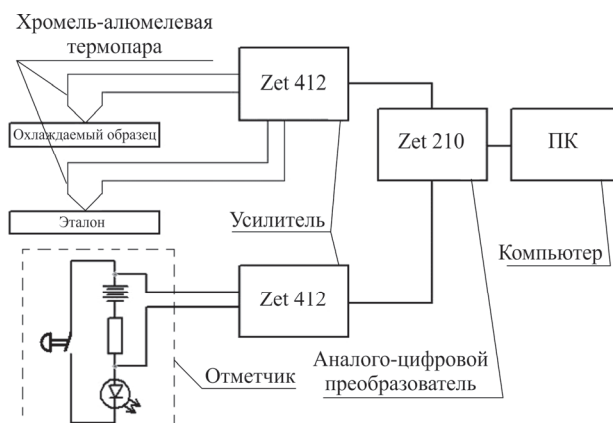


Рис. 2. Схема измерения температуры

Анализ структуры наплавленного металла показывает незначительное увеличение размеров первичных дендритов в швах с подслоем и уменьшенную долю зернограничного феррита, также увеличивается дисперсность видманштеттового феррита (рис. 3).

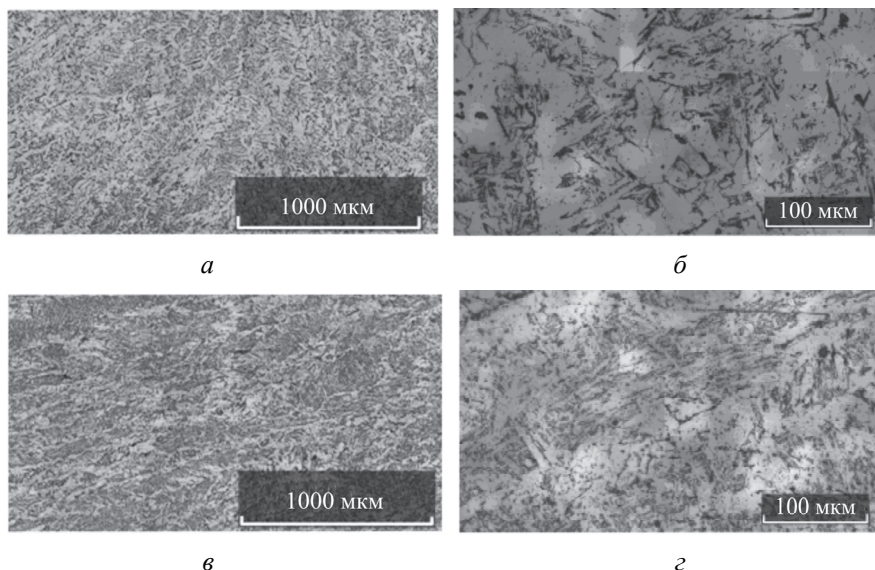


Рис. 3. Микроструктура наплавленного металла, выполненного:
а, б – без технологического подслоя; в, г – с технологическим подслоем

При электронно-микроскопическом исследовании выявлены различия в морфологии остаточного аустенита и перлита в структуре наплавленного металла. Без технологического подслоя формируются частицы с изрезанным контуром, окруженные дисперсным перлитом. В металле с участием технологического подслоя наблюдаются четко ограненные частицы с ровными краями без эвтектоида, а имеющиеся колонии перлита – более крупные (рис. 4, а, б). После отпуска с температурой выше 400 °С эти частицы не фиксируются (рис. 4, в, г).

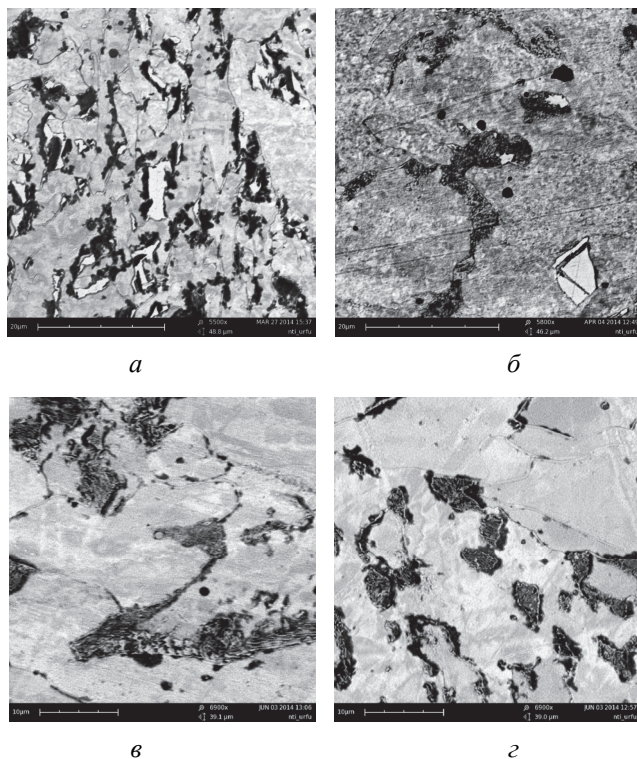


Рис. 4. Микроструктура наплавленного металла, выполненного:
а, в – без технологического подслоя; б, г – с технологическим подслоем;
а, б – после сварки; в, г – после сварки и отпуска при 400 °С

Технологический подслоя из алюминия повышает твердость наплавленного металла на 2–4 HRB. Твердость наплавленного металла после ручной дуговой сварки (РДС) выше, чем для сварки под флюсом, но реакция на отпуск разная: соединения, выполненные под флюсом, незначительно упрочняются в интервале 200–400 °С и затем возвращаются к исходной твердости, а соединения ручной дуговой сварки резко разупрочняются, далее наблюдается незначительное снижение твердости (рис. 5).

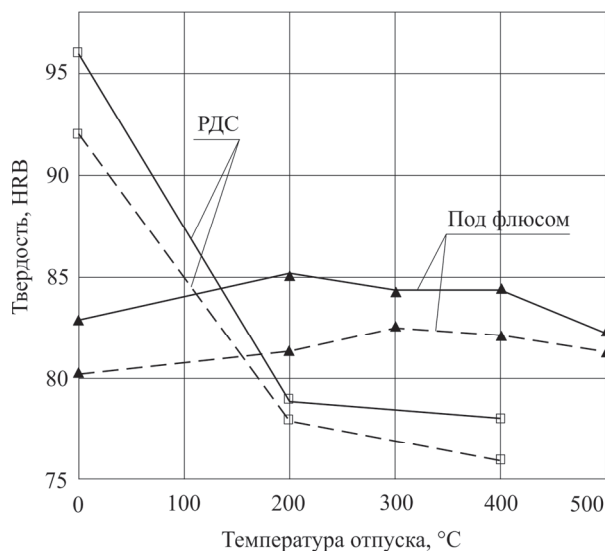


Рис. 5. Влияние температуры отпуска на твердость наплавленного металла:

- ▲-▲-▲- } – без технологического подслоя;
- } – без технологического подслоя;
- ▲-▲-▲- } – с технологическим подслоем
- } – с технологическим подслоем

Технологический подслоя снижает ударную вязкость для наплавленного металла сварных соединений, выполненных под флюсом, примерно на 18 %. Последующий отпуск 200 °C снижает исходные значения на четверть, и затем следует достаточно резкое снижение, и только для металла с технологическим подслоем наблюдается восстановление ударной вязкости до половины исходного уровня. Для ручной дуговой сварки применение технологического подслоя повышает ударную вязкость в 8 раз. Отпуск снижает ее практически до исходного уровня.

Оценка хладноломкости производилась по коэффициенту термической твердости, рассчитанному по методике работ [5–8] для швов, выполненных под флюсом. Совпадение полученных результатов для металла, наплавленного на технологический подслоя, с данными указанных источников, вероятно, объясняется большей дисперсностью структуры наплавленного металла. Для швов, выполненных без подслоя, получен пик при температуре 300 °C (рис. 7).

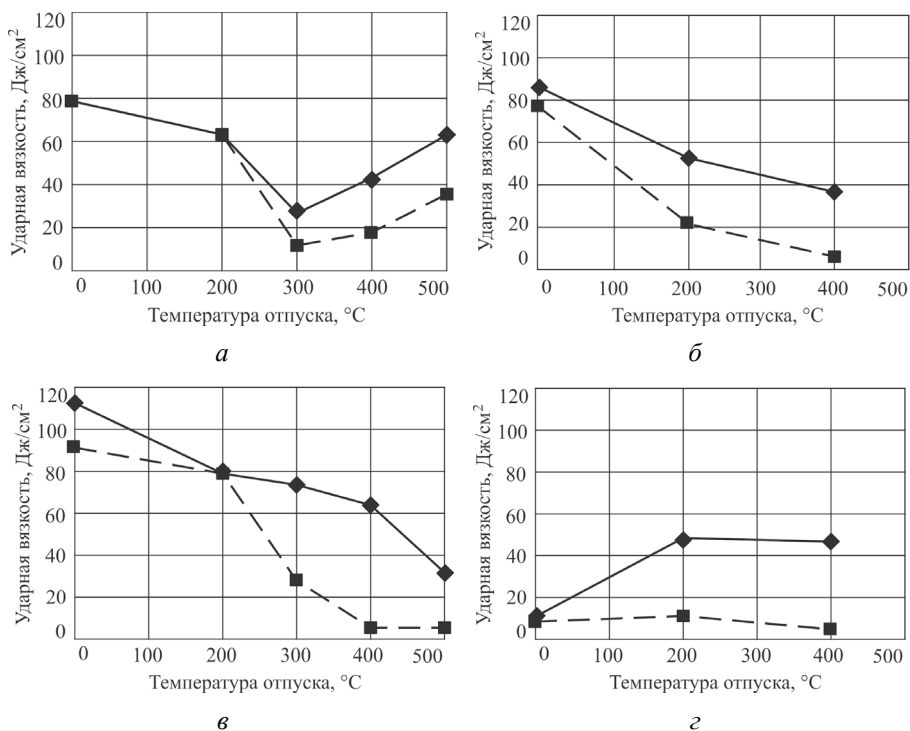


Рис. 6. Влияние температуры отпуска на ударную вязкость наплавленного металла: а, б – с технологическим подслоем; в, г – без технологического подслоя; —◆— – среднее значение; -■- – минимальное значение

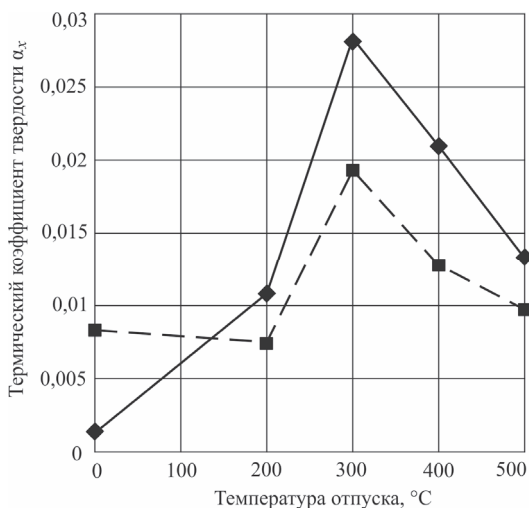


Рис. 7. Влияние температуры отпуска на термический коэффициент твердости: —◆— – с технологическим подслоем; -■- – без технологического подслоя

Таким образом, применение алюминиевого электроискрового технологического подслоя, нанесенного в среде азота, при ручной дуговой сварке и сварке под кислым флюсом приводит к небольшому увеличению первичного зерна аустенита, уменьшению доли массивного феррита и увеличению дисперсности видманштеттова феррита. При ручной дуговой сварке применение подслоя вызывает значительное повышение ударной вязкости при незначительном возрастании твердости, при сварке под флюсом происходит снижение ударной вязкости примерно на пятую часть, также при незначительном приросте твердости.

Отпуск при температурах 200–500 °С в течение 2 ч ухудшает показатели ударной вязкости при обоих способах сварки, и только для подслоя, наплавленного под флюсом на технологический металл при 500 °С, наблюдается частичное восстановление ударной вязкости. При ручной дуговой сварке отпуск резко снижает твердость на 12 HRB и выше, а при сварке под флюсом влияет на нее незначительно, в пределах 3 HRB.

Список литературы

1. Трекин Г.Е., Шевченко О.И. Влияние электроискрового легирования алюминием на окисление и обезуглероживание при термической обработке // Актуальные проблемы физического металловедения сталей и сплавов: материалы XXII Уральской школы металловедов-термистов / под ред. В.И. Грызунова. – Орск: Изд-во ОГТИ (филиала) ОГУ, 2014. – С. 168–169.
2. Научные и технологические основы микролегирования стали / В.Л. Пилющенко [и др.]. – М.: Металлургия, 1994. – 384 с.
3. Bhadeshia H.K.D.H., Svensson L.-E. Modelling the Evolution of Microstructure in Steel Weld Metal // Mathematical Modelling of Weld Phenomena / ed. by H. Cerjak, K.E. Easterling; Institute of Materials. – London, 1993. – P. 109–182.
4. Гольдштейн Я.Е., Мизин В.Г. Инокулирование железоуглеродистых сплавов. – М.: Металлургия, 1993. – 416 с.
5. Структурные факторы хладостойкости сварных швов / В.М. Язовских, Е.А. Кривоносова, В.И. Шумяков, И.Ю. Летягин, Н.В. Вылежнева // Сварочное производство. – 2002. – № 1. – С. 12–14.

6. Пат. Рос. Федерация 99101177/28 (001032), МПК 7 G 01 N 3/18. Способ определения критической температуры хрупкости металлов и сплавов / В.М. Язовских, Е.А. Кривоносова, В.И. Шумяков, А.С. Табачиков, И.Ю. Лetyагин. – Опубл. 18.01.99.

7. Yazovskikh V.M., Krivonosova E.A., Shumyakov V.I. Express methods of evaluating the quality of welding electrodes // *Welding International*. – 1998. – Vol. 12, iss. 11. – P. 911–914.

8. Кривоносова Е.А. Структура и хладостойкость низкоуглеродистых сварных швов // *Сварка и диагностика*. – 2014. – № 4. – С. 11–14.

Получено 16.02.2015

Трекин Григорий Евгеньевич (Нижний Тагил, Россия) – кандидат технических наук, кафедра «Машиностроительные и металлургические технологии» Нижнетагильского технического института (филиала) Уральского Федерального университета им. Первого Президента России Б.Н. Ельцина, e-mail: trekin1963@yandex.ru.

Шевченко Олег Игоревич (Нижний Тагил, Россия) – доктор технических наук, кафедра «Машиностроительные и металлургические технологии» Нижнетагильского технического института (филиала) Уральского Федерального университета им. первого Президента России Б.Н. Ельцина, e-mail: shevchenko_oleg@mail.ru.

Trekin Gregory (Nizhny Tagil, Russian Federation) – Ph.D. in Technical Sciences, Department “Machine building and metallurgical technologies”, Nizhny Tagil Technology Institute (department) of the Ural Federal University behalf of the First President of Russia Boris Yeltsin, e-mail: trekin1963@yandex.ru.

Shevchenko Oleg (Nizhny Tagil, Russian Federation) – Doctor of Technical Sciences, Department “Machine building and metallurgical technologies”, Nizhny Tagil Technology Institute (department) of the Ural Federal University behalf of the First President of Russia Boris Yeltsin, e-mail: shevchenko_oleg@mail.ru.