

## СПЛАВЫ НА КОБАЛЬТОВОЙ ОСНОВЕ ДЛЯ НАПЛАВКИ

Р. РОСЕРТ

RCT GmbH, г. Дрезден, Германия. E-mail: reinhard.rosert@gmx.de

Многие современные стальные конструкции характеризуются высокими механическими свойствами соединений, а также хорошей коррозионной стойкостью используемых материалов. Облицовка основных материалов с выбранными механическими свойствами наплавкой порошковой проволокой на основе кобальта является надежным способом получения требуемой комбинации свойств, например, коррозионной стойкости и износостойкости. Преимущества порошковых проволок за счет обеспечения разнообразного химического состава наплавленного металла, надежности и высокой производительности доказаны во многих производственных применениях. В этой статье описаны примеры использования порошковых проволок на кобальтовой основе в двух различных сварочных процессах (наплавке неплавящимся вольфрамовым электродом-TIG и наплавке плавящимся электродом в защитном газе-MSG). При этом представлены различные шлаковые системы проволок и их свойства. Кроме того проводится сравнение с другими процессами дуговой наплавки. На конкретных примерах показано разнообразие случаев применения порошковой проволоки на основе кобальта. Обсуждается влияние различных параметров на процесс наплавки. Библиогр. 11, табл. 4, рис. 10.

*Ключевые слова:* дуговая наплавка, металлпорошковая проволока, кобальтовая основа, производство, легирование, стандартизация, свойства, применение

**Производство порошковых проволок на основе кобальта для наплавки.** Порошковые проволоки на кобальтовой основе для наплавки являются вальцованными. Пока известны исключительно порошковые проволоки с перекрытием ленты (рис. 1).

Производство в безшовном виде кобальтовых проволок пока невозможно из-за более низкой степени заполнения безшовных порошковых проволок. Порошковые проволоки на кобальтовой основе являются металлпорошковыми (М-тип). В отличие от средне- и высоколегированных порошковых проволок для наплавки коррозионно- и износостойких слоев, которые состоят в основном из нелегированной ленты и высоколегированного заполнения, высококачественные легированные порошковые проволоки на основе кобальта состоят из ленты чистого кобальта и на-

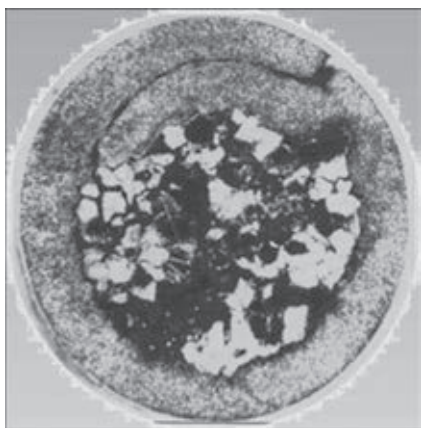


Рис. 1. Вальцованная порошковая проволока с перекрытием ленты

полнителя, содержащего легирующие элементы, раскислители, элементы для стабилизации дуги и шлакообразующие.

Для достижения точной округлости проволоки перед намоткой на катушку при производстве после прокатных проходов применяется волочение точными алмазными фильерами.

Принцип изготовления проволоки показан на рис. 2.

Металлпорошковые проволоки обеспечивают очень мелкокапельный перенос металла при наплавке и характеризуются отсутствием шлака на поверхности. Находящиеся на поверхности шва частички оксидов марганца и силикатов легко удаляются. Кроме высокой производительности наплавки проволоками М-типа достигается значительное проплавление основного металла. Эти порошковые проволоки можно использовать во всех пространственных положениях. Предпочтительно применение импульсной техники. В общем, проволоками М-типа наплавляют в среде защитных газов по стандарту DIN EN ISO 14175. Применяют при этом сварочные газы класса — П или М1х. Кобальтовые порошковые проволоки также используются как присадочный материал при наплавке неплавящимся вольфрамовым электродом. Подача проволоки может при этом осуществляться в холодном или подогретом состояниях. Кроме того, можно наплавлять порошковые проволоки на основе кобальта без защитного газа. В этом случае порошковые проволоки относятся к типу U. Их применяют для одно- и многопроходной наплавки в горизонтальном положении. Заполнение таких проволок состоит из легирующих элементов, ста-

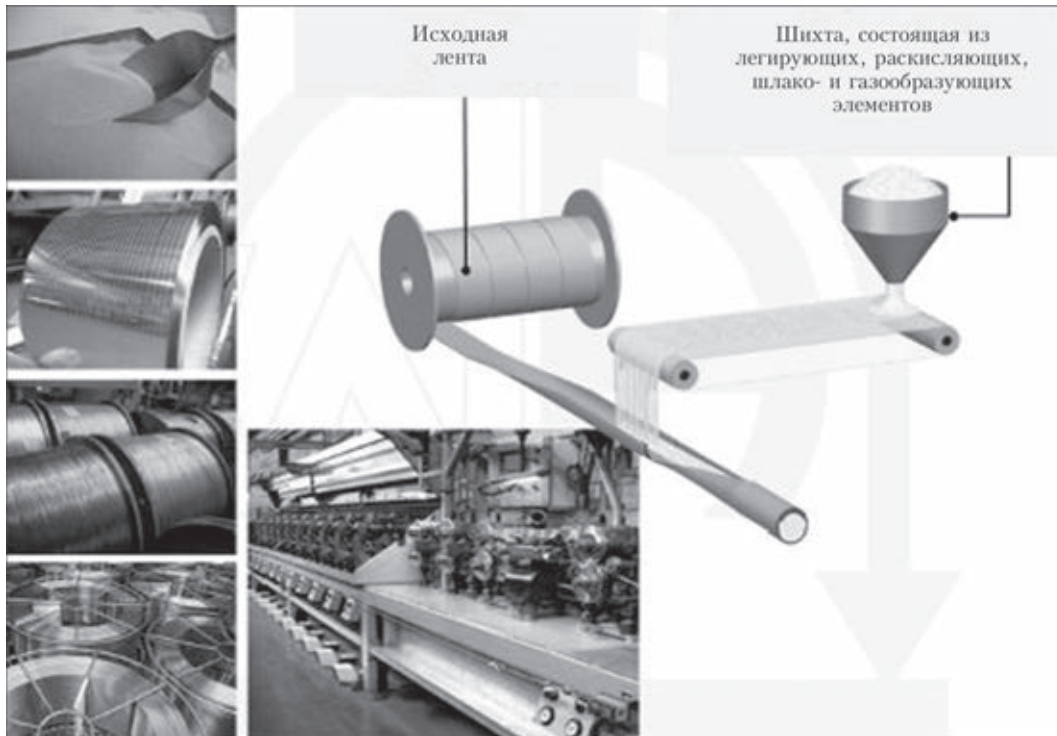


Рис. 2. Производство порошковых проволок на кобальтовой основе

биллизаторов дуги и газообразующих, а также возможна добавка шлакообразующих.

**Группы легирования.** В табл. 1 представлены обычные сварочные процессы, используемые для коррозионно-стойкой наплавки кобальтовыми порошковыми проволоками, виды защиты и позиции наплавки.

**Стандартные сплавы.** Табл. 2 иллюстрирует типичные сплавы со значениями твердости металла шва при комнатной температуре и вплоть до 800 °С. В дальнейшем приведены основные области их применения. Сплавы 21 и 6 – это сегодня те, которые найдут самое широкое применение в промышленности, особенно для наплавки седел клапанов и уплотнительных поверхностей в нефтяной или в газовой промышленности. Эти сплавы обладают оптимальным сочетанием стойкости против истирания, коррозии и воздействия ударов.

Таблица 1. Группы легирования

Группа легирования	Кобальтовая основа	
	STELLOY	
WA Cored Wires TM	G	O
Процесс сварки по EN ISO 4063:	139	114
Процесс сварки по AWS	FCAW-G	FCAW
	FCAW-P	–
Классификация AWS	ERCCoxxx	ERCCoxxx
Тип наполнения	Металлопорошок	Самозащитный
	M	U
Позиция сварки:	PA	PA
Защитный газ по ISO 14175	I1, M1x	–

Металл наплавки не имеет трещин, если технология наплавки строго соблюдается.

**Состояние текущей стандартизации.** Международная стандартизация (EN и ISO стандарты), а также национальные правила позволяют классифицировать присадочные материалы для наплавки. Тем не менее, порошковые проволоки имеют здесь особое положение. Не для каждой системы легирования есть стандарт. Табл. 3 дает обзор состояния классификационных стандартов для дуговой наплавки.

**Свойства наплавочных покрытий.** Кобальтовые порошковые проволоки классифицируются в рамках материалов для наплавки в соответствии с EN 14700, а в ASME II C SFA 5.21 даже можно найти стандартные материалы на основе кобальта для наплавки.

**Влияние технологических параметров.** Дуговая наплавка порошковой проволокой, как правило, имеет более высокую производительность (до 10 кг/ч или 0,4 м<sup>2</sup>/ч) по сравнению со сплошными проволочными электродами, но не имеет их недостатков при наплавке.

Профиль проплавления похож на профиль при дуговой наплавке электродами. Однако, можно уменьшить глубину проплавления. При наплавке кобальтовыми порошковыми проволоками можно регулировать проплавлением и тем самым содержанием железа в наплавленном слое.

Для этого необходима оптимизация параметров процесса наплавки кобальтовыми порошковыми проволоками.

Таблица 2. Типичные стандартные сплавы

Тип сплава	1	6BC	6	6PC	12	21	25
	Диаметр проволоки, мм						
МИГ электроды	1,2, 1,6, 2,4 2,5...5,0	1,2, 1,6, 2,4 N/A	1,2, 1,6, 2,4 2,5...5,0	1,2, 1,6, 2,4 N/A	1,2, 1,6, 2,4 2,5...5,0	1,2, 1,6, 2,4 2,5...5,0	1,2, 1,6 2,5...5,0
ТИГ проволока	N/A	1,2...1,6	1,2...1,6	1,2...1,6	N/A	1,2...1,6	N/A
EN 14700	TCo3	TCo2	TCo2	TCo2	TCo2	TCo1	TZCo1
Типичный химический состав металла шва	C 2.3 Cr 29 W 12 Mn 1.0 Si 1.0 Fe 4.0 Co Осн.	C 0.9 Cr 28.5 W 4.5 Mn 1.0 Si 1.0 Fe 4.0 Co Осн.	C 1.05 Cr 28.5 W 4.5 Mn 1.0 Si 1.0 Fe 4.0 Co Осн.	C 1.2 Cr 28.5 W 4.5 Mn 1.0 Si 1.0 Fe 4.0 Co Осн.	C 1.5 Cr 30 W 7.5 Mn 1.0 Si 1.0 Fe 4.0 Co Осн.	C 0.23 Cr 28 Mo 5.5 Ni 3.0 Mn 1.0 Si 1.0 Co Осн.	C 0.15 Cr 20 W 14 Ni 9.5 Mn 1.5 Si 1.0 Fe 4.0 Co Осн.
Твердость металла шва 200 °C Rc Бринель 400 °C 600 °C 800 °C	53 495...560 465 420 370 330	38 350...380	Work Hardens 42 380...415 370 320 255 240	44 410...430	45 415...455 410 370 315 275	Work Hardens 33 300...340 280 255 235 220	21 210...260 180 145 130 120
Сопротивление образованию трещин	*	****	***	**	**	****	****
Ударная прочность	*	***	***	**	**	****	****
Износ металла о металл	***	***	***	***	***	****	****
Коррозия	****	****	****	****	****	****	****
Износ в холод. состоянии	****	**	***	***	****	**	**
Износ в горячем состоянии	****	**	***	***	****	**	***
Обработываемость материала	****	**	**	**	**	****	****

Таблица 3. Классификация стандартов для порошковых проволок

Стандарт	Материал						
	Малоуглеродистые и низколегированные стали	Высокопрочные стали	Теплоустойчивые стали	Нержавеющие и жаростойкие стали	Никелевый сплав	Чугун	Твердые сплавы
DIN	8559	–	–	–	–	8573	8555
EN	758	12535	12071	12073	–	1071	14700*
ISO	17632*	18276*	17634*	17633*	12153	1071*	–

\* Действующие государственные стандарты.

Влияние технологических параметров при дуговой наплавке порошковой проволокой можно описать следующим образом:

– *сварочный ток*: ширина и усиление шва, а также проплавление увеличиваются с ростом силы тока;

– *скорость наплавки*: ширина и усиление шва уменьшаются при увеличении скорости сварки. Глубина проплавления и степень перемешивания с основным металлом увеличиваются при возрастании скорости сварки;

– *длина дуги*: глубина проплавления и степень перемешивания с основным металлом уменьшаются с увеличением длины дуги;

– *положение горелки*: с наклоном горелки вперед глубина проплавления, степень перемешивания с основным металлом и усиление шва увеличиваются; с увеличением угла наклона горелки этот эффект усиливается, а ширина шва уменьшается;

– *предварительный подогрев*: глубина проплавления, степень перемешивания с основным металлом и ширина шва увеличиваются с возрастанием температуры подогрева, а усиление шва снижается;

– *защитный газ*: чем выше содержание CO<sub>2</sub> в защитном газе, тем выше глубина проплавления и степень перемешивания с основным металлом. Степень перемешивания увеличивается при применении газов (без гелия) в следующем порядке: П1 < М13 < М12 < М20 < М21 < CO<sub>2</sub>.

**Сравнение газодуговой наплавки кобальтовой порошковой проволокой с другими процессами наплавки.**

Дуговая наплавка порошковой проволокой имеет ряд преимуществ по сравнению с другими процессами дуговой наплавки. К ним относятся: низкая погонная энергия; низкая деформация; низкое перемешивание с основным металлом; возможность однослойной наплавки; наличие

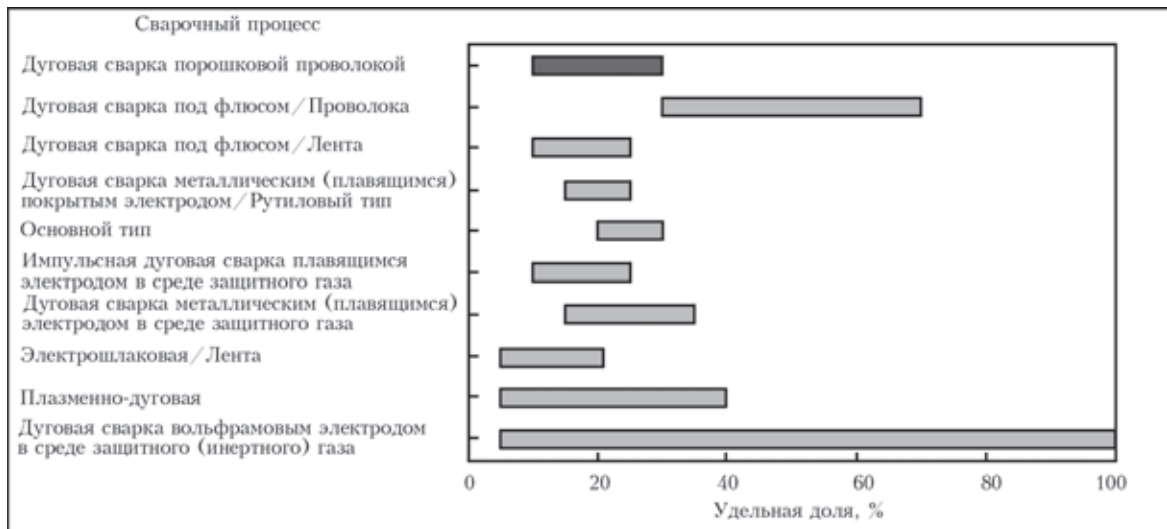


Рис. 3. Глубина проплавления в зависимости от способа наплавки

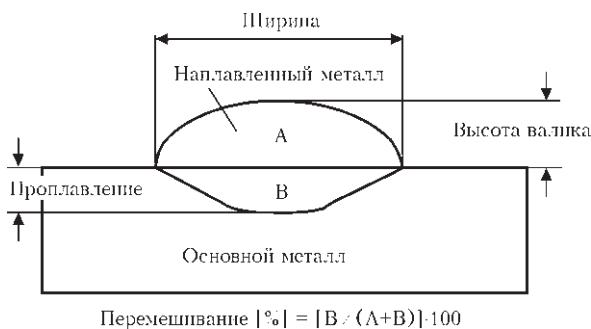


Рис. 4. Определение коэффициента проплавления

Табл. 4 отражает важные отличительные критерии для различных способах наплавки. Высокая чистота наплавленного порошковой проволокой металла на основе кобальта сплава 1 показано на рис. 5. Это изображение показывает соответствующую микроструктуру. Замечательно при этом, то что дендритная структура характеризуется очень высокой чистотой.

**Примеры применения.** Следующие примеры показывают разнообразие порошковых проволок на основе кобальта. Сплавы на основе кобальта используются при высоких температурах, где требуются высокая износо- и коррозионностойкость, например, для уплотнительных поверхностей высокого давления, шнеков экструдеров в производстве пластмасс, пресс-форм в керамической промышленности, инструментов в кузнечной промышленности, горячих ножниц или клапанов вентилей. Для различных сплавов могут быть изготовлены соответствующие порошковые проволоки. Их можно наплавлять дуговой наплавкой без или с применением импульсной техники. Предпочтительно применять чистый аргон в качестве защитного газа. При дуговой наплавке неплавящимся электродом можно использовать Ag или смесь Ag + He как защитный газ.

На рис. 6 показана TIG наплавка со сплавом Hastelloy 6 на седло клапана. Для буферного слоя в этом случае можно использовать сталь типа 309L. Рис. 9 показывает MSG-покрытие с

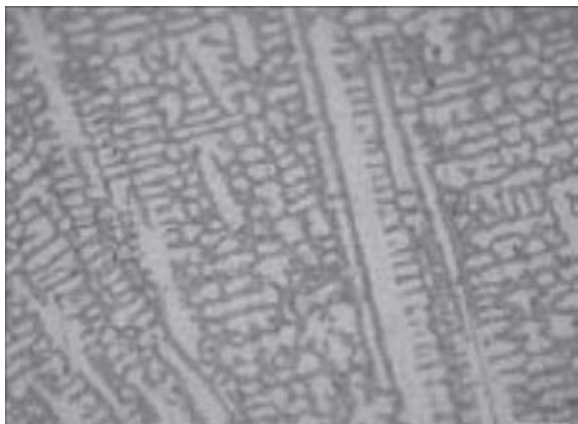


Рис. 5. Микроструктура наплавленного металла проволокой Stelloy 1-G

большой разновидности возможных химических составов наплавляемого металла; возможность наплавки в различных пространственных положениях; низкий объем последующей обработки.

Таблица 4. Сравнение различных способов наплавки

Процесс	Автоматизация	Производительность плавления, кг/ч	Инвестиции	Позиции сварки	Преимущества	Ограничения
GTAW-Hot wire	+	1-2	Высокие	Все	Высокое качество	Размеры/Расходы
GTAW FCW	+	3-5	Средние	Все	-"-	Производительность
GTAW solid	+	1-2	-"-	1G/3G (PA, PG)	Стоимость	Качество
SMAW	-	0,5-2	Низкие	Все	Гибкость	Возможность автоматизации
ESW	+	До 25	Высокие	1G (PA)	Цена/кг наплавленного металла	Размеры



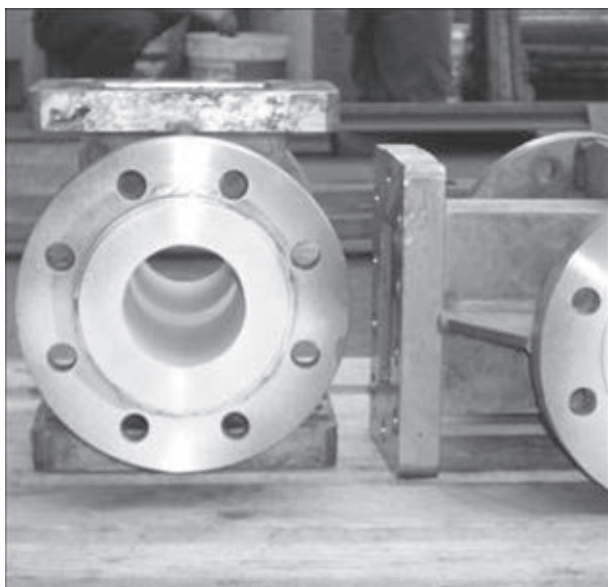


Рис. 6. Один слой покрытия Хастеллой 6, выполненный способом TIG

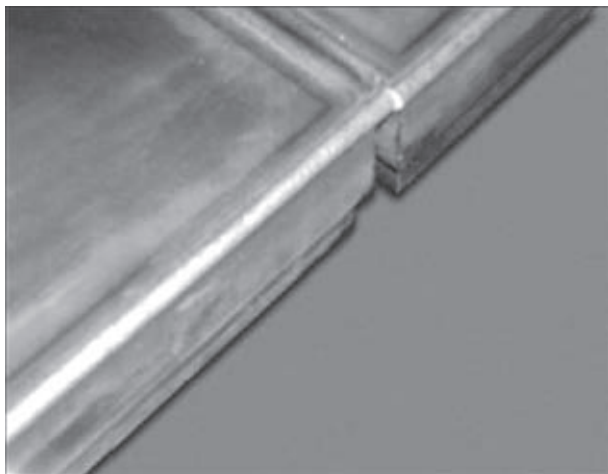


Рис. 7. Наплавка кромок сплавом Hastelloy G-6

Hastelloy G-6 для керамической формы. Рис. 10 показывает однослойную дуговую наплавку кобальтовой порошковой проволокой типа Stelloy 21-G на поверхность вентиля двигателя.

Другой пример применения высокотемпературных кобальтовых сплавов можно привести из сталелитейной промышленности. Горячие ножи режут стальные стержни и слябы при температурах 800 °С. За счет длительного контакта с горячим материалом ножи подвержены термической усталости и необходимо их защитить. На рис. 10 показана типичная многослойная наплавка на нож для горячей резки. После наплавки проводят термическую обработку и последующую механическую обработку.

**Термические условия при наплавке кобальтовыми порошковыми проволоками.** В большинстве случаев основным критерием получения высококачественного покрытия со сплавами на основе кобальта является получение наплавно-



Рис. 8. Наплавка вентиля сплавом Stelloy 21-G

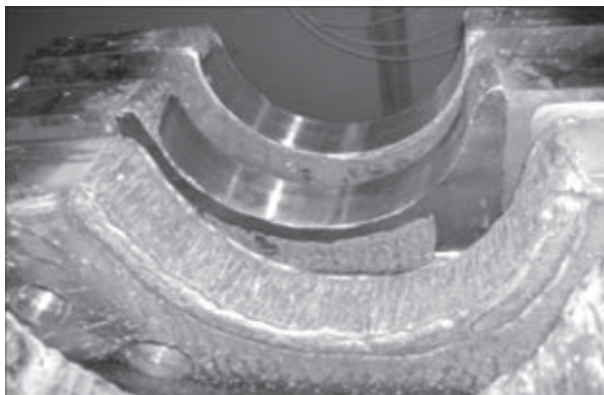


Рис. 9. Многослойная наплавка лопасти ножа для горячей резки

го покрытия без трещин и с высокой твердостью. Твердость чистого наплавленного металла лежит в пределах  $HRC\ 21...53$  для стандартных сплавов (табл. 2). При такой высокой твердости необходимо обеспечивать особенные меры в управлении тепловложением. Прежде всего температура предварительного и межслойного нагревов должны строго контролироваться и постоянно поддерживаться. Величина предварительного подогрева зависит от типа основного материала, количества слоев, толщины стенок.

Как правило, кобальтовые порошковые проволоки типа 6 наплавляют с предварительным подогревом не менее 200 °С при однослойных наплавках. Предварительный нагрев может быть увеличен до 400 °С в некоторых случаях.

Скорость охлаждения кобальтовых наплавков также является важным критерием. Во многих случаях, мартенситное превращение в стали основного металла приводит к локальным напряжениям, что может перегружать хрупкий наплавленный металл и приводить к трещинам.

**Буферные слои.** Применение буферных слоев позволяет снизить температуру предварительного подогрева для покрытий чувствительных к трещинообразованию. Как правило, стали на основе железа, как сталь 309L или никелевые сплавы, такие как Inconel 625, могут быть использованы для этой цели. Рис. 10 показывает макрошлиф наплавленного слоя со сплавом на основе кобальта: бу-

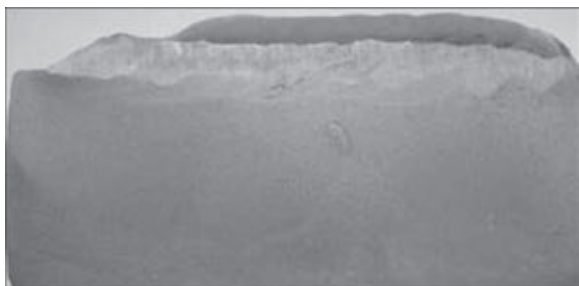


Рис. 10. Макрошлиф Хастеллоя–6-G с буферным слоем из стали 309L

ферный слой–сталь 309L и кобальтовая порошковая проволока–Хастеллой–6-G.

Метод применения буферных слоев влияет на твердость наплавленного слоя, поэтому необходим контроль технологии. Выбор сплава для буферного слоя также зависит от необходимости последующей термической обработки.

**Тенденции на будущее.** В настоящее время большинство кобальтовых порошковых проволок наплавляют способом дуговой наплавки плавящимся электродом. Другой метод наплавки — это использование автоматизированного процесса TIG. Стремление к более высокому качеству и высокой производительности по технологии TIG привело к тому, что применяют технологию с использованием горячей проволоки. Для этого оптимизированы составы шихт этих порошковых проволок только для TIG-процесса. Для стандартных сплавов, как сплавы 6 и 21, теперь уже существуют кобальтовые порошковые проволоки диаметром 1,2 мм для сварки TIG.

### Заключение

Сегодня кобальтовые порошковые проволоки для наплавки имеют многие возможности применения в области наплавки коррозионно- и износостойких слоев. Высококачественные типы наплавленного металла, высокая производительность, экономия затрат, гибкость составов сплавов и отличные сварочные характеристики являются основными аргументами для их применения.

1. *Bouquin B., Penning O., Bonnel J.-M.* Herstellung von korrosionsbeständigen Plattierungen durch Auftragschweißen mit Fülldrahtelektroden // Grosse Schweisstechnische Tagung. – 2010.
2. *Bonnel J.-M., Pease N.C.* Cored wires for corrosion resistant alloys: status report 2006 // Intern. Institute of Welding Congress. 8-10/03/2006, Stellenbosch, South Africa.
3. *Bonnel J.-M., Pease N.C.* Duplex and superduplex cored wires: modern consumables for modern steel // Ibid. – 8-10/03/2006, Stellenbosch, South Africa.
4. *Bonnel J.-M., Vass N., Pease C.* Fils tubulaires pour le soudage d'aciers inoxydables // Soudage Automatique.Applications Industrielles du Soudage avec Fil Fourré – Institut de Soudure – 11/12/2001.
5. *Bonnel J.-M.* Fils fourrés à poudre métallique — Journée d'étude « Soudage et mise en œuvre de l'acier inoxydable » // Institut Belge de la Soudure – 28 novembre 2002.
6. *Penning O., Bonnel J.-M., Mühlbauer H.* Basische Fülldrähte für Edelstahl und Nickel-Basis-Legierungen. Das fehlende Bindeglied. Große Schweißtechnische Tagung 17. – 19.09.2008.
7. *Bonnel J.-M., Cordari A., Desir J.L.* Fils fourrés base nickel // SWI – Séminaire Soudure, 10/03/2004 Yverdon-les-Bains.
8. *Bonnel J.-M., Bouquin B., Cordari A.* Cored wires for high quality welding of corrosion resistant alloys // Eurojoin7-GNS5, Venetia 2009.
9. *Bonnel J.-M.* Gevulde draad MIG/MAG en onderpoederdek lassen van austenitisch en duplex roestvast staal.
10. *Welding Alloys–Seminarie Belgisch Instituut voor Lastechniek, Stivak en De Nayer Instituut, 2001.*
11. *Bouquin B., Mühlbauer H.* Kobalt Basislegierungen in der technischen Anwendung, Verschleißschutztagung Halle, 2014.

Поступила в редакцию 12.05.2015

## Уважаемые читатели и подписчики журнала!

13–15 июня 2016 г. в ИЭС им. Е.О. Патона НАН Украины  
состоится 10-я Международная конференция



## «ДУГОВАЯ СВАРКА — СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ»,

посвященная 80-летию первой Всесоюзной  
конференции по автоматической дуговой сварке,  
г. Киев, ИЭС, 1936 г.

<http://pwi-scientists.com/rus/arcweld2016>