

НАПЛАВОЧНЫЕ ПОРОШКОВЫЕ ЛЕНТЫ (Обзор)

А. П. ЖУДРА, канд. техн. наук, А. П. ВОРОНЧУК, инж. (Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Рассмотрена история создания электродного наплавочного материала в виде порошковой ленты. Приведены различные их конструкции, разработанные составы и назначения. Описаны оборудование для производства порошковых лент и технологические преимущества наплавки данным электродным материалом.

Ключевые слова: порошковая лента, составы, наплавка, оборудование, технология, производительность наплавки, применение

В настоящее время порошковая лента хорошо известный наплавочный материал, который широко применяется при изготовлении и упрочнении большой номенклатуры деталей в металлургической, энергетической, горнодобывающей, дорожно-строительной и других областях промышленности. В отличие от порошковой проволоки основным преимуществом порошковых лент является высокая производительность наплавки, возможность высокой степени легирования наплавленного металла и относительная простота изготовления.

Впервые ленточный порошковый электрод в СССР был предложен сотрудниками Научно-исследовательского института технологии машиностроения Челябинского совнархоза О. А. Бакши, Е. Ф. Белоусовым и Г. П. Клековкиным в 1959–1960 гг. [1, 2]. Авторское свидетельство этих специалистов [1] подтверждает оригинальность данной разработки не только в СССР, но и в мировой сварочной технике. Первоначально порошковую ленту изготавливали непосредственно на наплавочном аппарате из двух лент для получения оболочки, а в качестве шихты использовали порошок сталинита Б. Для предотвращения пересыпания шихты сердечника нижняя часть оболочки имела гофры, которые образовывали отдельные ячейки (рис. 1, а).

Объединение операции изготовления электрода с последующим процессом наплавки значительно усложнило конструкцию аппарата. В дальнейшем порошковый ленточный электрод стали изготавливать отдельно на специальном оборудовании. К недостаткам этого порошкового электрода следует отнести большую жесткость за счет наличия крупных ячеек, негерметичность замков, слабое уплотнение шихты сердечника и неравномерное распределение оболочки по ширине порошкового электрода. Чрезмерная жесткость порошкового электрода затрудняла намотку его в кассеты и подачу в зону дуги при наплавке. Не-

герметичность замков не позволяла длительно хранить порошковый электрод и приводила к высыпанию шихты сердечника при транспортировке, зарядке в кассеты и наплавке, что в итоге приводило к химической неоднородности наплавленного металла и снижению его износостойкости.

В дальнейшем Челябинским НПТИАММА-Шем была предложена более простая конструкция порошковой ленты (рис. 1, б). Поперечные гофры в этой конструкции придали гибкость порошковой ленте, что обеспечило простоту наматывания ее в кассеты. В то же время глубокие поперечные канавки на оболочке порошковой ленты приводили к изменению ее сечения, что ухудшало процесс плавления ленты в дуге. Кроме того, большим недостатком этой порошковой ленты также являлась недостаточная плотность замков.

Г. П. Клековкин предложил порошковый электрод для сварки и наплавки [3], который конструктивно был выполнен из одной ленты, свернутой в спираль (рис. 2). Жесткость обеспечивалась применением профилированной ленты, образующей замковое нахлесточное соединение по спирали. Для уплотнения материала замка в его

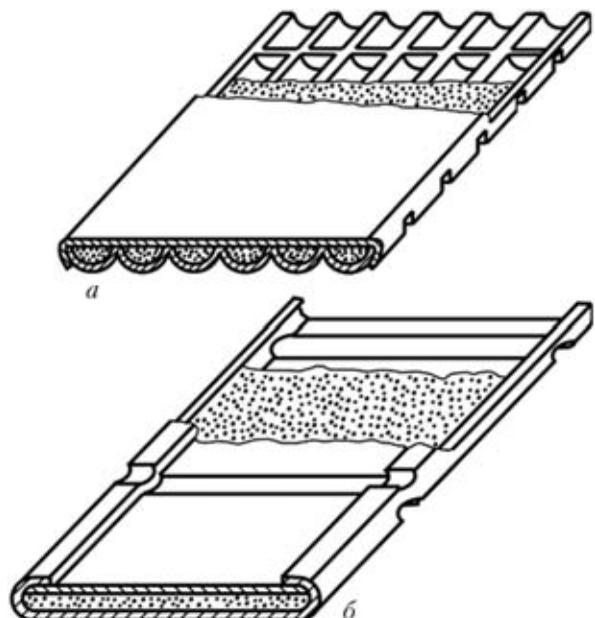


Рис. 1. Схема порошковой ленты по авторскому свидетельству [1] (а) и конструкции Челябинского НПТИАММАШа (б)

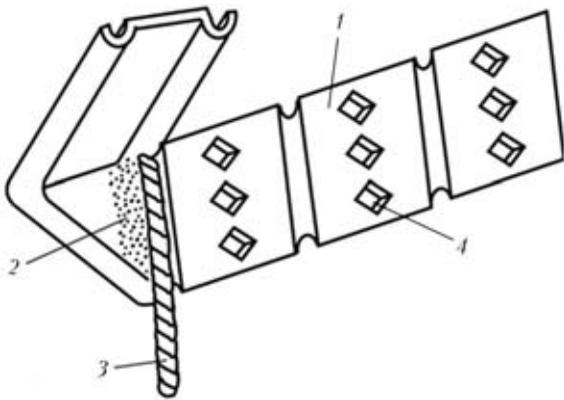


Рис. 2. Схема порошкового электрода Клековкина: 1 — профилированная лента; 2 — материал сердечника; 3 — фитиль; 4 — углубления на поверхности оболочки

полость закладывали фитиль, пропитанный ионизирующими солями для стабилизации сварочной дуги. Внутри спирали-оболочки находился порошковый материал сердечника.

При опрессовке электрода порошковый материал уплотнялся. Витые ребра оболочки и углубления на ее поверхности обеспечивали равномерное распределение сердечника и необходимую продольную гибкость. Недостатками такого порошкового электрода были сложность в изготовлении и недостаточная герметичность замка.

В большинстве из описанных конструкций порошковых ленточных электродов в качестве шихты использовали порошок сталинита Б, а наплавку проводили под слоем флюса АН-60. На начальном этапе порошковые ленточные электроды нашли применение для упрочнения многих деталей строительных и дорожных машин благодаря работам ВПТИстройдормаш [3–7].

В ИЭС им. Е. О. Патона работы по созданию наплавочных порошковых лент начаты Ю. А. Юзвенко и В. П. Шимановским в 1960 г. [8]. Для производства первых образцов порошковой ленты использован один из вариантов технологии изготовления ламелей щелочных аккумуляторов. В отличие от разработок упомянутых выше авторов, которые предлагали ленты шириной 30...50 мм, [1–3, 5, 7], все разработки ИЭС им. Е. О. Патона были направлены на изготовление ленты небольшой ширины (10...22 мм), рассчитанной на большие коэффициенты заполнения, что позволяло решать задачи легирования, труднодостижимые для порошковой проволоки.

Сравнительно небольшая ширина порошковой ленты позволяла более равномерно распределить материалы сердечника по сечению и максимально ограничить их высыпание. Необходимая ширина наплавленного слоя достигалась колебаниями электрода. Преимущества такой ленты особенно проявились в части снижения химической макро-неоднородности наплавленного слоя.

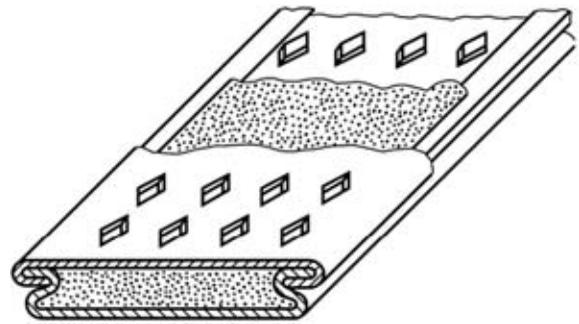


Рис. 3. Схема двухзамковой порошковой ленты конструкции ИЭС им. Е. О. Патона

В результате разработок в ИЭС им. Е. О. Патона в 1965 г. была создана первая такая порошковая лента ПЛ-АН101 [9] универсального типа, предназначенная для наплавки открытой дугой и под слоем флюса, а затем в СССР было начато широкое промышленное внедрение наплавки порошковой лентой открытой дугой. Состав и конструкция порошковой ленты ПЛ-АН101 были запатентованы в восьми странах мира, в частности, в Германии, Франции, Италии и других. Конструкция такой ленты представлена на рис. 3.

Плотные замки и мелкочастистые гофры на оболочке позволили хорошо уплотнить сердечник порошковой ленты, что значительно улучшило перенос металла в дуге и устранило высыпание шихтовых материалов сердечника в сварочную ванну. Для изготовления данной конструкции ленты было разработано несколько модификаций станов, последний из которых ОБ 2240 работает до настоящего времени (рис. 4).

Серийное производство порошковых лент данной конструкции в промышленных масштабах было освоено на Торезском заводе наплавочных твердых сплавов и НПО «Тулачермет». К недостаткам этой порошковой ленты следует отнести неравномерное распределение оболочки по ее ширине. В местах замков, где сосредоточено максимальное количество ленты-оболочки, плотность сварочного тока при наплавке наибольшая. Это приводило к неравномерному оплавлению оболочки и образованию выступа в средней части спрессованного сердечника, который, периоди-



Рис. 4. Стан ОБ 2240 для изготовления двухзамковой порошковой ленты

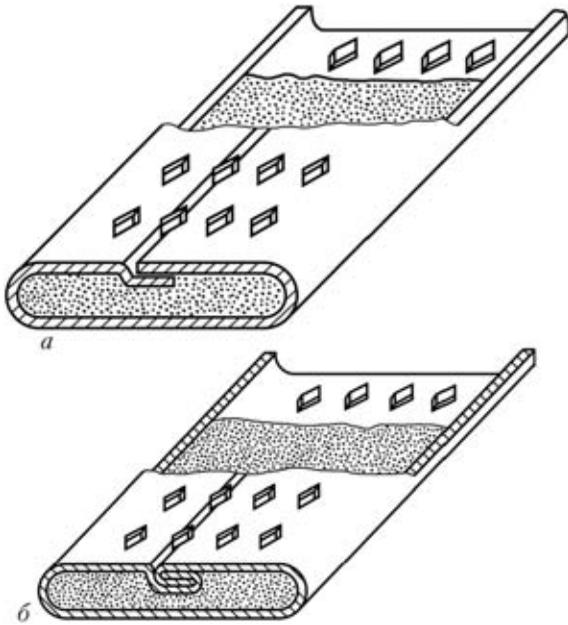


Рис. 5. Схема конструкции однозамковой порошковой ленты с нахлесточным (а) и плотным (б) замком

чески обламываясь, нерасплавленным попадал в сварочную ванну.

Для получения высокого коэффициента заполнения, что особенно важно при использовании в качестве шихты сердечника материалов с небольшой насыпной массой (карбиды, бориды хрома и др.), разработали однозамковую порошковую ленту с нахлесточным замком (рис. 5, а). Она имела простую конструкцию и технологию изготовления, а также позволяла получать высокий коэффициент заполнения. Кроме того, расположение замка в средней части сечения порошковой ленты способствовало более равномерному плавлению сердечника. К его недостаткам можно отнести неплотность нахлесточного замка, в результате чего высыпается шихтовый материал сердечника как при транспортировке, так и при наплавке.

Для устранения недостатков, приведенных выше, в ИЭС им. Е. О. Патона в 1981 г. была предложена конструкция порошковой ленты с плотным замком [10] (рис. 5, б). Замена плоского нахлесточного замка на плотный позволила хорошо уплотнить сердечник порошковой ленты прокаткой в валках с одновременным нанесением на оболочку небольших впадин глубиной до 0,6 мм и размером 2...4×2...4 мм ромбической или квадратной формы, расположенных большими диагоналями вдоль ленты. Благодаря уплотнению воздух из сердечника порошковой ленты был удален и устранено пересыпание шихтового материала сердечника. Небольшие углубления на оболочке практически не ухудшили токоподвод к оболочке порошковой ленты при наплавке.

Плотный замок располагается в средней части порошковой ленты по ее сечению, поэтому при наплавке в зоне замка плотность тока на единицу

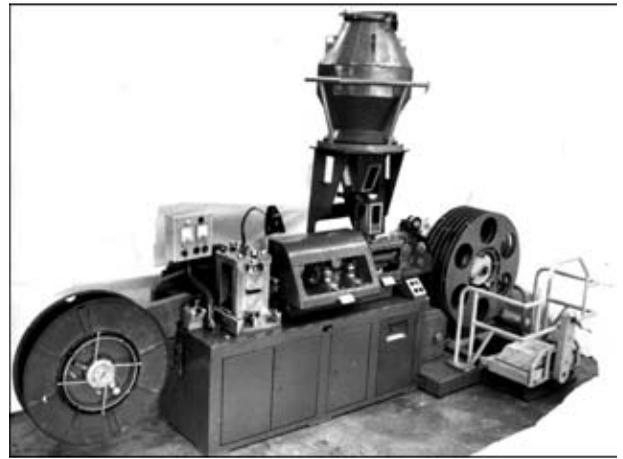


Рис. 6. Стан ОБ 2324 для производства однозамковой порошковой ленты с плотным замком

сечения порошковой ленты будет большей, чем на крайних ее участках. Это способствовало более стабильному горению дуги, улучшению переноса металла через дугу, равномерному плавлению сердечника, более высокой химической однородности наплавленного металла и его износостойкости.

Для изготовления данной конструкции было разработано несколько модификаций станом, последняя получила индекс ОБ 2324 (рис. 6). Серийное производство порошковых лент данной конструкции в промышленных масштабах с участием сотрудников ИЭС им. Е. О. Патона было освоено на ПО «Днепрометиз» и НПО «Тулачермет».

В 1985 г. сотрудниками ИЭС им. Е. О. Патона был разработан ГОСТ 26467–85 «Лента порошковая наплавочная. Общие технические требования», действующий и сегодня. Краткий перечень разработанных и серийно выпускаемых порошковых лент представлен в таблице.

В настоящее время в промышленных масштабах выпускаются порошковые ленты двух конструкций — двух- и однозамковая с плотным замком, последняя при этом подразделяется на два типоразмера — 16,5×4,0 и 10,0×3,0 мм.

В зависимости от размера упрочняемой поверхности детали выбирают типоразмер порошковой ленты, режимы наплавки и ее схему. При этом наплавка может выполняться в один, два и более слоев, одиночными валиками и широкослойная, с размахом колебаний от 50 до 400 мм. Токи наплавки могут варьироваться от 300 до 1200 А, напряжение на дуге от 25 до 38 В, скорость перемещения электрода от 5 до 100 м/ч. Для повышения производительности наплавки применяется двух- и многодуговая наплавка на специально разработанном оборудовании. За один проход при однодуговой наплавке обеспечивается наплавка износостойкого слоя толщиной от 2 до 8 мм. Производительность наплавки порошковой лентой одной дугой достигает 25...30 кг наплавленного металла в час (рис. 7).



Порошковые ленты для наплавки

Марка порошковой ленты	Химический состав наплавленного металла, мас. %										
	C	Cr	Mn	Si	Ni	Nb	Mo	V	W	B	Ti
ПЛ-АН-101	3,0	25,0	2,0	3,0	2,0	—	—	—	—	—	—
ПЛ-АН-171	1,2	25,0	2,2	1,0	—	—	—	—	—	3,5	—
ПЛ-АН-180	4,5	30,0	—	—	—	—	1,0	—	—	—	—
ПЛ-АН-181	4,5	30,0	3,0	—	—	—	—	—	—	—	—
ПЛ-АН-111	5,0	38,0	1,0	2,5	38,0	—	—	—	—	0,3	—
ПЛ-АН-179	5,0	22,0	—	—	—	7,0	6,0	1,0	2,0	—	—
ПЛ-АН-185	5,0	22,0	—	—	—	7,0	—	—	—	—	—
ПЛ-АН-186	4,5	30,0	—	—	—	—	—	—	—	0,7	—
ПЛ-АН-132-1	0,10	4,0	1,5	1,0	—	—	2,0	—	2,5	—	—
ПЛ-АН-132-2	0,15	4,0	1,5	1,0	—	—	2,0	—	2,5	—	—
ПЛ-АН-132-3	0,20	4,0	1,5	1,0	—	—	2,0	—	2,5	—	—
ПЛ-АН-187	0,20	11,0	10,0	—	—	—	—	—	—	—	0,8
ПЛ-АН-115	0,10	—	1,5	0,8	—	—	—	—	—	—	0,5
ПЛ-АН-189	0,35	3,0	0,8	0,6	—	—	—	0,3	9,0	—	—
ПЛ-АН-190	0,40	3,0	0,8	0,6	—	—	—	0,3	9,0	—	—
ПЛ-АН-191	0,25	5,0	0,7	1,0	—	—	1,2	0,4	—	—	—
ПЛ-АН-183	0,4	2,0	1,6	1,6	5,5	0,6	1,8	0,5	—	—	—
ПЛ-АН-150	0,12	16,0	2,0	5,0	9,0	—	—	—	—	—	—
ПЛ-АН-151	0,12	16,0	4,0	5,0	8,0	1,0	6,0	—	—	—	—

Окончание таблицы

Марка порошковой ленты	Твердость HRC	Назначение
ПЛ-АН-101 ПЛ-АН-171 ПЛ-АН-180 ПЛ-АН-181	50...56 54...59 58...62 58...60	Наплавка деталей, работающих в условиях абразивного изнашивания (ножи бульдозеров и грейферов, зубья ковшей экскаваторов, валки коксовых дробилок, плужные диски, защитные поверхности конусов, чаш и др.)
ПЛ-АН-111 ПЛ-АН-179 ПЛ-АН-185 ПЛ-АН-186	50...58 58...62 56...60 57...62	Наплавка деталей, работающих в условиях интенсивного абразивного и газоабразивного видов изнашивания при нормальных и повышенных температурах (конуса и чаши засыпных аппаратов доменных печей, течки, бункера и т. п.)
ПЛ-АН-132-1 ПЛ-АН-132-2 ПЛ-АН-132-3	18...28 28...34 35...45	Наплавка деталей, работающих в условиях контактных нагрузок при повышенной температуре (ролики рольганов, валки и др.)
ПЛ-АН-187	18...26	Наплавка деталей, работающих в условиях больших контактных нагрузок (крановые колеса, направляющие и др.)
ПЛ-АН-115	18...26	Наплавка стальных крупногабаритных деталей с целью восстановления их геометрических размеров (конуса и чаши засыпных аппаратов доменных печей, тележки агломашин и др.)
ПЛ-АН-189 ПЛ-АН-190 ПЛ-АН-191	44...50 44...50 46...52	Наплавка валков горячей прокатки металла
ПЛ-АН-183	47...54	Наплавка ножей для горячей резки металла
ПЛ-АН-150 ПЛ-АН-151	27...34 38...50	Наплавка под флюсом деталей арматуры, работающих при температуре среды до 545 °С

Расход порошковой ленты в расчете на 1 кг наплавленного металла составляет 1,1...1,2 кг при наличии в порошке-наполнителе легкоиспаряющихся и 1,2...1,35 кг минеральных компонентов. Поставка порошковой ленты осуществляется в мотках с рядной укладкой с внутренним диаметром 400...460, наружным до 850 и шириной 115...130 мм. Масса одного мотка составляет

80...150 кг. На рис. 8 и 9 представлены общий вид порошковой ленты и бухта с рядной укладкой.

Для наплавки порошковыми лентами используется серийно выпускаемая сварочная аппаратура, которая дополнительно комплектуется специальными мунштуками и подающими роликами, обеспечивающими надежную подачу электродного материала.

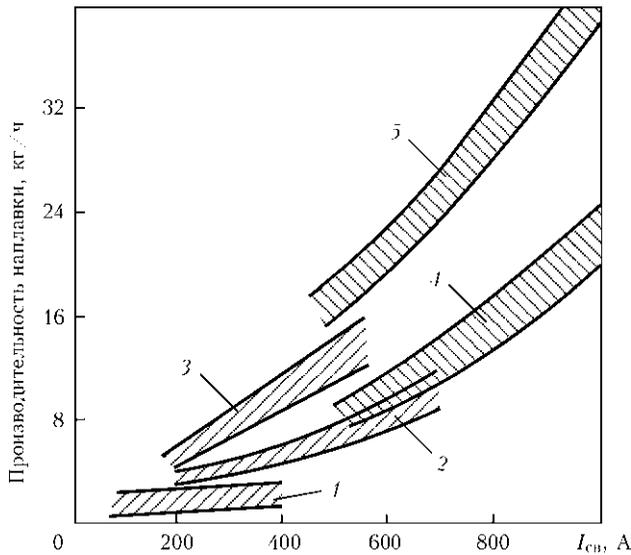


Рис. 7. Производительность наплавки: 1 — штучными электродами; 2 — цельнотянутой проволокой под флюсом; 3 — порошковой проволокой; 4, 5 — порошковой лентой открытой дугой (соответственно один и два электрода)

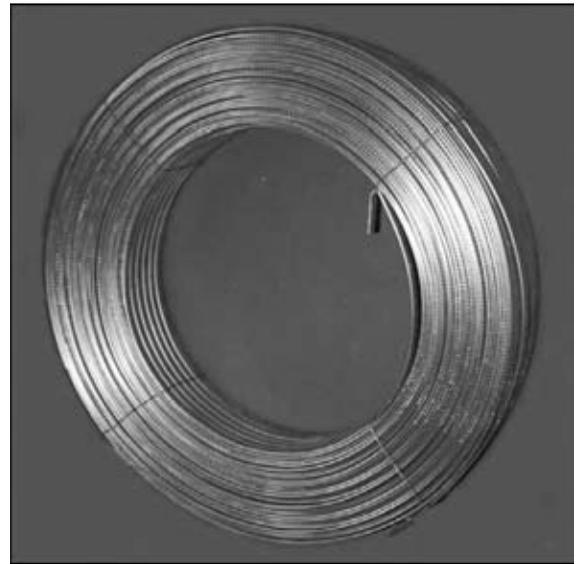


Рис. 9. Бухта порошковой ленты

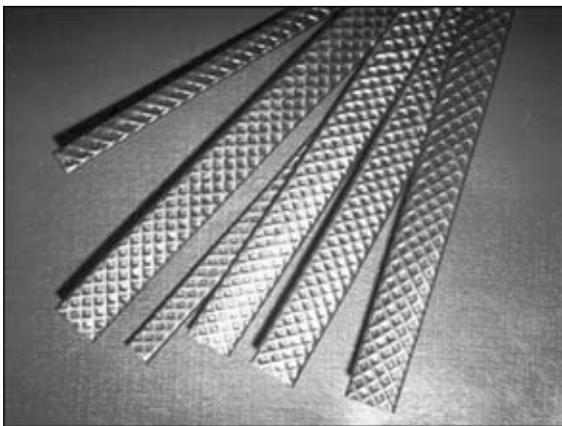


Рис. 8. Общий вид порошковой ленты

Наиболее успешно порошковые ленты используются при наплавке деталей засыпных аппаратов доменных печей [11–14] бесконусных загрузочных устройств [12, 13], бил углеразмольных мельниц [12, 13], биметаллических износостойких листов [13, 15], дорожно-строительной техники [16–18], ножей горячей резки металла [13], запорной арматуры тепловых и атомных электростанций [19, 20] и многих других деталей металлургической, горнодобывающей и энергетической промышленности.

В зарубежной литературе отсутствуют данные по разработке составов и серийному изготовлению порошковых лент в качестве электродных материалов. Однако в рекламных материалах аргентинской компании приведены сведения о материале в виде порошковой ленты для введения раскислителей при разливке стали.

Таким образом, мировой приоритет по созданию порошковых лент как электродного материала принадлежит СССР. Разработка большинства

составов, организация промышленного производства и широкое внедрение — заслуга сотрудников ИЭС им. Е. О. Патона. В разные годы существенный вклад в разработку составов и технологии наплавки порошковыми лентами также внесли специалисты таких организаций, как ЦНТИ ВНИИСТ (г. Москва, РФ), [21, 22], НТУУ «Киевский политехнический институт» [23–26], Приазовского государственного технического университета, ОАО «Азовмаш» (г. Мариуполь), [27, 28], ДГУ (г. Днепрпетровск) и многие другие.

До 1991 г. в СССР выпускалось до 1000 т порошковой ленты в год. В настоящее время производителями порошковых лент в Украине являются ОАО «Торезтвердосплав» (г. Торез) и ООО «ПЛАН-Т» (г. Киев), а в России — ООО «Роснамис» (г. Таганрог) и НПО «Полема» (г. Тула). Сегодня общий объем производства порошковых лент различных марок ориентировочно составляет свыше 700 т в год. При этом существует устойчивая тенденция увеличения объема производства этого электродного материала в связи с возрастающим спросом промышленности на новые виды продукции с повышенной износостойкостью.

1. А. с. 132271 СССР. Ленточный порошковый электрод / Г. П. Клековкин, О. А. Бахши, Т. В. Сумина, Е. Ф. Белоусов. — Приорит. от 30.01.1959.
2. Износостойкая наплавка ленточным порошковым электродом / О. А. Бахши, Е. Ф. Белоусов, Г. П. Клековкин и др. // Свароч. пр-во. — 1960. — № 3. — С. 30–33.
3. А. с. 143180 СССР. Порошковый электрод Клековкина / Клековкин Г. П., 1960.
4. Износостойкая наплавка порошковой лентой рабочих органов землеройных машин / Г. А. Кортелев, А. В. Черепанов, М. Р. Николаенко и др. // Строит. и дорож. машины. — 1968. — № 7. — С. 35–37.
5. Кортелев Г. А. Особенности износостойкой механизированной наплавки высокохромистым чугуном деталей дорожных и строительных машин и разработка наплавочных материалов: Дис. ... канд. техн. наук. — Брянск, 1971. — 123 с.

6. Николаенко М. Р. Исследование и разработка наплавочных материалов и технологии наплавки деталей землеройных машин: Дис. ... канд. техн. наук. — Брянск, 1972. — 72 с. — 27–31.
7. Николаенко М. Р., Кортелев Г. А. Наплавка ленточным электродом деталей машин. Серия V. — М.: ЦНИИТЭс-строймаш, 1972.
8. Юзвенко Ю. А. Порошковая электродная лента // Автомат. сварка. — 1960. — № 9. — С. 86–87.
9. А. с. 200075 СССР. Порошковая лента ПЛ-АН101 / Ю. А. Юзвенко, В. П. Шимановский, И. П. Копылец. — БИ. — 1967. — № 16.
10. А. с. 1152159 СССР. Порошковый ленточный электрод для наплавки высокохромистых сплавов / Б. В. Данильченко, В. П. Шимановский, И. П. Копылец и др. — 1984.
11. Шимановский В. П., Ворончук А. П., Звездин С. М. Материалы и оборудование для наплавки конусов и чаш доменных печей // Оборудование и материалы для наплавки. — Киев: ИЭС им. Е. О. Патона, 1990. — С. 71–73.
12. Наплавка быстроизнашивающихся деталей самозащитными порошковыми лентами / Б. В. Данильченко, В. П. Шимановский, А. П. Ворончук, И. П. Копылец // Автомат. сварка. — 1989. — № 5. — С. 38–41.
13. Жудра А. П., Ворончук А. П. Износостойкая наплавка порошковыми лентами // Сварщик. — 2010. — № 6. — С. 6–10.
14. Новое оборудование для наплавки конусов и чаш засыпных аппаратов / А. П. Жудра, А. П. Ворончук, А. А. Фомакин, С. И. Великий // Автомат. сварка. — 2009. — № 9. — С. 57–59.
15. Жудра А. П., Ворончук А. П., Великий С. И. Оборудование и материалы для наплавки листовых футеровочных элементов // Там же. — 2009. — № 6. — С. 53–55.
16. Автоматическая износостойкая наплавка зубьев ковша погрузчика Д-561Б порошковой лентой ПЛ-АН 101 / Г. А. Кортелев, М. Р. Николаенко, Б. А. Литвинов и др. // Свароч. пр-во. — 1973. — № 11. — С. 38–39.
17. Автоматическая наплавка порошковой лентой ПЛ-АН-101 лопастей шнеков / Г. А. Кортелев, Л. М. Спектор, И. М. Носов и др. // Автомат. сварка. — 1975. — № 2. — С. 49–50.
18. Автоматическая наплавка порошковой лентой ПЛ-У30Х30ГЗТЮ зубьев ковшей экскаватора Э-652 / Г. А. Кортелев, В. П. Жеравков, А. А. Черепяхин // Свароч. пр-во. — 1972. — № 12. — С. 32–34.
19. Еремеев В. Б., Стреляный Ю. З., Фруммин И. И. Разработка порошковой проволоки и ленты для наплавки трубопроводной арматуры // Теоретические и технологические основы наплавки. Наплавочные материалы. — Киев: ИЭС им. Е. О. Патона АН УССР. — 1978. — С. 3–7.
20. Еремеев В. Б. Механизированная наплавка изношенных деталей арматуры тепловых электростанций // Наплавка. Опыт и эффективность применения. — Киев: ИЭС им. Е. О. Патона, 1985. — С. 41–44.
21. Николаенко М. Р., Гринберг Н. А. Неоднородность металла, наплавленного порошковым ленточным электродом // Технология и оборудование сварочных и наплавочных работ. — Тула, 1976. — С. 127–131.
22. Николаенко М. Р., Кортелев Г. А., Гринберг Н. А. Влияние бора, ванадия и никеля на структуру и свойства высокохромистых чугунов, наплавленных порошковой лентой // Свароч. пр-во. — 1973. — № 4. — С. 32–34.
23. Пацкевич И. Р. Опыт применения и перспективы развития наплавки порошковой ленты // Высокопроизводительные процессы наплавки и наплавочные материалы: Материалы Всесоюз. совещ., Коммунарск, 1973. — Киев: ИЭС им. Е. О. Патона АН УССР, 1973. — С. 14–18.
24. Пацкевич И. Р., Рыков А. М. Статические характеристики дуги при наплавке порошковой лентой // Свароч. пр-во. — 1973. — № 2. — С. 9–11.
25. Пацкевич И. Р., Рыков А. М. Тепловой баланс дуги при наплавке порошковой лентой // Там же. — 1972. — № 2. — С. 7–9.
26. Пацкевич И. Р., Хейфец Л. А. О химической неоднородности слоя, наплавленного порошковой лентой в углекислом газе // Автомат. сварка. — 1971. — № 11. — С. 66–67.
27. Чигарев В. В. Производство и применение порошковых лент для наплавки износостойких сплавов // Там же. — 1994. — № 2. — С. 51–52.
28. Чигарев В. В., Белик А. Г. Порошковые ленты для наплавки // Свароч. пр-во. — 2011. — № 8. — С. 38–44.

The history of development of electrode surfacing material in the form of flux-cored strips is considered. Their various designs, developed compositions and purposes are given. Equipment for flux-cored strip manufacturing and technological advantages of surfacing with this electrode material are described.

Поступила в редакцию 26.10.2011