

ких классов, дает возможность сформулировать, по крайне мере, три важных вывода:

1. При разделении на контуры, суммарная подвижность выделяемых контуров должна быть равна подвижности исследуемой кинематической цепи, т.е. для групп Ассура $W = W_{ok} + W_{dk} = 0$, где W_{ok} – подвижность основного контура, W_{dk} – подвижность дополнительного контура.

2. Количество разделений и выделенных контуров зависит от сложности и числа звеньев кинематической цепи. Для групп Ассура, заканчиваю-

щихся поводками и немеющими замкнутых изменяемых контуров, число разделений может быть меньше числа замкнутых контуров k . Это объясняется тем, что при выделении основного контура в таких группах, поводки дают большее число дополнительных контуров.

3. Механизм без дефицита подвижности может быть получен в результате присоединения безызбыточной группы Ассура к механизму первого класса.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Ассур Л.В.* Исследование плоских стержневых механизмов с низшими парами с точки зрения их структуры и классификации // Изд. АН СССР, 1952. – 589с.
2. *Решетов Л.Н.* Применение механизмов без избыточных связей. Сборник статей «Анализ и синтез механизмов» // Ин – т Машиноведения АН СССР, 1960. – С. 89 – 92.
3. *Решетов Л.Н.* Самоустанавливающиеся механизмы. Справочник – 2 - е изд., перераб. и доп. // М.: Машиностроение, 1985. – 272 с., ил. – (Библиотека конструктора).
4. *Будыка Е.Ю.* Вывод структурных формул механизмов логическим путем // Изв. ВУЗов. Машиностроение, №8, 1976, С. 71 – 73.
5. *Колчин Н.И.* Опыт построения расширенной структурной классификации механизмов и основанной на ней структурной таблицы механизмов. Труды второго всесоюзного совещания по основным проблемам теории машин и механизмов. Анализ и синтез механизмов // Государственное научно-техническое издательство машиностроительной литературы, М., – С. 85 – 99.
6. *Колчин Н.И.* Теория механизмов и машин/ Н.И. Колчин, Ч.Ф. Кетов // М.: Изд-во АН СССР, 1939. 226 с. 23. L. Burmester Lehbuch der Kinematik/ L. Burmester. Berlin, 1888 426 s.
7. *Дворников Л.Т.* Опыт исключения избыточных связей в шестизвездных плоских механизмах / Дворников Л.Т., Гудимова Л.Н., Большаков Н.С. // Известие ВУЗов. Машиностроение, 2007, №5, с.29 – 38.
8. *Дворников Л.Т.* Подвижность механических систем и избыточные связи в них / Дворников Л.Т., Гудимова Л.Н. // Учебное пособие, Новокузнецк, 2006, – 38с.

□ Автор статьи:

Гудимова
Людмила Николаевна,
канд. техн. наук, доц. каф.
теории механизмов и машин и ос-
нов конструирования (Сибирский
гос. индустриальный университет).
E – mail: lyu-qudiova@yandex.ru

УДК 621.791.75:[621.791.013]

С.О. Гордин, А.Н. Смирнов , В.Л. Князьков

ВЛИЯНИЕ УЛЬТРАМЕЛКОРАЗМЕРНЫХ КОМПОНЕНТОВ ЭЛЕКТРОДНЫХ ПОКРЫТИЙ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МЕТАЛЛА ШВА

Сварка электродами с покрытием, в настоящее время является ведущим технологическим процессом при монтаже и ремонте оборудования промышленных предприятий. Повышенная повреждаемость сварных соединений горнодобывающего и подъемно-транспортного оборудования в условиях эксплуатации при низких температурах может быть снижена за счет повышения комплекса механических свойств, металла швов сварных соединений.

Известно, что повышение прочности и пластичности низкоуглеродистых и низколегированных конструкционных сталей возможно, либо за счет измельчения исходной зернистости до № 10-12, либо за счет повышения чистоты металла [1]. Измельчение структуры, может быть достигнуто при охлаждении из расплава, со скоростью, превышающей 650°C/с [2], что в реальных условиях сварки технически не возможно.

Развитие технологий изготовления ультрамел-

коразмерных частиц порошков металлов и окислов, позволяет надеяться на решение данной проблемы за счет модификации металла шва введением в качестве одного из компонентов покрытия электродов незначительного количества таких частиц. Эффективность модификации сварочной ванны при сварке конструкционных сталей показана в работе [3]. В настоящей работе исследованы модификаторы, имеющие значительно меньшую стоимость, чем нанокарбиды вольфрама [4] и, в случае их применения, существенно не влияют на стоимость сварочных материалов.

Одним из таких материалов, имеющим низкую стоимость, является Al_2O_3 .

С целью исключения влияния примесей на структуру и фазовое состояние металла шва в качестве элемента-модификатора применяли Al_2O_3 , полученный путем прокаливания в течении 2-х часов при температуре 200°C порошка гидроксида алюминия, изготовленного по ТУ 2133-001-7634032-2006 «Гидроксид алюминия – бемит», размер кристаллитов $\approx 1000\text{\AA}$, удельная плотность не более 3,06 г/см³, удельная специфическая поверхность в пределах 10-400 м²/г.

В состав шихты для производства электродов марки МР-3 было введено 0,1 и 0,15%, а для электродов марки УОНИ 13/15 – 0,1% (вес.) порошка Al_2O_3 .

Размеры частиц остальных компонентов электродных покрытий составляли не более 630 мкм. Требуемые пропорции компонентов получали на установке автоматического дозирования электродной шихты участка по производству электродов ОАО «ЕВРАЗ ЗСМК» г. Новокузнецк. На поверхность электродов наносили специальную маркировку. Состав электродных покрытий представлен в табл. 1.

Таблица 1. Состав покрытий электродов марок МР-3 и УОНИ 13/55

| № п/п | Наименование компонента | Количество, % вес.) | |
|----------|----------------------------|---------------------|------------|
| | | МР-3 | УОНИ 13/55 |
| 1 | Ильменит | 20,0 | |
| 2 | Мрамор | 19,5 | 50,0 |
| 3 | Ферромарганец | 14,0 | 6,0 |
| 4 | Ферротитан | | 9,0 |
| 5 | Ферросилиций | | 6,0 |
| 6 | Слюдя | | 2,0 |
| 7 | Шлавиковый концен- трат | | 15,0 |
| 8 | Кварцевый песок | | 9,0 |
| 9 | Тальк | 10,0 | 1,0 |
| 10 | Рутил | 29,0 | |
| 11 | Каолин | 5,0 | |
| 12 | Целлюлоза | 1,5 | 1,5 |
| 13 | Поташ | 1,0 | |

Изготовленные электроды проверили на соответствие сварочно-технологических свойств требованиям ГОСТ 9466-75. Формирование шва хо-

рошее. Длина втулочки покрытия электродов с модификатором и без него одинакова. Сварочно-технологические свойства соответствуют ГОСТ 9466-75 и РД 03-613-03.

Таблица 2. Механические свойства металла шва

| Электроды марки МР-3 Ø 3,0 мм | σ_b , Н/мм ² | δ_5 , % | KCV, -20°C, Дж/см ² |
|----------------------------------|--------------------------------|----------------|--------------------------------------|
| серийные | 492 | 24 | 67 |
| +0,1% Al_2O_3 | 472 | 26 | 33 |
| +0,15% Al_2O_3 | 466 | 26 | 30 |
| <i>н е м е н е е</i> | | | |
| Требования Н и ТД | 450 | 20 | 35 |

Таблица 3 Механические свойства металла шва

| Электроды марки УОНИ-13/55 Ø 3,0 мм | σ_b , Н/мм ² | δ_5 , % | KCV, -40°C, Дж/см ² |
|--|--------------------------------|----------------|--------------------------------------|
| серийные | 582 | 20 | 37 |
| +0,1% Al_2O_3 | 586 | 23 | 15 |
| <i>н е м е н е е</i> | | | |
| Требования Н и ТД | 490 | 20 | 35 |

Механические свойства металла шва, выполненного электродами марки МР-3, представлены в табл. 2, механические свойства металла шва, выполненного электродами марки УОНИ-13/55, представлены в табл. 3.

Как видно из табл. 2 и 3, введение в состав покрытия электродов обеих марок ультрамелко-размерных частиц Al_2O_3 , приводит к резкому снижению показателей испытаний на ударный изгиб при отрицательных температурах. Показатели испытаний образцов на ударный изгиб при комнатной температуре практически не изменяются.

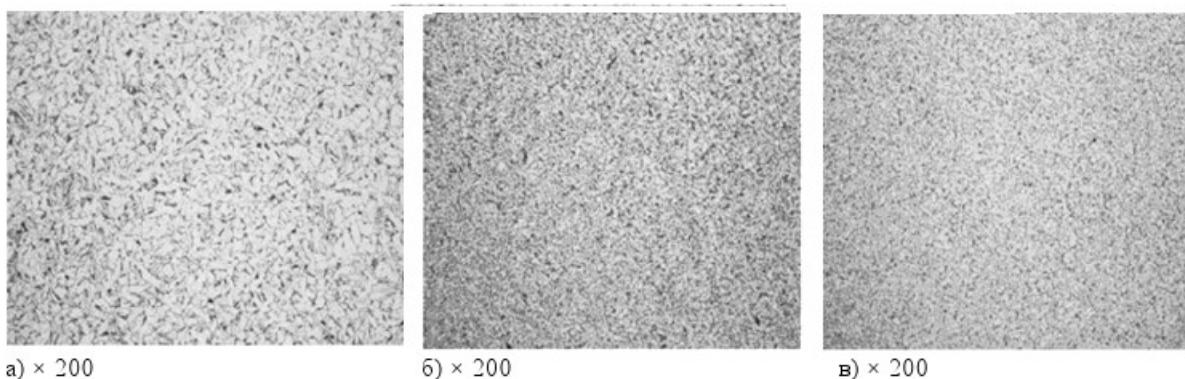
Микроструктуру металла шва исследовали с помощью оптического микроскопа «Axiovert 40MAT», снабженного системой анализа изображений «SIAMS 700».

Номер зерна металла шва составляет:

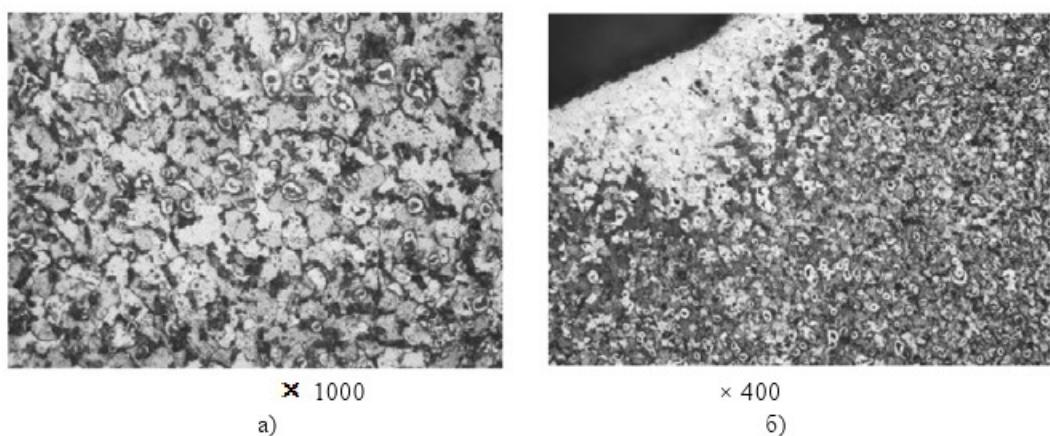
- серийные электроды марки МР-3 № 7-8;
- электроды марки МР-3 с добавлением 0,1% Al_2O_3 № 9-10;
- электроды марки МР-3 с добавлением 0,15% Al_2O_3 № 10;
- серийные электроды марки УОНИ - 13/55 № 7-8;
- электроды марки УОНИ-13/55 с добавлением 0,15 Al_2O_3 № 9-10

На рис. 1 представлены микроструктуры сварных швов без частиц Al_2O_3 и с добавлением частиц.

С целью определения причин, значительного снижения ударной вязкости металла шва при отрицательных температурах, микрошлифы образцов протравили реактивом Обергоффера. Распределение фосфора по структуре металла представлено на рис. 2. Введение Al_2O_3 в электродное покрытие привело к концентрации фосфора по границам зерен и падению ударной вязкости при испытании

a) $\times 200$ б) $\times 200$ в) $\times 200$ *Рис. 1 Микроструктура сварного шва, выполненного электродами марки МР-3*

а) – серийные электроды, б) – электроды с добавлением в покрытие 0,1% Al_2O_3 , в) – электроды с добавлением в покрытие 0,15% Al_2O_3



× 1000

а)

× 400

б)

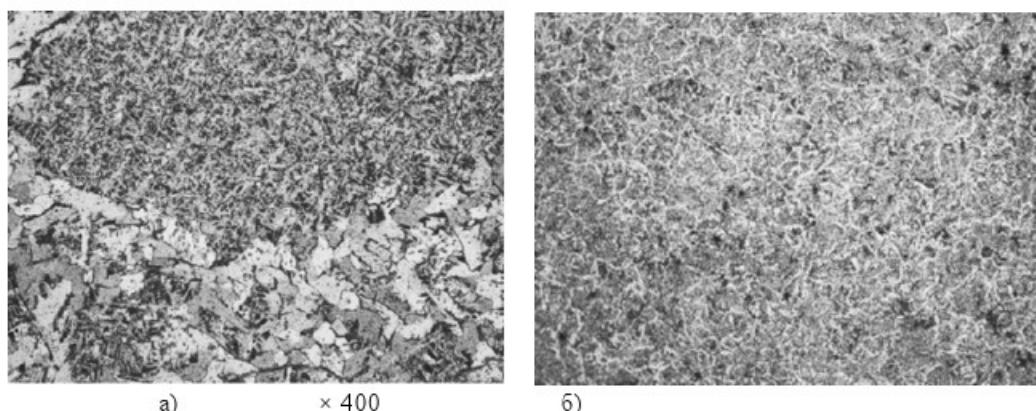
*Рис. 2 а) микроструктура сварного шва, выполненного электродами марки
УОНИ – 13/55 с добавлением в покрытие 0,1% Al_2O_3 , травление реактивом Обергоффера;
б) концентрация фосфора на границе газовой поры*

на ударный изгиб при отрицательных температурах.

На следующем этапе исследований выполнили замещение 5,5% вес. ферротитана, который содержится в покрытии электродов УОНИ-13/55, стандартный размер частиц которого составляет 400-630 мкм, частицами ферротитана, размер которых составил от 0,2 до 25 мкм (содержание частиц размером 25 мкм составляли 75,4%). Исполь-

зуя покрытие, модифицированное частицами ферротитана, изготовлены электроды диаметром 5 мм.

Выполнены проверку сварочно-технологических свойств электродов, а также механических свойств и химического состава металла, наплавленного электродами с модифицированным покрытием. Образцы для сварки были изготовлены в соответствие с ГОСТ 9466-75 п. 5.24, черт 7 А из листовой стали марки Ст3пс, толщи-



а)

× 400

б)

*Рис. 3 Микроструктура металла шва, наплавленного электродами марки УОНИ-13/55 а) – серийными
электродами, б) - электродами с модифицированным покрытием*

Таблица 4. Механические свойства металла шва

| Электроды марки УОНИ-13/55 Ø 5,0 мм | σ_u , Н/мм ² | δ_s , % | KСU, при 20°C, Дж/см ² |
|-------------------------------------|--------------------------------|----------------|-----------------------------------|
| серийные | 525 | 24 | 171 |
| 5,5% ФТи 0,2 - 25 мкм | 546 | 22 | 200 |
| Требования | не менее | | |
| ТУ 1272-260-05757676-2011 | 490 | 20 | 127 |

Таблица 5 Химический состав наплавленного металла

| Электроды марки УОНИ-13/55 Ø 5,0 мм | Массовая доля элементов, % | | | | |
|-------------------------------------|----------------------------|------|------|-------|-------|
| | C* | Si* | Mn* | S | P |
| серийные | 0,09 | 0,24 | 1,10 | 0,019 | 0,032 |
| 0,5% ФТи-30 ГОСТ 4761-91 | 0,08 | 0,17 | 0,83 | 0,017 | 0,020 |
| Требования | не более | | | 0,030 | 0,035 |
| ТУ 1272-260-05757676-2011 | - | - | - | | |

* – справочные данные

ной 18 мм. Образцы для механических испытаний изготовлены в соответствии с ГОСТ 6996.

Сварочно-технологические свойства электродов соответствуют 4-5 баллу РД 03-613-03. Механические свойства металла швов, наплавленных электродами марки УОНИ-13/55 диаметром 5,0 мм с покрытием, модифицированным мелкоразмерным ферротитаном, представлены в табл. 4, химический состав наплавленного металла приведен в табл.5.

Введение в состав электродного покрытия мелкоразмерного порошка ферротитана привело к следующим результатам:

- улучшилась отделимость шлака;
- повысилась ударная вязкость КСУ (на 17%);
- снизилось содержание фосфора в наплавленном металле шва (с 0,032 до 0,020%);
- микроструктура металла шва - более дисперсная и однородная (рис. 3 б)), в отличие от неравномерной структуры металла шва, наплавленного серийными электродами (рис.4 а)).
- ударная вязкость КСУ при минус 70°C составляет 66 Дж/см² (при нормативе – не менее 35),

в то время, как металл шва, наплавленный серийными электродами, выдерживает испытания на ударный изгиб только до минус 40°C.

Выводы

1. Модифицирование ультрамелкоразмерными частицами Al_2O_3 приводит к снижению ударной вязкости при отрицательных температурах металла шва, наплавленного электродами УОНИ 13/55 и МР-3.

2. Введение в электродное покрытие мелкоразмерных частиц ферротитана размером 0,2 – 25 мкм приводит к повышению механических свойств металла шва, наплавленного электродами марки УОНИ - 13/55, а также способствует улучшению отделения шлака.

3. Необходимо проведение дополнительных исследований, влияния размерности частиц ферросплавов и рудо-минерального сырья компонентов электродного покрытия, которые могут привести к существенному повышению механических свойств, а также сварочно-технологических свойств электродов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Гулляев А.П. Чистая сталь. – М.; Металлургия, 1975. – 178с.
- Гулляев А.П. О прочности // Металловедение и термическая обработка металлов. – 1983. - № 7. – С. 2-6.
- Соколов Г.Н., Трошков А.С., Лысак В.И., Самохин А.В., Благовещенский Ю.В., Алексеев Н.В., Цветков Ю.В. Влияние нанодисперсных карбидов WC и никеля на структуру и свойства наплавленного металла. // Сварка. Диагностика. 2011. № 3. С. 36 – 38.
- Модифицирование наплавленного металла нанодисперсными карбидами вольфрама / Г.Н. Соколов, И.В. Лысак, А.С. Трошков и др. // Физика и химия обработки материалов, 2009. № 6. С. 41 – 47.

□Авторы статьи

Гордин
Сергей Олегович
ведущий инженер ЦЗЛ ОАО
«Объединенный Западно-Сибирский
металлургический комбинат»,
тел. 8-903-985-92-81

Смирнов
Александр Николаевич,
докт.техн.наук, профессор каф.
«Технология машиностроения»
КузГТУ; тел. 8-903-946-47-13

Князьков
Виктор Леонидович,
канд.техн.наук, доцент каф. «Техно-
логия машиностроения» КузГТУ ,
тел. 8-903-946-47-14