

ПРИМЕНЕНИЕ ПОРОШКОВЫХ ПРОВОЛОК ПРИ НАПЛАВКЕ, ПЕРЕПЛАВЕ И В МЕТАЛЛУРГИИ (Обзор)

Ю.М. Кусков

ИЭС им. Е.О. Патона НАН Украины. 03150, г. Киев, ул. Казимира Малевича, 11. E-mail: office@paton.kiev.ua

Рассмотрены история появления порошковых проволок и их использование в качестве переплавляемого материала как в микрометаллургии (наплавка), так и в большой металлургии (электрошлаковый переплав и литейное производство). Показаны особенности технологических процессов с использованием порошковых проволок в каждой из рассмотренных отраслей. В настоящее время наиболее активно развиваются технологии, обеспечивающие повышение качества металла в литейном производстве. Перспективы использования порошковых проволок при наплавке с точки зрения улучшения технологии их производства и создания новых композиций наплавленного металла во многом уже исчерпаны. Определенные потенциальные возможности более широкого применения имеют технологии наплавки в токоподводящем кристаллизаторе, особенно в области получения композитных слоев. Электрошлаковый переплав металла, как и в годы своего развития, в основном, ориентирован на получение слитков большой массы и диаметра с использованием монолитных электродов большого сечения. Библиогр. 32, табл. 1, рис. 5.

Ключевые слова: порошковая проволока, дуговая наплавка, электрошлаковый переплав, внепечная обработка

Порошковая проволока — конструкция в виде полой трубки, заполненной шихтой различной дисперсности и химического состава. В зависимости от поставленных задач она может изготавливаться разного диаметра и длины.

Применительно к сварке первым упоминанием о возможности использования порошковых проволок, по-видимому, следует считать предложения Н. Н. Бенардоса об изготовлении электродов различной конструкции, в том числе в виде «трубчатых электродов с сердцевинкой из разных порошков» [1]. Начало практического использования сварочных порошковых проволок относится примерно к 1930-м гг.

Распространению дуговой сварки и наплавки порошковыми проволоками в сравнении с цельнотянутыми способствовал ряд причин:

- необходимость выполнения сварки и наплавки высоколегированных и высокоуглеродистых сталей и сплавов, когда соответствующие легированные проволоки вообще не могут быть изготовлены или получаются слишком дорогими [1];

- использование самозащитных порошковых проволок позволяет осуществлять сварочный процесс без дополнительных расходов на защитные газы и флюс;

- наплавка, как и сварка, самозащитными порошковыми проволоками характеризуется простотой, маневренностью и низкой чувствительностью к изменению внешних условий сварки [2].

Тем не менее, в настоящее время в Украине доля порошковых проволок в структуре выпуска сварочных материалов (электроды, проволоки, флюсы) составляет всего около 2 % [3].

Такие низкие объемы производства порошковых проволок касаются именно проволок, предназначенных для выполнения сварочных работ. Для дуговой наплавки, как разновидности технологии сварки, их применение более значительно. Преимущественно это связано с необходимостью получения износостойкого наплавленного металла, эксплуатационные свойства которого улучшаются при его повышенном легировании. В этом случае, как было сказано выше, при изготовлении цельнотянутой проволоки возникают сложности как технологического, так и экономического порядка. Некоторые типы наплавочных порошковых проволок представлены в таблице [4].

Особенности производства и технические характеристики порошковой проволоки определяются в значительной мере конструкцией ее поперечного сечения [5]. Промышленное применение нашли конструкции типа трубчатой, с нахлестом, с загибом кромок, сложного сечения. Проволоки сложного сечения используются преимущественно как самозащитные. Трубчатая конструкция с нахлестом применяется чаще при изготовлении наплавочных проволок. Коэффициент заполнения (величина доли сердечника в проволоке) принято исчислять в процентах. Значения этого коэффициента для наплавочных проволок находятся в пределах 15...45 %.

При электрошлаковой сварке и наплавке в качестве электродного металла, как правило, используют проволоку сплошного сечения диаметром 3 мм. Хотя в некоторых случаях находят применение проволока и других диаметров (1...2 или 5...6 мм) [6]. Обычная сварочная аппаратура допускает подачу электродных проволок диаметром 3...5 мм. Тем не менее еще в начале активно-

го изучения и внедрения электрошлакового процесса в 1950-х гг. все же находились различные области применения наплавочных порошковых проволок. Эта тенденция ограниченного применения порошковых проволок сохранилась и в последующие годы, в основном, в 1970–1980-е гг. Наплавка порошковыми проволоками применялась при ремонте стальных валков [7], упрочнении кулачков трубообточных станков [8], прессового инструмента производства подшипников и различных деталей штампов [9, 10], молотков дробилок производства алюминия и калибров станов холодной прокатки труб [11], режущих кромок ножей резки горячего металла и носков оправок трубопрокатных агрегатов [12], уплотнительных поверхностей деталей запорной арматуры.

Некоторые технологии электрошлаковой наплавки (ЭШН) формально также можно рассматривать как использующие в качестве электродов порошковые проволоки любой конструкции. Так, например, для кольцевой наплавки прокатных валков предлагается применять порошковый электрод кольцевого сечения, в котором шихта заключена не в свернутой из ленты трубке, а между двумя концентрическими стальными кожухами [13]. По сути, такую конструкцию можно представить как непрерывный ряд плотно соприкасающихся между собой отдельных порошковых проволок.

Несмотря на представленные выше примеры применения порошковых проволок при электрошлаковой наплавке деталей различного назначения, следует отметить, что в настоящее время предпочтение отдается все же использованию цельнотянутых проволок [14]. По-видимому, это

связано, главным образом, с боязнью нарушения непрерывной подачи порошковых проволок, имеющих меньшую жесткость по сравнению с цельнотянутыми, через подающий механизм сварочного аппарата, особенно при выполнении длительных по времени наплавов, частичного высыпания шихты при некачественном изготовлении проволок. В определенной мере сказывается желание наплавщиков получать износостойкие слои с более равномерным распределением в наплавленном металле легирующих элементов и, соответственно, свойств. Это особенно важно для тех случаев, когда незначительный износ металла рабочего слоя оказывает большое влияние на работоспособность изделия (например, при трении металла по металлу). Такое представление сложилось на основании существующего мнения, что «при дуговой сварке и наплавке легированным электродом сплошного сечения достигается весьма высокая однородность». Однако исследования макронеоднородности металла, наплавленного порошковой проволокой электрошлаковым способом, показали, что в этом случае обеспечивается его «достаточная однородность».

Новые возможности применения при наплавке порошковых проволок появились в связи с разработкой в ИЭС им. Е.О. Патона устройства, представляющего собой секционный нерасходуемый электрод, названный разработчиками токоподводящий кристаллизатор (ТПК) [15]. Одним из достоинств этого устройства является открытое зеркало шлаковой ванны и возможность регулирования ее теплового состояния. Это позволяет использовать при наплавке как токоведущие, так

Порошковые проволоки для износостойкой наплавки

Тип наплавленного металла	Типичный химический состав наплавленного металла, мас. %							Твердость после наплавки HRC
	C	Mn	Si	Cr	W	Mo	Остальные элементы	
Наплавка открытой дугой								
70X4M3Г4ФТР	0,7	3,5	0,5	4,0	-	3,0	1,0V; 0,7B; 0,1Ti	57...62
30X4B3M3ФС	0,35	0,6	0,9	3,8	2,8	2,8	0,5V	47...50
30X5Г2СМ	0,3	1,6	0,8	5,0	-	0,6	0,2Ti	50...56
90Г13Н4	0,9	13,0	0,5	-	-	-	4,0Ni	≤ 20
200ХГСП	2,1	1,1	0,9	0,4	-	-	0,8B 0,1T 0,17Al	48...56
80X20P3T	0,8	-	-	20,0	-	-	3,0B 0,6Ti	58...67
Наплавка под флюсом								
200X12M	1,8	0,6	0,6	12,0	-	0,8	-	40...44
10X17H9C6ГТ	0,1	1,8	5,5	17,6	-	-	9,2Ni; 0,15Ti	27...33
25X5ФМС	0,25	0,6	1,0	5,0	-	1,1	0,4V	42...46
35B9X3СФ	0,3	0,8	0,9	2,8	9,5	-	0,3 V	44...50
30X2H2Г	0,3	1,2	0,6	1,8	-	-	1,4Ni	42...48
100X4Г2АР	1,0	2,2	1,3	4,0	-	-	0,2N	55
Наплавка в среде углекислого газа								
80X12K4Ф3B2M2HP	0,8	-	-	12,0	2,0	2,0	4,0Co; 3,0V; 1,0Ni; 0,1B	57...60

и нетоковедущие порошковые проволоки. Перспективность использования ТПК при наплавке порошковыми проволоками подтверждена работами Волгоградского государственного технологического университета [16]. Причем в настоящее время основным направлением в этих работах является технология получения композитных слоев, при которой в рабочей зоне ТПК дополнительно располагается полый графитовый электрод (электроды) особой конструкции. Нетоковедущая композитная порошковая проволока подается в шлаковую ванну через его полость. По утверждению авторов наличие такого электрода позволяет создать в подэлектродном пространстве локальную зону повышенных температур, что способствует равномерному расплавлению входящих в состав порошковой проволоки металлической оболочки и наполнителя, в котором туго- и легкоплавкие компоненты содержатся в виде металлических порошков и проволок.

Аналогичные исследования выполняются и в ИЭС им. Е.О. Патона с целью получения наплавленных торцевых рабочих слоев быстроизнашивающихся изделий, например, оправок для производства труб. При этом можно обеспечивать минимальное и равномерное проплавление основного металла. На рис. 1 представлен макрошлиф заготовки, наплавленной в ТПК диаметром 85 мм с использованием нетоковедущей порошковой проволоки ПП-Нп-25Х5ФМС диаметром 3 мм.*

При ЭШН порошковыми проволоками (при любом способе наплавки) главным технологическим параметром, определяющим устойчивость электрошлакового процесса и глубину проплавления основного металла, является скорость подачи электрода [17]. Сама же скорость зависит от многих факторов: диаметра и состава порошковых проволок, химического состава шлака, температуры шлаковой ванны, электрического режима наплавки. Следует также отметить влияние способа наплавки на процесс плавления проволоки. В частности, при ЭШН с использованием ТПК в шлаковую ванну могут подаваться как бестоковые, так и электродные проволоки и, соответственно, условия их плавления будут отличаться. В практическом плане скорость подачи проволоки должна выбираться такой, чтобы обеспечивалось, с одной стороны, плавление в шлаке всех ее составляющих, а с другой, исключалось вхождение конца проволоки в металлическую ванну.

Предшественником способа электрошлакового переплава (ЭШП) является так называемый Келлог-процесс, предложенный в 1940 г. в США

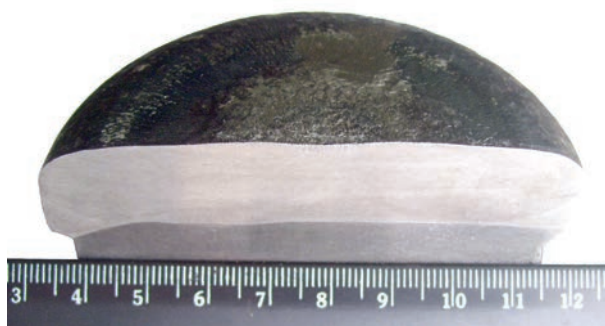


Рис. 1. Макрошлиф заготовки, наплавленной нетоковедущей порошковой проволокой ПП-Нп-25Х5ФМС диаметром 3 мм в ТПК диаметром 85 мм

Р.К. Гопкинсом (патент США № 2.191.479). Процесс осуществлялся путем дугового переплава под слоем шлака трубчатого электрода, внутрь которого вводились дозированные количества дискретной присадки в виде ферросплавов, лигатур и чистых металлов (рис. 2). По сути, трубчатый электрод являлся аналогом порошковой проволоки. Непосредственно сам ЭШП начинался с переплава обычных сварочных проволок с дополнительной подачей в шлаковую ванну шихтовых материалов. В 1955–1956 гг. работами Д.А. Дудко, И.К. Походни, Ю.А. Стеренбогена и др. была показана возможность ведения устойчивого электрошлакового процесса при использовании электродов сравнительно небольших сечений (30..50 мм), впоследствии — все больших (более 1000 мм). Переплав порошковых проволок применялся лишь в ряде случаев, например, для оценки возможности получения электрошлаковым способом металла различного химического состава, в частности, чугунов с целью дальнейшего использования полученных результатов для изготовления наплавочных порошковых проволок [18].

С некоторым допущением к процессам переплава порошковых проволок можно отнести технологии, в которых в шлаковой ванне расплавляются цельнотянутые электродные ленты (не свернутые в трубку) с дополнительной подачей на поверхность ленты дискретной присадки (шихты). При этом как сама лента, так и присадка должны быть изготовлены из магнитных материалов, обеспечивающих их магнитное сцепление и одновременное введение в шлаковую ванну.

К таким оригинальным технологиям ЭШП следует отнести технологию, предложенную в 1960-е гг. бельгийскими фирмами «Коккериль С.А.» и «Электротерм С.А.» (рис. 3). Основное техническое направление — получение крупных слитков круглого сечения из низколегированных сталей [19]. Для наплавки используют ленту сечением 75×2 мм и порошки с размером частиц 0,5...3,0 мм. Порошки можно получать либо мето-

*В наплавках принимал участие канд. техн. наук Осин В.В.

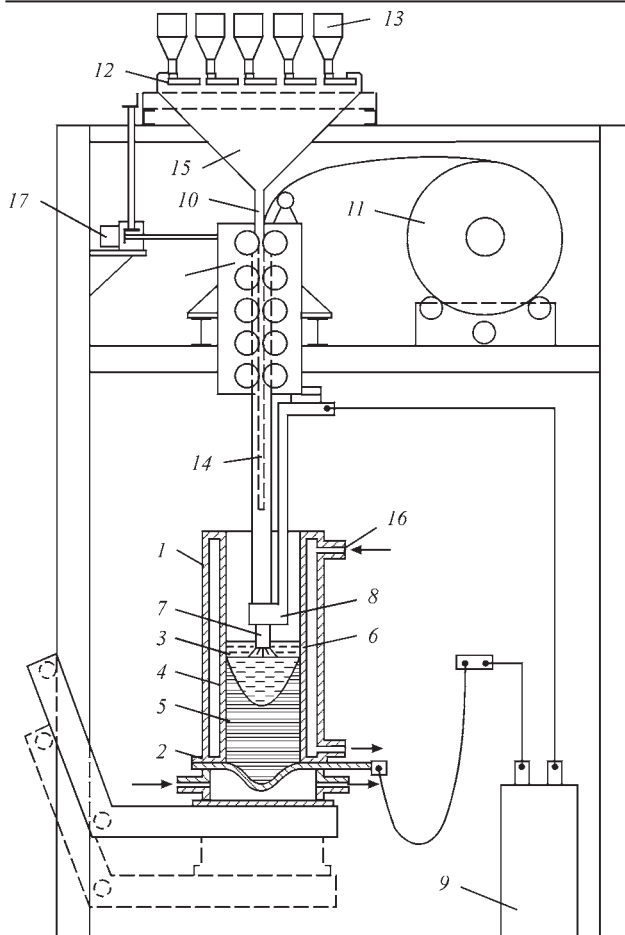


Рис. 2. Схема Келлог-процесса: 1 — кристаллизатор; 2 — поддон; 3 — жидкий шлак; 4 — жидкий металл; 5 — слиток; 6 — электрическая дуга; 7 — расходимый трубчатый электрод; 8 — токоподвод; 9 — источник тепла; 10 — трубоформирующее устройство; 11 — рулон ленты; 12 — дозирующие устройства; 13 — бункера дозаторов; 14 — ссыпная трубка; 15 — бункер; 16 — вход охлаждающей воды; 17 — моторный привод

дом восстановления оксидов требуемых металлов, либо путем распыления струи жидкого металла воздухом или водой. Соотношение масс переплавляемых лент и порошков составляет 30 и 70 %, соответственно.

Сравнение этой технологии переплава (процесс НЭШП — непрерывный электрошлаковый переплав порошков) с обычным ЭШП электродов большого сечения показывает следующие ее преимущества:

- повышенная производительность переплава;
- получение более плоской металлической ванны, что во многом определяет качество металла;
- снижаются затраты на получение переплавляемых материалов;
- возможность выплавки слитков практически любой длины.

Перспективность дальнейшего использования этой технологии авторы связывают также с тем, что, как показывает практика выплавки слитков массой 3 и 21 т, экономическая эффективность

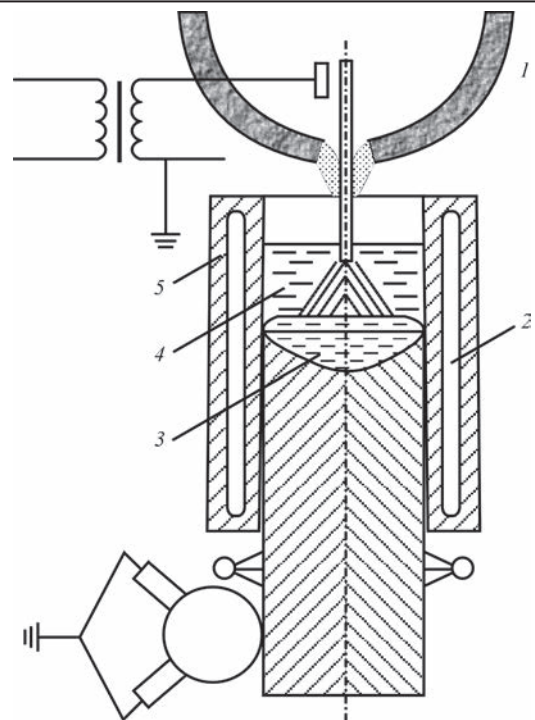


Рис. 3. Схема процесса НЭШП: 1 — питатель порошка; 2 — водяное охлаждение; 3 — жидкий металл; 4 — шлаковая ванна; 5 — кристаллизатор

процесса возрастает по мере увеличения массы получаемых слитков [20]. Поэтому реальной целью они считают достижение выплавки слитков массой 40...50 т и более.

Аналогичную технологию ЭШП с использованием лент и порошков применяет фирма «Электротерм корпорэйшн», США [21]. Основным продуктом переплава по данной технологии являются небольшие слитки из высоколегированных сталей, в частности, применяемых в США инструментальных сталей. Схема переплава представлена на рис. 3.

Данная технология переплава характеризуется некоторыми особенностями. Начало процесса осуществляют на затравке, переводя его из дугового в электрошлаковый за счет плавления ленты и создания достаточного объема шлака. После чего происходит непрерывная подача в шлаковую ванну ленты и порошка. Особые требования предъявляются к ленточным электродам и шихте. Размеры ленты подбираются с учетом ее полного расплавления в шлаке. Большое значение имеет вылет из токоподвода: в случае большого вылета лента может перегреваться (как и порошок) и терять свои магнитные свойства, что влияет на стабильность плавки и качество металла. При наличии в шихте немагнитных металлов, например, Cu, Cr, Ti или некоторых слабомагнитных ферросплавов могут возникать сложности в достаточном ее креплении на поверхности ленты. В этом случае необходимо обеспечить хорошее переме-

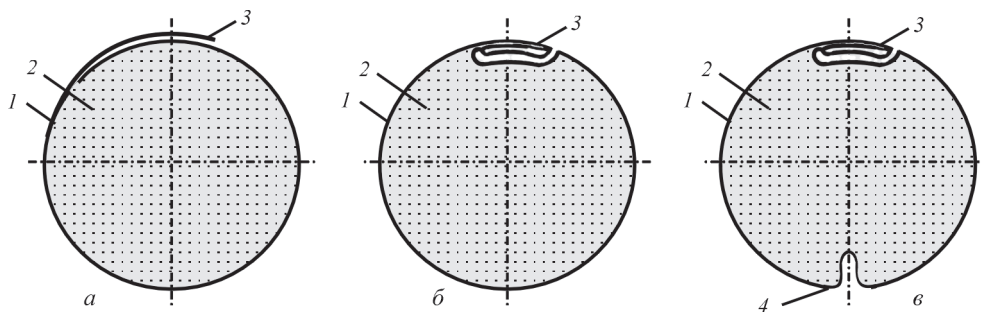


Рис. 4. Виды соединения порошковой проволоки: а — внахлест; б, в — с замковым соединением (1 — оболочка; 2 — наполнитель; 3 — замок; 4 — компенсатор)

шивание компонентов в смесителе, причем общее количество немагнитной фракции не должно превышать 7...10 %.

Имеются особенности и в технике переплава. Так, при получении слитков размером 100×100 мм ленты во время плавки совершает в шлаковой ванне возвратно-поступательное движение. Кроме того, ей придают колебания в плоскости, перпендикулярной ее поверхности.

Современная технология производства стали развивается в направлении использования основных металлургических агрегатов (дуговая печь, конвертер) только для расплавления твердой составляющей шихты и окисления углерода, кремния, марганца, т. е. получения полупродукта. Практически все операции по доведению расплава в соответствии с марочными нормами, требованиями по свойствам и в целом по качеству металла осуществляются процессами внепечного рафинирования.

Одним из самых современных и перспективных способов внепечной обработки является введение в жидкую сталь порошковой проволоки. По данным [22] в начале 1990-х гг. в мировой металлургической промышленности эксплуатировалось около 200 установок модифицирования порошковой проволокой. В связи с более высокой технико-экономической эффективностью обработки стали и чугуна порошковыми проволоками по сравнению с другими известными способами обработки жидкого металла тенденция использования в металлургии этой технологии все время возрастает [23].

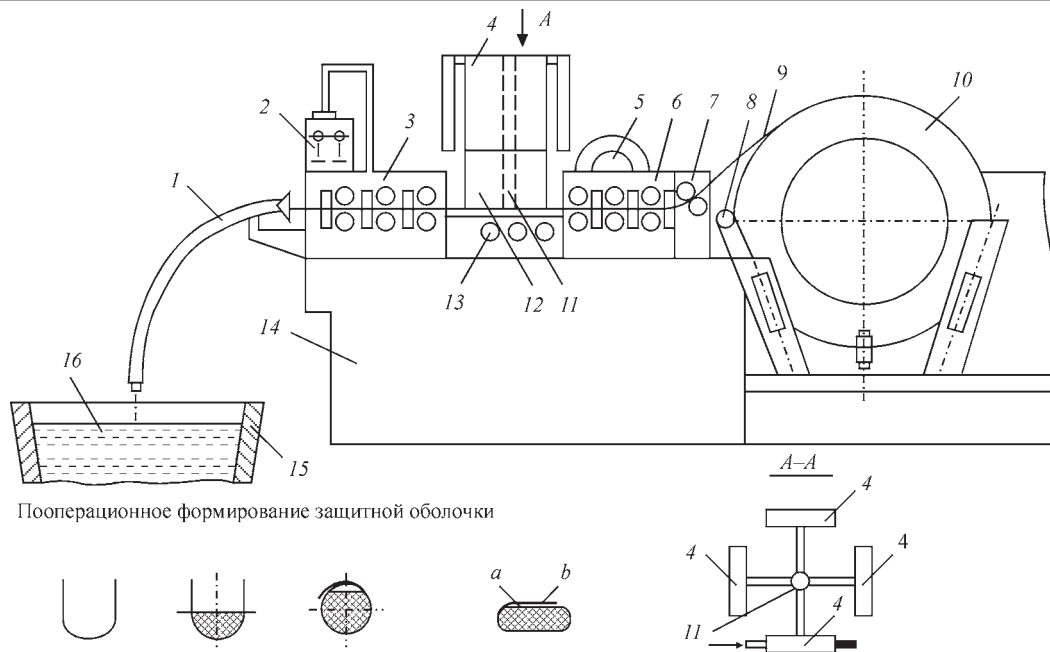
Начало применения порошковых проволок в металлургии было связано с широким использованием в сталеплавильном производстве кальция и кальцийсодержащих материалов, введение которых в жидкий металл в виде порошковой проволоки показало высокую эффективность рафинирования металла от вредных примесей и неметаллических включений. 30 июня 1988 г. в Великобритании (г. Глазго) состоялся первый международный симпозиум по обработке жидкого металла кальцием [24], на котором в качестве спонсора выступила фирма «Аффиваль» (Фран-

ция), наладившая производство порошковых проволок и устройств для их ввода в расплав.

В последующие годы, помимо «Аффиваль», и другие фирмы стали расширять возможности использования порошковых проволок как способа технологически удобного и экономически выгодного. При этом в качестве шихты порошковых проволок стали служить легирующие, микролегирующие, раскисляющие, рафинирующие и модифицирующие добавки [25]. Такими добавками стали элементы, характеризующиеся высоким средством к кислороду (Ca, Mg, Al, Ba, Ti, Si, Zr, Ce и др. РЗМ), малой плотностью (C, B, S, Ca, Al, Mg и др.), относительно низкими температурами плавления и кипения (Ca, Mg, S, Se и др.), высоким давлением пара и небольшой растворимостью в жидком металле (Ca, Mg и др.). В ряде случаев использование порошковых проволок является альтернативным способом введения в жидкий металл кальция и других элементов или химических соединений по сравнению с методом вдувания в него подобных компонентов в виде порошков [26, 27].

В бывшем Советском Союзе наиболее активную работу по совершенствованию элементов технологии производства проволок и способов ввода их в расплав вели академические институты ИПМ, ИЭС им. Е.О. Патона, ДонНИИЧЕРМЕТ. За период 1986–1991 гг. был пройден путь от выпуска опытно-промышленных партий проволок до их промышленного производства, а также специального оборудования для ввода проволок в жидкий металл на Донецкой производственно-внедренческой фирме «Металл» (с 1989 г. ОАО «Завод «Универсальное оборудование») [28]. В настоящее время порошковую проволоку производят еще около 20 предприятий бывших стран СНГ [29].

Используемая при данном способе внепечной обработки жидкого металла порошковая проволока представляет собой стальную (сталь 08Ю) оболочку толщиной 0,2...0,5 мм, заполненную порошкообразным материалом, и смотанную в бухту. Длина проволоки в бухте от 2000...4000 и



Пооперационное формирование защитной оболочки

Рис. 5. Технологический комплекс внепечной обработки расплавов с использованием порошковых проволок: 1 — направляющее устройство; 2 — пульт управления; 3 — формовочно-калибровочная клеть; 4 — система бункеров дозаторов; 5 — электромеханический групповой привод; 6 — формовочная клеть; 7 — направляющие ролики; 8, 9 — натяжное устройство; 10 — размотыватель с намотанной лентой; 11 — поворотная турель; 12 — защитный кожух; 13 — поддерживающие ролики; 14 — рама; 15 — металлургическая емкость; 16 — расплав; *a, в* — перекрытие полков ленты

более метров. Диаметр проволоки 8...16 мм. На первом этапе освоения производства проволоки соединение кромок металлической оболочки осуществлялось «внахлест» (перекрытие 7...8 мм) с наличием продольного ребра жесткости (компенсатора). Такая проволока при подаче ее в жидкий металл часто раскрывалась, что приводило к высыпанию шихты. В дальнейшем порошковые проволоки стали производить с соединением кромок в «замок» с наличием или отсутствием компенсатора [29] (рис. 4). Имеются определенные требования и к порошкообразным реагентам. Они могут представлять собой металл, сплав или неметаллические включения, измельченные до определенного размера. Опытным путем установлено, что максимальная фракция частиц порошка не должна превышать 2,5 мм для проволоки диаметром 13 и 15 мм и 2 мм для проволоки диаметром 10 мм. С точки зрения плотного заполнения сечения порошкообразный материал должен содержать до 25 % пылевидной фракции (размер частиц менее 0,2 мм) [29].

Технологическая линия для производства порошковой проволоки включает ряд устройств, которые обеспечивают размотку рулонной ленты, формирование в ней желоба, ввод в него дозаторами шихты, образование замкнутого профиля, его калибровку и порядную укладку проволоки в бухту.

Вторым главным элементом технологии внепечной обработки расплава порошковыми про-

волоками в ковше, промковше, кристаллизаторе является наличие в ней так называемых трайбаппаратов. Основное их значение — протянуть проволоку с заданной скоростью и создать на выходе толкающую силу, обеспечивающую преодоление сил трения проволоки о направляющую трубу и при прохождении ею расплава металла, а также преодоление сил трения в самом трайбаппарате. Конструкции трайбаппаратов могут быть одно-, двух- и многоручьевого исполнения, т. е. для подачи в расплав одного, двух и более видов проволоки [29, 30]. В ряде случаев предлагается использовать технологические комплексы, совмещающие процессы изготовления порошковой проволоки и ее подачи в жидкий металл (рис. 5) [22]. По-видимому, такое техническое решение все же нельзя признать оптимальным, так как любое нарушение технологии производства проволоки и ее качества будет непосредственно влиять на качество обрабатываемого металла. Кроме того, формирование проволоки «внахлест» может приводить, как отмечалось ранее, к ее раскрытию в жидком металле.

Обычно проволока вводится в расплав вертикально [29, 31], но некоторые авторы считают целесообразным ее вводить в промковш под углом 40...70° к вертикали, что значительно (в 1,5...3 раза) увеличивает длину погруженной части проволоки и, следовательно, позволяет варьировать ее скорость ввода [32].

Таким образом, предложенный в конце XIX века Н.Н. Бенардосом сварочный материал особой

конструкции, получивший впоследствии название порошковой проволоки, нашел практическое применение не только в сварке, но и в наплавке, переплаве, литейном производстве. В каждой из этих областей он смог показать главные свои преимущества: в наплавке — возможность широкого легирования наплавленного металла; в переплаве — обеспечение непрерывного процесса плавления материалов; в литейном производстве — улучшение качества металла за счет его рафинирования, модифицирования и легирования.

Список литературы

1. Фрумин И.И. (1961) *Автоматическая электродуговая наплавка*. Харьков, Metallurgizdat.
2. Походня И.К., Суптель М.А., Шлепаков В.Н. (1972) *Сварка порошковой проволокой*. Киев, Наукова думка.
3. Мазур А.А., Липодаев В.Н., Пустовойт С.В., Петрук В.С. (2017) Современное состояние рынка сварочного оборудования и материалов в Украине. *Автоматическая сварка*, **11**, 40–46.
4. Гладкий П.В., Кондратьев И.А., Юматова В.И., Жудра А.П. (1991) *Наплавочные порошковые ленты и проволоки*. Справочник. Киев, Техника.
5. Походня И.К., Альтер В.Ф., Шлепаков В.Н. и др. (1980) *Производство порошковой проволоки*. Учеб. пособие для вузов. Киев, Вища школа.
6. Патон Б. Е. (ред.) (1980) *Электрошлаковая сварка и наплавка*. Москва, Машиностроение.
7. Блашкочич П., Пекница П. (1979) Стойкость наплавленных электрошлаковым способом валков для горячей прокатки листа. *Информационные материалы СЭВ*. Киев, ИЭС им. Е.О. Патона, вып. **1**, сс. 49–50.
8. Соколов Г. Н., Филлюшин А. А. (1988) Влияние структуры и типа наплавленного металла на износостойкость кулачков трубообточных станков. *Автоматическая сварка*, **8**, 47–49.
9. Соколов Г.Н. (1984) *Исследование и разработка материалов для наплавки прессового инструмента производства подшипников*: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Киев, ИЭС им. Е.О. Патона.
10. Соколов Г. Н., Филлюшин А.А. (1982) *Электрошлаковая наплавка торцовых объемов деталей штампов. Современные способы наплавки и их применение*. Киев, ИЭС им. Е.О. Патона, сс. 84–89.
11. Самсонов И.Г. (1981) *Исследование теплофизических процессов при электрошлаковой наплавке порошковыми проволоками*: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Свердловск, УПИ им. С.П. Кирова.
12. Соколов Г.Н. (2004) Свойства наплавленного металла, используемого для упрочнения металлургического инструмента. *Автоматическая сварка*, **9**, 62–64.
13. Рамаччиотти А., Репетто Э., Соммовиги П., Сонджини Г. (1982) Получение биметаллических прокатных валков методом электрошлаковой наплавки трубчатými металлопорошковыми электродами. Электрошлаковый переплав. *Материалы VII международной конференции по вакуумной металлургии, специальным видам плавки и металлургическим покрытиям*. Токио, 26–30 ноября 1982 г. Киев, Наукова думка, вып. **8**, сс. 130–136.
14. Суцук-Слюсаренко И.И., Лычко И.И., Козулин М.Г. и др. (1989) *Электрошлаковая сварка и наплавка в ремонтных работах*. Киев, Наукова думка.
15. Kuskov Yu.M. (2003) A new approach to electros slag welding. *Welding J.*, **4**, 42–49.
16. Соколов Г.Н., Лысак В.И. (2005) *Наплавка износостойких сплавов на прессые штампы и инструмент для горячей деформирования сталей*. Волгоград, РПК «Политехник».
17. Королев Н.В., Платонов А.Г., Мухин Д.В. (1992) Особенности плавления проволочных электродов при электрошлаковой наплавке. *Сварочное производство*, **3**, 26–28.
18. Daemen R.A., Blaskovic P. (1970) Pridavne materialy pre electroskove navaranie ocel'ovych valcov valcovacich stolic. *Zvaranie*, **8**, 234–239.
19. Лево Ж. (1973) Электрошлаковая плавка с добавкой металлических порошков. Электрошлаковый переплав. *Материалы III международного симпозиума по технологии электрошлакового переплава*. Питтсбург. 8–10 июня 1971 г. Киев, Наукова думка, сс. 26–33.
20. Дескамп Дж., Этьен М. (1974) Современное состояние процесса непрерывного электрошлакового переплава порошков. Электрошлаковый переплав. *Материалы международной конференции по технологии электрошлакового переплава*. Шеффилд. 10–11 января 1973 г. Киев, Наукова думка, вып. **2**, сс. 202–210.
21. Парсонс Р.С. (1973) Производство инструментальных сталей методом непрерывного электрошлакового переплава порошков. Электрошлаковый переплав. *Материалы III международного симпозиума по технологии электрошлакового переплава*. Питтсбург. 8–10 июня 1971 г. Киев, Наукова думка, сс. 243–251.
22. Марченко И.К., Царев А.В., Галентовский Г.Г., Хейфец В.Г. (1990) Ресурсосберегающая технология и оборудование для внепечной обработки жидкой стали. *Тяжелое машиностроение*, **5**, 28–29.
23. Дюдкин Д.А., Маринцев С.Н., Онищук В.П., Гринберг С.Е. (2000) Технично-экономическая эффективность обработки чугуна и стали порошковыми проволоками. *Металл и литье Украины*, **1**, 2, 41–42.
24. Медовар Б.И. (ред.) (1989) *Обработка стали кальцием. Материалы междунар. симпозиума по обработке стали кальцием*. 30.06.1988, Глазго, Великобритания. Киев, ИЭС им. Е.О. Патона.
25. Каблукровский А.Ф., Зинченко С.Д., Никулин А.Н. и др. (2006) *Внепечная обработка стали порошковой проволокой*. Москва, Metallurgizdat.
26. Visser H.-J., Boom R., Biglari M. (2008) Simulation of the Ca – treatment of Al – killed liquid steel. *La Revue de Metallurgie*, СІТ, **4**, 172–180.
27. Wen Yang, Lifeng Zhang, Xinhua Wang et al. (2013) Characteristics of inclusions in low carbon Al – killed steel during ladle furnace refining and Ca treatment. *ISIJ International*, **53**, **8**, 1401–1410.
28. Дюдкин Д.А., Бать С.Ю., Гринберг С.Е. и др. (2002) *Внепечная обработка расплава порошковыми проволоками*. Донецк, Юго-Восток.
29. Дюдкин Д.А., Кисиленко В.В., Павлюченков И.А., Болотов В.Ю. (2007) *Прецизионная обработка металлургических расплавов*. Москва, Теплотехник.
30. Титиевский В.И., Бордюгов. В.Н. (2000) Технологический комплекс для ввода порошковой проволоки в жидкий металл. *Металл и литье Украины*, **1**, 2, 7–9.
31. Дюдкин Д.А., Кисиленко В.В., Маточник В.А. и др. (2006) Использование порошковой проволоки с наполнением силикокальцием для внепечной обработки стали на Белорусском металлургическом заводе. *Электрометаллургия*, **6**, 16–20.
32. Носоченко О.В., Троцан А.И., Чичкарев Е.А. и др. (2003) Рациональный режим обработки стали в промежуточном ковше порошковыми и монолитными проволоками. *Металл и литье Украины*, **7-8**, 28–30.

References

1. Frumin, I.I. (1961) *Automatic electric arc surfacing*. Kharkov, Metallurgizdat [in Russian].
2. Pokhodnya, I.K., Suptel, M.A., Shlepakov, V.N. (1972) *Flux-cored welding*. Kiev, Naukova Dumka [in Russian].
3. Mazur, A.A., Lipodaev, V.N., Pustovojt, S.V., Petruk, V.S. (2017) State-of-the-art of welding equipment and consumables market in Ukraine. *The Paton Welding J.*, **11**, 31-37.

4. Gladky, P.V., Kondratiev, I.A., Yumatova, V.I., Zhudra, A.P. (1991) *Surfacing flux-cored strips and wires*. In: Refer. book. Kiev, Tekhnika [in Russian].
5. Pokhodnya, I.K., Alter, V.F., Shlepakov, V.N. et al. (1980) *Manufacture of flux-cored wire*. In: *Manual for institutes of higher education*. Kiev, Vyshcha Shkola [in Russian].
6. (1980) *Electroslag welding and surfacing*. Ed. by B.E. Paton. Moscow, Mashinostroenie [in Russian].
7. Blaskovic, P., Pecnitsa, P. (1979) Resistance of deposited by electroslag method of rolls for hot rolling of sheets. In: *Information documents of CMEA*. Kiev, PWI, 1, 49-50.
8. Sokolov, G.N., Filyushin, A.A. (1988) Influence of structure and type of deposited metal on wear resistance of cams of pipe turning machine. *Avtomatich. Svarka*, **8**, 47-49 [in Russian].
9. Sokolov, G.N. (1984) Investigation and development of materials for surfacing of extrusion toolage in production of bearings. In: *Syn. of Thesis for Cand. of Techn. Sci. Degree*. Kiev, PWI [in Russian].
10. Sokolov, G.N., Filyushin, A.A. (1982) Electroslag surfacing of volume ends of die parts. In: *Modern methods of surfacing and their application*. Kiev, PWI, 84-89 [in Russian].
11. Samsonov, I.G. (1981) Investigation of thermophysical processes in electroslag surfacing with flux-cored wires. In: *Syn. of Thesis for Cand. of Techn. Sci. Degree*. Sverdlovsk, UPI [in Russian].
12. Sokolov, G.N. (2004) Properties of deposited metal used for metallurgical tool hardening. *The Paton Welding J.*, **10**, 55-57.
13. Ramacciotti, A., Repetto, E., Sommovigo, P., Sondini, G. (1982) Production of bimetallic mill rolls by method of electroslag surfacing with metal-flux-cored electrodes. Electroslag remelting. In: *Proc. of 7th Int. Conf. on Vacuum Metallurgy, Special Types of Melting and Metallurgical Coatings (Japan, Tokyo, 26-30 November, 1982)*. Kiev, Naukova Dumka, Issue 8, 130-136.
14. Sushchuk-Slyusarenko, I.I., Lychko, I.I., Kozulin, M.G. et al. (1989) *Electroslag welding and surfacing in repair works*. Kiev, Naukova Dumka [in Russian].
15. Kuskov, Yu.M. (2003) A new approach to electroslag welding. *Welding J.*, **4**, 42-49.
16. Sokolov, G.N., Lysak, V.I. (2005) *Surfacing of wear-resistant alloys on pressing tools and tools for hot working of steels*. Volgograd, RPK Politekhnik [in Russian].
17. Korolyov, N.V., Platonov, A.G., Mukhin, D.V. (1992) Peculiarities of melting of wire electrodes in electroslag surfacing. *Svarochn. Proizvodstvo*, **3**, 26-28.
18. Daemen, R.A., Blaskovic, P. (1970) Pridavne materialy pre electroskove navaranie ocel'ovych valcov valcovacich stolic. *Zvaranie*, **8**, 234-239 [in Slovakian].
19. Leveau, J. (1973) Electroslag melting with addition of metal powders. Electroslag remelting. In: *Proc. of 3rd Int. Symp. on Technology of Electroslag Remelting (USA, Pittsburg, 8-10 June 1971)*. Kiev, Naukova Dumka, 26-33.
20. Descamp, J., Etienne, M. (1974) State-of-the art of the process of continuous electroslag remelting of powders. Electroslag remelting. In: *Proc. of Int. Conf. on Technology of Electroslag Remelting (Great Britain, Sheffield, 10-11 January 1973)*. Kiev, Naukova Dumka, 2, 202-210.
21. Parsons, R.S. (1973) Production of tool steels by method of continuous electroslag remelting of powders. Electroslag remelting. In: *Proc. of 3rd Int. Symp. on Technology of Electroslag Remelting (USA, Pittsburg, 8-10 June 1971)*. Kiev, Naukova Dumka, 243-251.
22. Marchenko, I.K., Tsarev, A.V., Galentovsky, G.G., Khejfts, V.G. (1990) Resource-saving technology and equipment for out-of-furnace treatment of liquid steel. *Tyazholoe Mashinostroenie*, **5**, 28-29 [in Russian].
23. Dyudkin, D.A., Marintsev, S.N., Onishchuk, V.P., Grinberg, S.E. (2000) Technical and economic efficiency of cast iron and steel treatment with flux-cored wires. *Metall i Litio Ukrainy*, **1**, 2, 41-42 [in Russian].
24. (1989) Calcium treatment of steel. Ed. by B.I. Medovar. In: *Proc. of Int. Symp. on Calcium Treatment of Steel (Great Britain, Glasgow, 30 June 1988)*. Kiev, PWI.
25. Kablukowsky, A.F., Zinchenko, S.D., Nikulin, A.N. et al. (2006) *Out-of-furnace treatment of steel with flux-cored wire*. Moscow, Metallurgizdat [in Russian].
26. Wisser, H.-J., Boom, R., Biglari, M. (2008) Simulation of the Ca-treatment of Al-killed liquid steel. *La Revue de Metallurgie, CIT*, **4**, 172-180.
27. Wen Yang, Lifeng Zhang, Xinhua Wang et al. (2013) Characteristics of inclusions in low carbon Al-killed steel during ladle furnace refining and Ca treatment. *ISIJ Int.*, **53**(8), 1402-1410.
28. Dyudkin, D.A., Bat, S.Yu., Grinberg, S.E. et al. (2002) *Out-of-furnace treatment of melt with flux-cored wires*. Donetsk, OOO Yugo-Vostok [in Russian].
29. Dyudkin, D.A., Kisilenko, V.V., Pavlyuchenkov, I.A., Bolotov, V.Yu. (2007) *Precision treatment of metallurgical melts*. Moscow, Teplotekhnika [in Russian].
30. Titievsky, V.I., Bordyugov, V.N. (2000) Technological complex for introduction of flux-cored wire into liquid metal. *Metall i Litio Ukrainy*, **1**, 2, 10 [in Russian].
31. Dudkin, D.A., Kisilenko, V.V., Matochnik, V.A. et al. (2006) Application of flux-cored wire with silicocalcium filling for out-of-furnace treatment of steel in Belarusian metallurgical plant. *Elektrometallurgiya*, **6**, 16-20 [in Russian].
32. Nosochenko, O.V., Trotsan, A.I., Chichkarev, E.A. et al. (2003) Rational mode of steel treatment in cold hearth with flux-cored and solid wires. *Metall i Litio Ukrainy*, **7-8**, 28-30 [in Russian].

ЗАСТОСУВАННЯ ПОРОШКОВИХ ДРОТІВ ПРИ НАПЛАВЛЕННІ, ПЕРЕПЛАВЛЕННІ ТА В МЕТАЛУРГІЇ (Огляд)

Ю. М. Кусков

ІЕЗ ім. Є.О. Патона НАН України. 03150, м. Київ, вул. Казимира Малевича, 11. E-mail: office@paton.kiev.ua

Розглянуто історію появи порошкових дротів і їх використання в якості матеріалу, що переплавляється, як в мікрометалургії (наплавлення), так і у великій металургії (електрошлаковий переплав та ливарне виробництво). Показано особливості технологічних процесів з використанням порошкових дротів в кожній із розглянутих галузей. В даний час найбільш активно розвиваються технології, що забезпечують підвищення якості металу в ливарному виробництві. Перспективи використання порошкових дротів при наплавленні з точки зору поліпшення технології їх виробництва та створення нових композицій наплавленого металу багато в чому вже вичерпано. Певні потенційні можливості більш широкого застосування мають технології наплавлення в струмопідвідному кристалізаторі, особливо в області отримання композитних шарів. Електрошлакове переплавлення металу, як і в роки свого розвитку, в основному, орієнтоване на отримання злитків великої маси та діаметру з використанням монолітних електродів великого перерізу. Бібліогр. 32, табл. 1, рис. 5.

Ключові слова: порошковий дріт, дугове наплавлення, електрошлакове переплавлення, позапічна обробка

APPLICATION OF FLUX-CORED WIRES AT SURFACING,
REMELTING AND IN METALLURGY

Y.M. Kozlov

E.O. Paton Electric Welding Institute of NAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine

E-mail: office@paton.kiev.ua

The paper presents the history of flux-cored wires appearance and their application as remelted material, both in micrometallurgy (surfacing), and in large-scale metallurgy (electroslag remelting and foundry). Features of technological processes with flux-cored wire application in each of the considered areas are shown. At present technologies ensuring improvement of metal quality in foundry are developing the most actively. Prospects for flux-cored wires application in surfacing from the viewpoint of improvement of their production technology and development of new compositions of deposited metal have largely been exhausted. Technologies of surfacing in a current-supplying mould have certain potential for a wider application, particularly in the field of producing composite layers. Electroslag remelting of metal, as in the years of its development, is mainly focused on producing ingots of a large mass and diameter with application of monolithic electrodes of a large cross-section. 32 Ref., 5 Fig.

Keywords: flux-cored wire, arc surfacing, electroslag remelting, ladle treatment

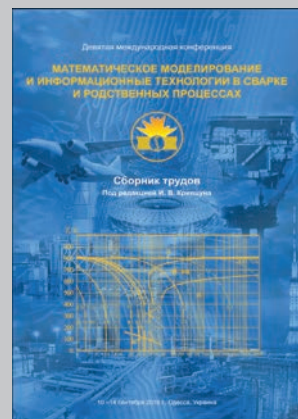
Поступила в редакцию 12.11.2018

НОВЫЕ КНИГИ

Математическое моделирование и информационные технологии в сварке и родственных процессах: Сб. докл. Девятой межд. конф. / Под ред. проф. И.В. Кривцуна. — Киев: Международная Ассоциация «Сварка», 2018. — 96 стр. (электронное издание <http://patonpublishinghouse.com/proceedings/mmw2018.pdf>).

В сборнике представлены доклады Девятой международной конференции «Математическое моделирование и информационные технологии в сварке и родственных процессах» (10–14 сентября 2018 г., Одесса, Украина), в которых отражены достижения за последние годы в области математического моделирования физических явлений, протекающих при сварке, наплавке и других родственных процессах. Авторами докладов являются известные ученые и специалисты. Для научных и инженерно-технических работников, занятых в области сварки, резки, наплавки, пайки, нанесения защитных покрытий и других родственных процессов.

Сборник можно заказать в редакции журнала «Автоматическая сварка».



Сборники девяти конференций MMITWRP за 2002-2018 гг. находятся в открытом доступе на сайте Издательского Дома «Патон»: <http://patonpublishinghouse.com/rus/proceedings/mmw>.

Титан 2018. Производство и применение в Украине: Сб. докл. межд. конф. / Под ред. проф. С.В. Ахонина. — Киев: Международная Ассоциация «Сварка», 2018. — 168 с.

В сборнике представлен 41 доклад международной конференции «Титан 2018. Производство и применение в Украине» (11–13 июня 2018 г., Киев, ИЭС им. Е.О. Патона НАН Украины), в которых отражены научные достижения и практические результаты в области производства, сварки, обработки и применения титана и его сплавов. Авторами докладов являются известные ученые и специалисты из Австралии, Польши и Украины. Для научных и инженерно-технических работников, занятых в области индустрии титана и его сплавов.

Сборник можно заказать в редакции журнала «Автоматическая сварка».

