

УДК 621.791

UDC 621.791

**ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ И  
РАЗРАБОТКИ СВАРОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ  
ДЛЯ СВАРКИ АУСТЕНИТНЫХ  
ХРОМОНИКЕЛЕВЫХ СТАЛЕЙ В  
МОНТАЖНЫХ УСЛОВИЯХ**

**THE PERSPECTIVES OF THE APPLICATION  
AND THE DEVELOPMENT OF WELDING  
MATERIALS FOR THE WELDING OF  
AUSTENITIC STEEL WITH CHROME AND  
NICKEL IN ASSEMBLY CONDITIONS**

Гаврилов Сергей Николаевич  
к.т.н.

Gavrilov Sergey Nikolaevich  
Cand.Tech.Sci.

Хицов Олег Владимирович  
*ОАО «Краснодаргазстрой», Краснодар, Россия*

Hitsov Oleg Vladimirovich  
*PJSC Krasnodargazstroy, Krasnodar, Russia*

Ниров Аслан Дантесович  
к.т.н.

Nirov Aslan Dantesovich  
Cand.Tech.Sci.

Пломодьяло Роман Леонидович  
к.т.н.  
*Кубанский государственный технологический  
университет, Краснодар, Россия*

Plomodyalo Roman Leonidovich  
Cand.Tech.Sci.  
*Kuban State Technological University, Krasnodar,  
Russia*

В статье произведен обзор существующих сварочных материалов для сварки аустенитных хромоникелевых сталей. Дано экономическое обоснование использования порошковых проволок при сварке аустенитных хромоникелевых сталей по сравнению с покрытыми электродами

Existing welding materials for the welding of austenitic steel with chrome and nickel were examined in this article. We also gave the economic justification of the usage of cored wires when welding the austenitic steel with chrome and nickel in comparison with coated electrodes

Ключевые слова: СВАРКА, СВАРОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ, ПОРОШКОВАЯ ПРОВОЛОКА

Keywords: WELDING, WELDING MATERIALS, CORED WIRES

В настоящее время в развитых странах мирового сообщества широкое распространение получили нержавеющие хромоникелевые стали, применяемые, в основном, при изготовлении объектов химического машиностроения, судовых конструкций, при сооружении газонефтепроводов, обсадных труб, глубоководных платформ, сейсмостойких высотных мачтовых конструкций, а также объектов атомной промышленности.

Столь широкое применение данных сталей (стали типа 18-10) объясняется наличием у последних требуемых специальных свойств: стойкости против атмосферной, жидкостной и газовой коррозии, жаропрочности, а также высоких и стабильных прочностных и пластических свойств в широком диапазоне температур.

При производстве конструкций из жаропрочных и кислотостойких аустенитных хромоникелевых сталей (08X18H10T, 10X18H10T, 12X18H10T и т.п.) основным видом сварки является дуговая сварка плавлением. При сварке нержавеющей сталей применяют ручную дуговую сварку покрытыми электродами, механизированную и автоматизированную сварку проволоками сплошного сечения в среде защитных газов (Ar, CO<sub>2</sub>, Ar + CO<sub>2</sub>), порошковыми проволоками в среде защитных газов, а также самозащитными порошковыми проволоками.

Для сварки аустенитных хромоникелевых сталей и их сплавов покрытыми электродами применяют следующие отечественные марки электродов: ЦЛ-11, ЦТ-15, ОЗЛ-7, ОЗЛ-8, Л-40М, ЗИО-3, ЦТ-15-1, НБ-38, ОЗЛ-36 и т.д., имеющие преимущественно основной, а также рутиловый вид покрытия, классификационный тип Э-08X19H10Г2Б, Э-07X20H9 ГОСТ 10052-75 и т.п. Также широко применяют электроды зарубежного производства. Так, например, фирма ESAB выпускает широкую номенклатуру электродов для сварки нержавеющей и жаростойких сталей. Электроды данной фирмы марок ОК61.25, ОК61.30, ОК61.35, ОК61.81, ОК61.85, ОК63.34 соответствуют вышеперечисленным отечественным аналогам и имеют рутиловый и основной вид покрытия, классификационный тип Э-07X20H9 ГОСТ 10052-75 и т.п. Вышеперечисленные электроды как отечественного, так и зарубежного производства обладают высокими сварочно-технологическими свойствами, наплавляемый ими металл шва отличается устойчивостью против горячих трещин и пор, обеспечивают стойкость сварного шва против межкристаллитной коррозии, жаростойкость. Применение некоторых марок электродов обеспечивает получение стабилизированных сварных швов за счет легирования электродов титаном и ниобием.

В настоящее время в развитых странах производство сварочных материалов для сварки аустенитных хромоникелевых сталей продолжает

совершенствоваться путем изменения структуры производства, модернизации и оснащения современным оборудованием производственных мощностей, увеличением доли высокотехнологичных сварочных материалов. Повсеместно наблюдается снижение объемов производства покрытых электродов. Это является следствием заметного снижения применения ручной сварки электродами и увеличения доли механизированной и автоматизированной сварки порошковой проволокой, а также проволокой сплошного сечения; при этом достигается наибольший экономический эффект, высокие качество и производительность труда сварщика [1].

По статистическим данным о структуре мирового рынка сварочных материалов можно судить о тенденции развития производства сварочных материалов в сторону преобладания материалов для механизированной и автоматизированной сварки [2].

При замене электродов порошковой проволокой, а тем более самозащитной порошковой проволокой на монтаже объектов химического машиностроения, нефтегазопроводных и обсадных труб из нержавеющей хромоникелевой стали эффективность обеспечивается за счет экономии дорогостоящих легирующих металлов – хрома и никеля, так как при ручной сварке их потери составляют 60-65%, а при сварке порошковыми проволоками 15-20% (коэффициенты перехода данных элементов зависят от металлургических условий сварки и могут быть найдены экспериментально).

На данный момент созданы новые марки порошковых проволок, расширены области их применения, совершенствуется оборудование и технология производства. Например, фирмы «Lincoln Electric», «Hobart», «ESAB», «S.A.F.-Oerlicon», «Thyssen-Böhler», «Kobelco», «Elga» и др. производят и рекламируют десятки марок порошковых проволок для сварки в  $\text{CO}_2$ , в смеси газов ( $\text{Ar} + \text{CO}_2$ ), под флюсом, а также

самозащитные. Эти проволоки могут быть использованы как для сварки малоуглеродистых, низколегированных, теплоустойчивых, высокопрочных, жаропрочных, так и нержавеющей сталей в судостроении, машиностроении, энергетике, горнодобывающей промышленности, строительстве и других отраслях [3]. Новые порошковые проволоки отличаются хорошей формой швов, малым количеством брызг и аэрозолей. Появилось много марок проволок с металлическим сердечником (металлкор), а также рутиловым для сварки нержавеющей сталей.

Используются две технологии изготовления проволок – из ленты и сварной трубки, причем наиболее распространена первая. Широко применяется проволока диаметром 1,2 мм. Лидерами по производству порошковых проволок для сварки нержавеющей и высоколегированных хромоникелевых сталей в настоящее время являются фирмы «Kobelco», «Böhler». Однако, самозащитные проволоки для этих целей отсутствуют.

Механизированная сварка в среде защитных газов изделий из жаропрочных и кислотостойких сталей открытой дугой в условиях монтажа на открытых площадках требует защиты сварочной ванны от ветра и от атмосферных осадков, что в значительной степени затрудняет процесс сварочных работ.

Существующие в мире порошковые проволоки позволяют осуществлять сварку аустенитных хромоникелевых сталей с применением защитных газов (порошковые проволоки марок ОК Tubrod 14.20, ОК Tubrod 14.30, ОК Tubrod 14.34 концерна «ESAB» и др.), это требует использования газовых баллонов с CO<sub>2</sub>, Ar, а также смесями этих газов, что нежелательно в монтажных условиях. Таким образом, несмотря на то, что данные порошковые проволоки обладают высокими сварочно-технологическими свойствами, наплавляемый металл сварного шва отличается устойчивостью против горячих трещин и пор, обеспечивают

стойкость шва против межкристаллитной коррозии, жаростойкость, однако, этого недостаточно в монтажных условиях.

Повышение уровня механизации сварочных работ при сооружении в монтажных условиях емкостей, бойлеров и трубопроводов из аустенитных хромоникелевых сталей возможно при разработке специальной самозащитной порошковой проволоки, обеспечивающей высокие эксплуатационные свойства сварных соединений объектов, длительно работающих с агрессивными компонентами. Для обеспечения требуемого уровня механических характеристик металла шва при сварке этих сталей самозащитная порошковая проволока должна обеспечить состав металла шва и газообразующий состав шихты заполнителя аналогичный электродам типа Э-08Х19Н10Г2Б (марок ЦЛ-11, ЦТ-15 и т.п.), а по производительности соответствовать сварке в среде защитных газов. Таким образом, применение самозащитной порошковой проволоки должно обеспечивать снижение трудоемкости сварочных работ, повышение производительности и качества сварки.

Использование самозащитной порошковой проволоки для сварки аустенитных хромоникелевых сталей, изготовленной из стальной ленты марки Св 08кп, приводит к неоднородности металла шва, в первую очередь это относится к основным легирующим компонентам – хрому и никелю.

Предварительные испытания показали, что можно избежать столь существенного выгорания данных компонентов и их неравномерного распределения путем легирования шва хромом и никелем через оболочку, изготавливаемую из аустенитных хромоникелевых сталей марок 08Х18Н10Т и т.п., то есть соответствующую свариваемой стали по составу и свойствам. Состав шихты сердечника будет состоять в основном из газо- и шлакообразующих компонентов.

В настоящее время существуют аналогичные зарубежные порошковые проволоки для сварки аустенитных хромоникелевых сталей в

среде защитных газов, имеющие оболочку (трубку) из коррозионностойкой стали, порошковые проволоки серии DW с трубкой из нержавеющей стали, очевидна потребность в разработке в отечественной самозащитной порошковой проволоки данного назначения.

Эффективность защиты расплавленного металла и технологические показатели сварки порошковой проволокой определяются одновременностью плавления металлической оболочки и порошкового сердечника. Для выравнивания плавления используют конструкции проволок, в которых часть металлической ленты располагается в полости, образованной оболочкой проволоки [4]. Сложность конструкции оболочки характеризуется коэффициентом формы –  $K_f$ , который выбирается опытным путем. Следовательно, повышение производительности и качества сварки можно осуществлять путем варьирования  $K_f$  от 0 (трубчатая оболочка) до 1,3 (двухслойная оболочка). Порошковая проволока наиболее распространенных конструкций представлена на рисунке 1. При повышении коэффициента формы ( $K_f$ ) – обеспечивается более эффективная защита металла шва от азота [4].

Кроме того, использование проволоки с повышенным коэффициентом формы ( $K_f$ ) позволяет увеличить долю неметаллической части сердечника (без ухудшения показателей одновременного плавления сердечника и оболочки), получить более низкое содержание азота в наплавленном металле и повысить производительность сварки.

Обобщенным показателем эффективности использования проволоки может служить выход наплавленного металла, определяемого как отношение его массы (за вычетом потерь на разбрызгивание) к массе расплавленной проволоки.

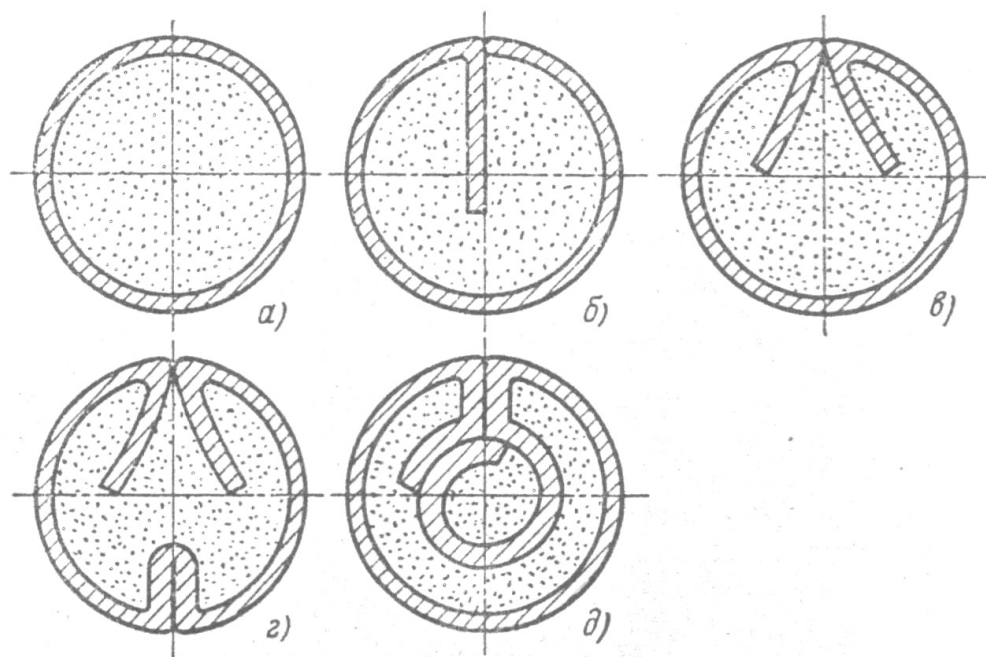


Рисунок 1 – Порошковые проволоки наиболее распространенных конструкций, характеризующиеся различными коэффициентами формы:

а-0; б-0.31; в-0.57; г-0.73; д-1.3

Применение самозащитной порошковой проволоки для сварки аустенитных хромоникелевых сталей позволит значительно повысить скорость, обеспечить легкость сварки во всех пространственных положениях, снизить трудоемкость сварочных работ, повысить их производительность и качество. В качестве обобщенного показателя технологической надежности изготовления проволоки принята относительная себестоимость ее изготовления. Причем, выход наплавленного металла возрастает с увеличением  $K_{\phi}$ , т.е. можно предположить, что максимальная выгода ожидается от применения порошковой проволоки с двухслойной оболочкой.

В завершение теоретических исследований произведен примерный расчет разницы фактической себестоимости изготовления самозащитной порошковой проволоки с трубкой из нержавеющей стали по сравнению с электродами ЦЛ-11 аналогичного назначения (таблица 1), где  $K_{\Pi}$ ,  $K_3$  –

коэффициент покрытия электродов и коэффициент заполнения порошковой проволоки соответственно.

Таблица 1 - Сравнение фактической калькуляции себестоимости изготовления 1 т порошковой проволоки ПП–НЖ–1 и электродов ЦЛ – 11

К<sub>з</sub> = 30      К<sub>п</sub> = 30

Статьи расхода	Ед. измерения	Норма расхода	Цена, тыс. руб.	Сумма, руб. ПП-НЖ-1	Сумма, руб. ЦЛ – 11
1. Материалы :					
Лента (проволока)	кг/т	700	144(123)	100800	86100
Мрамор	кг/т	99	1,3	129	129
Флюорит CaF <sub>2</sub>	кг/т	121	6,7	811	811
Рутил	кг/т	18	21,5	387	387
Ф/марганец	кг/т	18	30	540	540
Ф/силиций	кг/т	17	20	340	340
Ф/титан	кг/т	12	42	504	504
Ф/ниобий	кг/т	6	768	4608	4608
Каолин	кг/т	6	3	18	18
Сода кальцинированная	кг/т	3	4	12	12
<b>Итого:</b>				<b>108149</b>	<b>93467</b>
Потери материалов 5%				5407	4673
Транспортные расходы				11356	11356
<b>Итого стоимость материалов</b>				<b>124912</b>	<b>109496</b>
2. Электроэнергия на техн. нужды	кВт/ч	500	1,4	700	700
3. Зар. плата производств. рабочих	руб.			1000	1000
4. Отчисления от ФОТ (38,5 %)	руб.			359	359
5. Накладные расходы (100 % к основной зарплате)	руб.			1000	1000
<b>6. Производственная себестоимость</b>	<b>руб.</b>			<b>127971</b>	<b>112555</b>
7. Внепроизводственные затраты	руб.			3839	3839
<b>8. Полная себестоимость</b>	<b>руб.</b>			<b>131810</b>	<b>116394</b>
9. Прибыль	руб.			26362	23278
<b>10. Учетная цена</b>	<b>руб.</b>			<b>158172</b>	<b>139673</b>
11. НДС (20 %)	руб.			31634	27934
<b>12. Отпускная цена</b>	<b>руб.</b>			<b>189806</b>	<b>167607</b>

Так как коэффициент расхода электродов ЦЛ-11:  $K_p^3 = 1,67$ , то стоимость 1 кг наплавленного металла при сварке электродами ЦЛ-11, согласно таблице 1:

$$S_3 = 167,607 \cdot 1,67 = 279,9 \text{ руб/кг.}$$



Имея для порошковой проволоки коэффициент расхода:  $K_p^{п/п} = 1,15$ , стоимость 1 кг наплавленного металла при сварке порошковой проволокой ПП-НЖ-1 составит согласно таблице 1:

$$S_{п/п} = 189,806 \cdot 1,15 = 218,3 \text{ руб/кг.}$$

Доход от применения проволоки ПП-НЖ-1 составит:

$$D = S_{э} - S_{п/п} = 279,9 - 218,3 = 61,6 \text{ руб/кг.}$$

Таким образом, ожидаемый доход при изготовлении и применении ПП-НЖ-1 составит около 20 % от стоимости 1 кг наплавленного металла в сравнении с электродами марки ЦЛ-11. При этом, производительность труда сварщика увеличивается в 2-2,5 раза.

### **Выводы**

Произведен обзор существующих сварочных материалов для сварки аустенитных хромоникелевых сталей. Самозащитные порошковые проволоки наряду с широкими технологическими возможностями при сварке аустенитных хромоникелевых сталей в монтажных условиях, имеют более высокую производительность и экономические показатели, по сравнению с покрытыми электродами.

Установленные практикой преимущества порошковых проволок [1, 4, 5] ставят их в ряд более перспективных сварочных материалов, чем проволоки сплошного сечения для полуавтоматической и автоматической сварки плавлением, а их усовершенствование, разработку и внедрение в число актуальных задач, требующих соответствующих теоретических и экспериментальных исследований.

В соответствии с вышесказанным, в настоящее время, в результате проведенных теоретических [6-8] и экспериментальных исследований [9, 10] разработана и внедрена в производство отечественная самозащитная порошковая проволока с оболочкой из нержавеющей стали для сварки аустенитных хромоникелевых сталей в монтажных условиях.

### Список литературы

1. Мойсов Л.П. Порошковая проволока – сварочный материал XXI века. // Монтажные и специальные работы в строительстве. 2002. № 9. С 7-10.
2. Кусков Ю.В., Полищук Г.Н. Эволюция производства сварочных материалов и перспективы нового тысячелетия. // II Международная конференция по сварочным материалам стран СНГ. Сборник докладов. Орел, 4-8 июля 2001г. С 97-98.
3. Походня И.К. Металлургия сварки, состояние и проблемы // Сборник трудов Международной конференции «Сварка и родственные технологии – в XXI век»; ИЭС им. Е.О.Патона. Киев, 1998. С. 227-245.
4. Походня И.К., Альтер В.Ф., Шлепаков В.Н., Рак П.И. Показатели изготовления и использования порошковых проволок различной конструкции. // Сварочное производство. 1985. № 8. С 33-34.
5. Кусков Ю.В., Полищук Г.Н. Эволюция производства сварочных материалов и перспективы нового тысячелетия. // II Международная конференция по сварочным материалам стран СНГ. Сборник докладов. Орел, 4-8 июля 2001г. С 97-98.
6. Гаврилов С.Н., Мойсов Л.П., Поправка Д.Л. Регулирование парогазовой защиты при сварке порошковой проволокой. «Монтажные и специальные работы в строительстве». №6, 2005 г., С. 8-11.
7. Гаврилов С.Н. Экономическая целесообразность замены электродов ЦЛ-11 самозащитной порошковой проволокой для сварки аустенитных хромоникелевых сталей в монтажных условиях. «Сварщик профессионал», №5, 2003 г. С. 23.
8. Бурылев Б.П., Мойсов Л.П., Гаврилов С.Н., Крицкий В.Е.. Расчет растворимости азота в системах на основе сплавов железо-хром-никель. «Сварочное производство», № 12, 2004г., С. 9-11, 62, 63
9. Патент на изобретение RU № 2281843. Самозащитная порошковая проволока для сварки аустенитных хромоникелевых сталей/ Гаврилов С.Н., Поправка Д.Л., Очагов В.Н. – 20.08.2006г.
10. Гаврилов С.Н. Разработка самозащитной порошковой проволоки для сварки аустенитных хромоникелевых сталей в монтажных условиях. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. 05.03.06 Краснодар, 2007. 217 с.

### References

1. Moysov L.P. Cored wire - a welding material of the XXI century. // Installation and special works in the construction. 2002. No. 9. P 7-10.
2. Kuskov Y.V., Polischuk G. N. Evolution of the production of welding materials and prospects of the new millennium. // II International conference on welding materials of CIS countries. Collection of reports. Eagle, on July 4-8, 2001. P 97-98.
3. Pokhodnya I.K. Welding metallurgy, condition and problems // Collection of works of the International conference "Welding and Related Technologies - in the XXI Century"; IES of EOPaton. Kiev, 1998. P 227-245.
4. Pokhodnya I.K., Alter V. F., Shlepakov V. N., Rak P.I. Indicators of the production and the usage of cored wires of various structures. // Welding production. 1985. No. 8. P 33-34.
5. Kuskov Y.V., Polischuk G. N. Evolution of the production of welding materials and prospects of the new millennium. // II International conference on welding materials of CIS countries. Collection of reports. Eagle, on July 4-8, 2001. P 97-98.

6. Gavrilov S. N., Moysov L.P. Popravka D.L. Regulation of steam-gas protection when welding with a cored wire. "Installation and special works in the construction". No. 6, 2005 of, P 8-11.

7. Gavrilov S.N. Economic feasibility of the replacement of electrodes of TsL-11 with a self-protective cored wire for the welding of austenitic steel with chrome and nickel in assembly conditions. "Welder professional", No. 5, 2003. P 23.

8. Burylev B. P., Moysov L.P., Gavrilov S. N., Kritsky V.E.. Calculation of the solubility of nitrogen in systems on the basis of iron-chrome-nickel alloys. "Welding production", No. 12, 2004 of, Page 9-11, 62, 63

9. The patent for the invention RU № 2281843. Self-protective cored wire for the welding of austenitic steel with chrome and nickel / Gavrilov S. N., Popravka D.L., Oshagov B. N. - 20.08.2006.

10. Gavrilov S. N. Development of a self-protective cored wire for the welding of austenitic steel with chrome and nickel in assembly conditions. The dissertation for the scientific degree of Candidate of Technical Sciences. 05.03.06 Krasnodar, 2007. 217 p