

## ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ И ПРИМЕНЕНИЯ ПОРОШКОВЫХ ЛЕНТ ДЛЯ НАПЛАВКИ

А.П. ВОРОНЧУК, А.П. ЖУДРА, В.О. КОЧУРА, А.В. ПЕТРОВ, В.В. ФЕДОСЕНКО  
ИЭС им. Е.О. Патона НАНУ. 03680, г. Киев-150, ул. Боженко, 11. E-mail: office@paton.kiev.ua

Рассмотрены проблемы однородности шихты порошковых лент при ее смешивании в двухконусных смесителях. Экспериментально определено оптимальное время смешивания для смесителей различного объема. Усовершенствовано оборудование для изготовления порошковых лент и разработана новая конструкция тянущей клетки с использованием датчиков давления, что позволяет определять и регулировать усилия прижатия тянущих валков стана. Приведены результаты исследований влияния степени уплотнения шихты на сварочно-технологические свойства порошковых лент. Установлено, что увеличение степени уплотнения приводит к заметному росту коэффициента расплавления электродного материала. Недостаточная или избыточная степень уплотнения негативно отражается на сварочно-технологических свойствах порошковых лент — увеличивается разбрызгивание и ухудшается стабильность процесса. Библиогр. 4, табл. 1, рис. 7.

*Ключевые слова:* наплавка, порошковая лента, шихта, смеситель, смешивание, однородность, комплексно-легированные порошки, степень уплотнения, разбрызгивание

Порошковые ленты широко применяются при наплавке крупногабаритных деталей в металлургической, горнодобывающей, энергетической и других отраслях промышленности. Прежде всего это связано с высокой производительностью наплавки порошковой лентой, достигающей более 30 кг наплавленного металла в час при использовании одной ленты. Порошковая лента проста в изготовлении, а ее конструктивные особенности позволяют получать коэффициент заполнения 60...70 %, что дает возможность существенно увеличивать степень легирования наплавленного металла [1].

Технология изготовления порошковой ленты имеет ряд особенностей, связанных с подготовкой шихтовых материалов, а также процессом формирования, уплотнения и прокатки лент.

В настоящей статье рассмотрено две проблемы, которые могут существенно влиять на качество порошковой ленты — это смешивание шихтовых материалов и степень их уплотнения в процессе прокатки. Учитывая тот факт, что в состав многих марок порошковых лент, как правило, входит от 4 до 12 и более компонентов, различающихся по химическому составу, грануляции и физико-механическим свойствам, качественное их смешивание является важным фактором, обеспечивающим получение наплавочного материала необходимого состава и свойств.

Цель процесса смешивания шихтовых материалов — получение продукта с возможно более равномерным распределением частиц отдельных составляющих шихты а, следовательно, и возмож-

но более близкими свойствами в любой части получаемой смеси.

Чаще всего для смешения шихтовых материалов применяются двухконусные смесители, имеющие ряд достоинств:

практически не изменяют форму и размеры частиц смешиваемого материала;

обеспечивают полную герметичность;

легко очищаются и т.д.

Как показали многочисленные исследования, для вращающихся смесителей, работающих в оптимальном режиме, характерны весьма короткие периоды смешивания. Если в течение 5...20 мин не получено удовлетворительного усреднения компонентов, дальнейшее смешивание нецелесообразно и следует искать причину, мешающую гомогенизации смеси. Д. Кауфман [2] считает, что для получения равновесной смеси достаточно 50...250 оборотов смесителя (ориентировочно 10...25 мин), а М. Эштон и Ф. Валентин [3] считают, что оптимальный период гомогенизации смеси колеблется в пределах 1,2...18 мин.

По установившейся традиции время смешения шихтовых материалов для порошковых проволок и лент составляет 40...60 мин.

Были проведены исследования влияния времени смешивания шихтовых материалов на однородность шихты порошковой ленты для наплавки ПЛ-Нп-500Х40Н40С2ГРЦ. Эксперименты по смешиванию шихты проводили в двухконусном лабораторном смесителе объемом 7 дм<sup>3</sup> (масса шихты 3,35 кг); двухконусном промышленном смесителе объемом 150 дм<sup>3</sup> (масса шихты 100 кг); двух-

**Время отбора проб при перемешивании в смесителях различного объема**

Номер партии	Время перемешивания, мин, при объеме смесителя, дм <sup>3</sup>		
	7	150	600
1	5	5	5
2	10	10	10
3	15	15	15
4	20	20	20
5	30	30	30
6	60	60	45
7	120	120	60
8	180	180	90
9	240	240	120
10	–	–	150

конусном промышленном смесителе объемом 600 дм<sup>3</sup> (масса шихты 419,42 кг). Время перемешивания и отбора проб отдельных партий шихты приведены в таблице.

От каждой партии шихты после смешивания методом квартования (при проверке смесителя емкостью 7 дм<sup>3</sup>) или шупом из разных мест (при проверке промышленных смесителей объемом 150 и 600 дм<sup>3</sup>) было отобрано по 24 пробы для оценки качества смешивания. Из каждой нечетной пробы прессовалось по 2 таблетки. Анализ проб осуществлялся на рентгено-флуоресцентном анализаторе «Тефа» фирмы «Ортек».

Степень усреднения компонентов шихты оценивали по среднеквадратичным отклонениям интенсивностей по четырем элементам: алюминию, кремнию, хрому и железу. Полученные результаты приведены на рис. 1, а–в.

Анализируя полученные результаты, можно отметить своеобразную цикличность изменения среднеквадратичного отклонения интенсивностей по всем элементам. По-видимому, в процессе многочасового смешивания в смесителе чередуются явления весьма равномерного усреднения состава шихты с явлениями сегрегации. Оптимальное время смешивания в зависимости от объема смесителя представлено на рис. 2.

Наименьшее среднеквадратичное отклонение интенсивностей по большинству элементов наблюдается в смесителе объемом 7 дм<sup>3</sup> после 10 мин смешивания, в смесителе объемом 150 дм<sup>3</sup> после 13...20 мин смешивания, в смесителе объемом 600 дм<sup>3</sup> — после 30 мин смешивания, что полностью подтверждает правильность рекомендаций, данных в литературных источниках. Эти данные показывают принципиальную возможность резко сократить время работы двухконусных смесителей, что значительно повысит их производительность.

Следует также отметить, что усреднять состав шихты порошковой ленты или проволоки можно

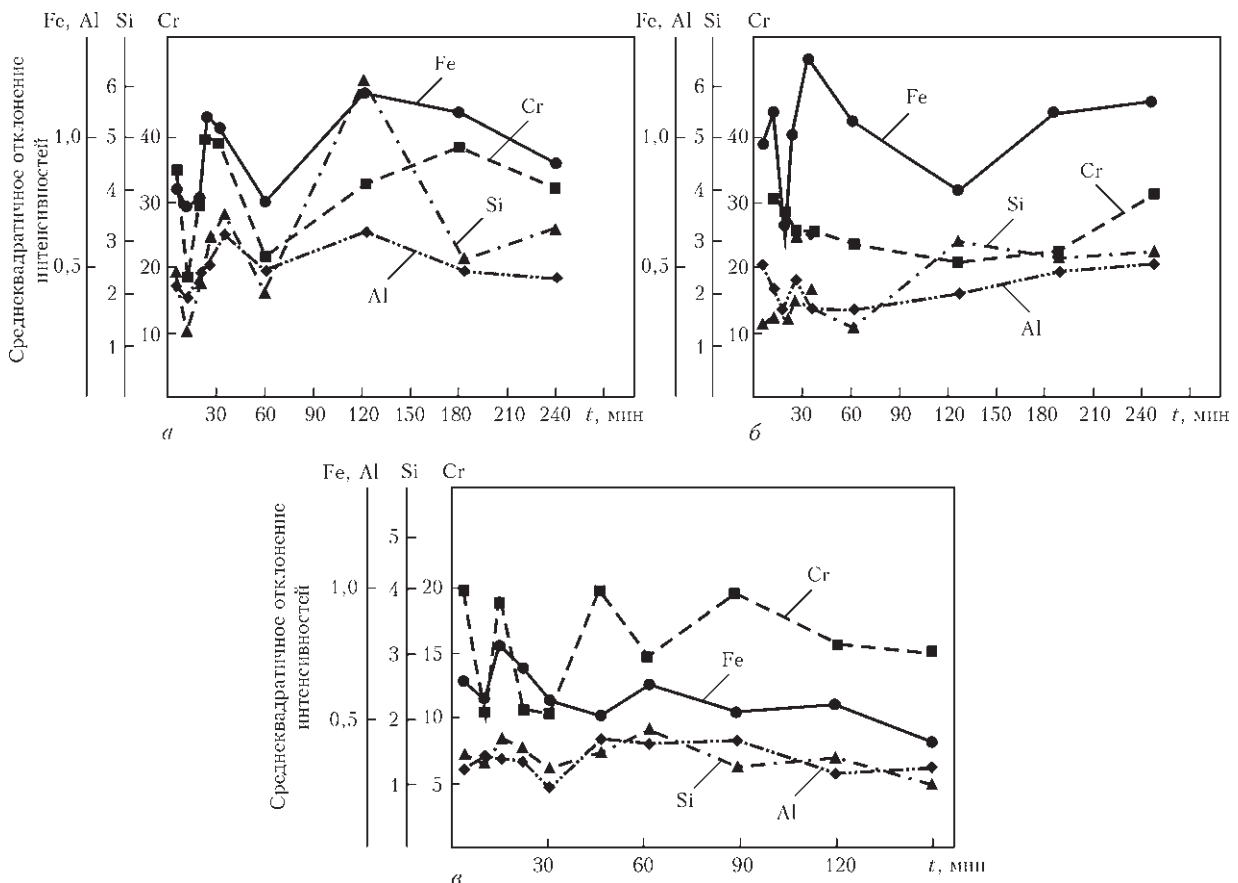


Рис. 1. Влияние времени смешивания  $t$  компонентов на среднеквадратичное отклонение интенсивностей по отдельным элементам: а — для смесителя 7 дм<sup>3</sup>; б — 150; в — 600

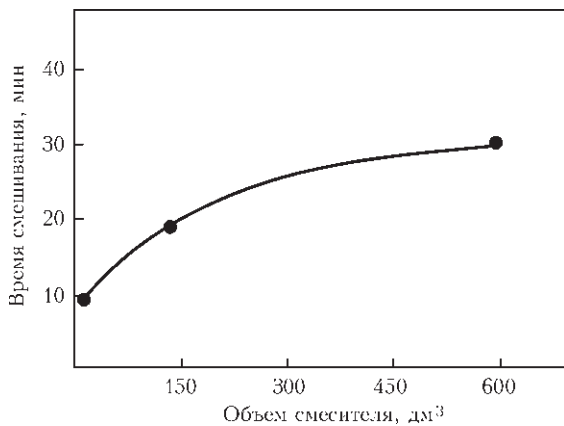


Рис. 2. Оптимальное время смешивания в зависимости от объема смесителя

не только за счет механического смешивания, но и при использовании комплексно-легированных порошков. Процесс получения таких порошков разработан в ИЭС им. Е.О. Патона. Предварительно выплавляются слитки заданного химического состава из смеси ферросплавов и других легирующих компонентов с последующим их плазменно-дуговым термоцентробежным распылением в инертной среде [4]. Полученный порошок имеет гранулы сферической формы одинакового химического состава, что существенно упрощает процесс изготовления наплавочных материалов, улучшает их сварочно-технологические свойства, а также способствует повышению эксплуатационных характеристик наплавленного металла за счет снижения его неоднородности.

Качество порошковой ленты и, соответственно, ее сварочно-технологические свойства значительно зависят от степени уплотнения шихты в процессе изготовления ленты. Практика показывает, что недостаточное уплотнение шихты или чрезмерное ее уплотнение приводят к снижению сварочно-технологических свойств порошковой ленты, в частности, к значительному увеличению потерь на разбрызгивание.

В настоящее время при изготовлении порошковых лент отсутствует объективный показатель качества уплотнения порошка-наполнителя и этот параметр всецело зависит от опыта оператора.

Попытки использования гидравлической мездозы, заложенной в конструкцию тянущей клетки станков ОБ-2121 и ОБ-2240, не увенчались успехом. Данное техническое решение не позволило измерять усилие прижатия с необходимой точностью, а также продемонстрировало низкую надежность при работе в производственных условиях.

Была разработана новая конструкция тянущей клетки, позволяющая проводить непрерывный контроль усилия прижатия тянущих валков в процессе изготовления порошковой ленты, а также определять оптимальную степень уплотнения порошка-наполнителя (рис. 3). Усилие прижатия регулируется

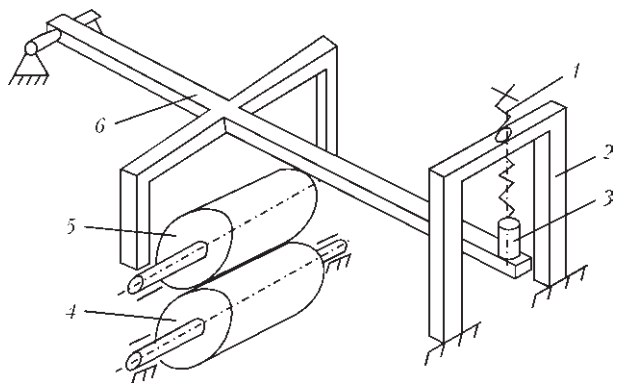


Рис. 3. Кинематическая схема тянущей клетки: 1 — винт; 2 — неподвижная опора; 3 — датчик давления; 4 — неподвижный валок; 5 — верхний подвижный валок; 6 — рычаг; 7 — ось

при помощи винта 1 и контролируется датчиком 3, результат выводится на цифровое электронное табло. Конструктивно рычаг выполнен таким образом, что давление передается в двух точках на обе обоймы подшипников верхнего валка через регулировочные винты. Это позволяет устранять непараллельность валков, а следовательно, исключать серповидность порошковой ленты.

Было исследовано влияние степени уплотнения шихты на сварочно-технологические свойства порошковой ленты ПЛ-Нп-400Х20Б7М7В2Ф (ПЛ-АН179). Для изготовления всех опытных порошковых лент использовали шихту одной партии стабильного химического состава. Коэффициент заполнения порошковой ленты также был постоянным. В процессе изготовления порошковых лент изменялось только усилие прижатия тянущих валков. Все остальные параметры настройки стана, включая скорость протяжки порошковой ленты, оставались неизменными.

При изготовлении порошковых лент задавались усилия прижатия тянущих валков в следующих пределах: 2,5...3,5; 15,0...20,0; 36,0...40,0; 48,0...53,0; 66,0...72,0; 75,0...81,0 кН.

Была определена степень уплотнения шихты в порошковых лентах в зависимости от усилия при-

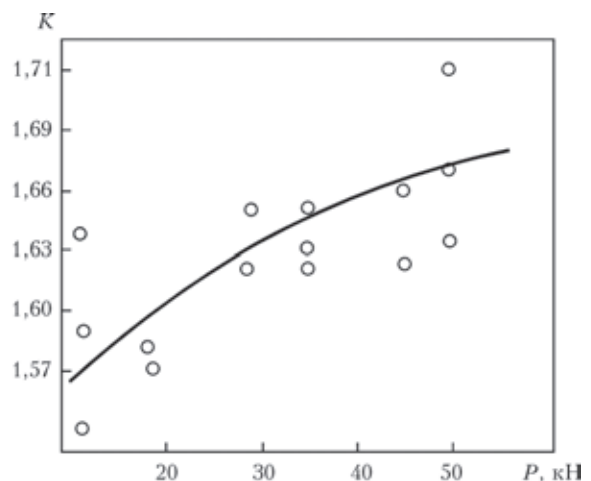


Рис. 4. Степень уплотнения порошка-наполнителя

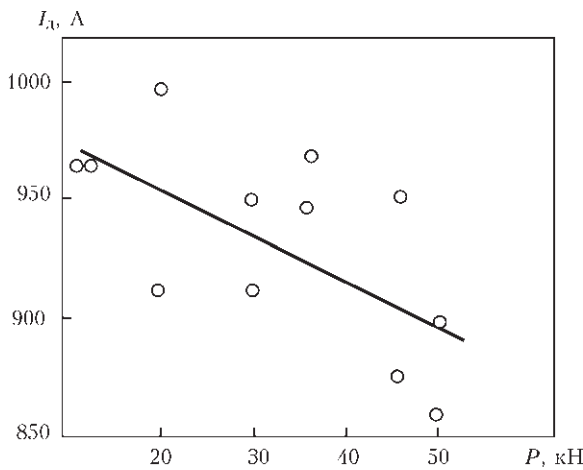


Рис. 5. Ток наплавки в зависимости от усилия прижатия валков

жания тянущих валков. Она оценивалась как отношение насыпной плотности порошка-наполнителя после его смешивания к плотности порошка-наполнителя в порошковой ленте по формуле (рис. 4):

$$K = \rho_1 / \rho_2,$$

где  $\rho_1$  — насыпная плотность шихты после смешивания компонентов;  $\rho_2$  — плотность шихты в порошковой ленте.

Степень уплотнения шихты с увеличением усилия прижатия валков пропорционально возрастает и при усилиях прижатия 60 кН составляет 1,66. Наплавку опытными порошковыми лентами при исследованиях сварочно-технологических свойств электродного материала выполняли на аппарате А-874Н с источником питания постоянного тока ВДУ-1201. Режимы наплавки: напряжение  $29 \pm 1$  В; скорость подачи порошковой ленты  $41 \pm 1$  м/ч; скорость наплавки  $19 \pm 1$  м/ч; вылет электрода  $50 \pm 5$  мм; полярность обратная.

Наплавку выполняли на пластины из Ст3 размером  $20 \times 45 \times 300$  мм. Во время наплавки каждой из опытных порошковых лент фиксировали сред-

ний ток и напряжение, а также определяли коэффициенты вариации по току и напряжению. Для получения этих данных использовали информационно-измерительную систему АНП-2 на базе микроЭВМ «Электроника-60М».

Коэффициенты расплавления, наплавки и потерь на угар и разбрызгивание определяли по следующим зависимостям.

Коэффициент расплавления  $\alpha_p$ :

$$\alpha_p = \frac{3600(m_l - m'_l)}{It},$$

где  $m_l, m'_l$  — соответственно масса ленты до и после наплавки;  $I$  — ток наплавки, А;  $t$  — время наплавки, с.

Коэффициент наплавки  $\alpha_n$ :

$$\alpha_n = \frac{3600(m_n - m'_n)}{It},$$

где  $m_n, m'_n$  — масса пластины до и после наплавки, г.

Коэффициент потерь на угар и разбрызгивание  $K_{\text{п}}$ :

$$K_{\text{п}} = \frac{(m_l - m'_l) - (m_n - m'_n)}{m_l - m'_l}.$$

Потери на разбрызгивание:

$$K_{\text{раз}} = \frac{m_{\text{бр}}}{m_l - m'_l},$$

где  $m_{\text{бр}}$  — масса собранных брызг.

С увеличением степени уплотнения шихты ток при неизменной скорости подачи порошковой ленты уменьшается, т. е. при одинаковой величине напряжения на дуге снижается мощность дуги, расходуемая на расплавление одного и того же количества электродного материала (рис. 5).

За счет этого растет коэффициент расплавления  $\alpha_p$ , но коэффициент наплавки  $\alpha_n$  при усилиях прижатия валков свыше 40 кН падает (рис. 6, а).

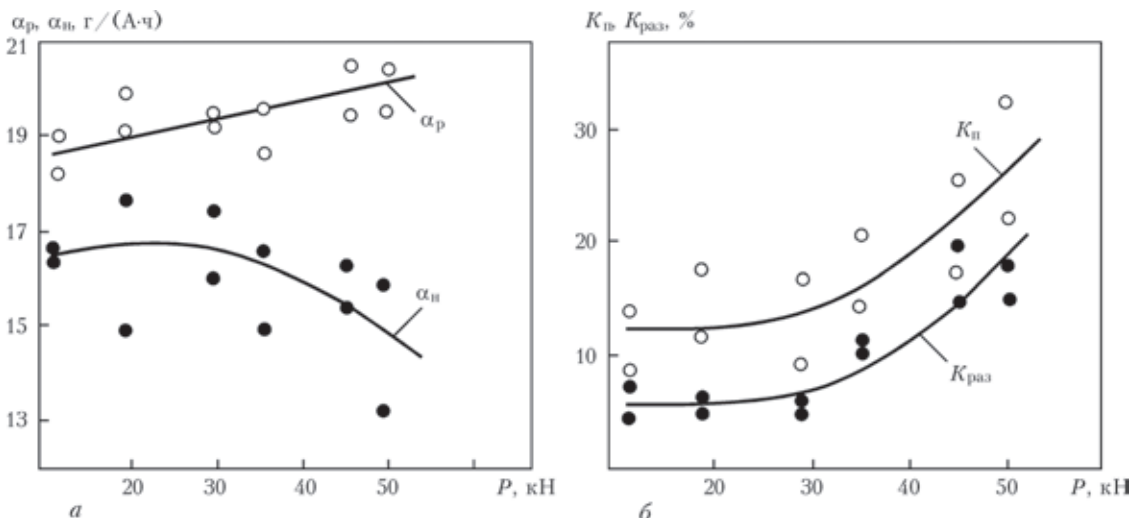


Рис. 6. Зависимость коэффициентов расплавления и наплавки (а) и коэффициентов потерь и разбрызгивания (б) от усилия прижатия валков

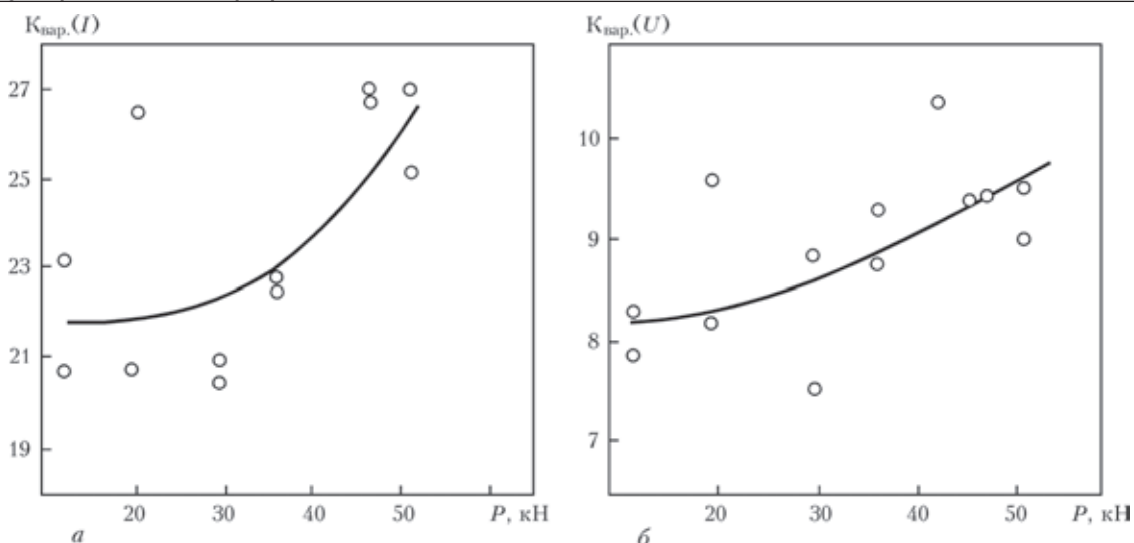


Рис. 7. Коэффициент вариации тока (а) и напряжения (б) в зависимости от усилия прижатия валков

Снижение величины коэффициента наплавки объясняется резким увеличением потерь на разбрызгивание (рис. 6, б).

В этом же диапазоне (усилие прижатия от 40 до 80 кН) наблюдается и увеличение коэффициентов вариаций тока и напряжения (рис. 7, а, б).

Таким образом, увеличение степени уплотнения шихты порошковой ленты приводит к увеличению производительности расплавления электродного материала, но этот положительный эффект полностью устраняется резким увеличением потерь на разбрызгивание.

Оптимальные сварочно-технологические свойства порошковой ленты в рассматриваемом случае получены только при усилии прижатия валков в диапазоне 20...40 кН. При усилиях прижатия ниже 20 кН повторяемость результатов невысокая, что, очевидно, связано с недостаточной степенью уплотнения шихты порошковой ленты.

Увеличение производительности расплавления электродного материала можно объяснить изменением электрического сопротивления порошковой ленты, что, по-видимому, связано с изменением сопротивления ленты-оболочки за счет наклепа и изменения сечения при ее деформировании за счет отпечатков тянущих валков заданной конфигурации на ее поверхности.

Увеличение разбрызгивания с ростом степени уплотнения шихты, по нашему мнению, связано с изменением теплопроводности шихты и снижением ее электрического сопротивления.

Проведенные исследования послужили основанием для усовершенствования технологической инструкции на изготовление данной марки порошковой ленты, что позволило стабилизировать качество изготавливаемой продукции и снизить ее потери при наплавке.

Применение нового технологического процесса изготовления порошковых лент позволило существенно уменьшить габариты оборудования и снизить в несколько раз энергоемкость электродного материала.

### Выводы

1. Установлено, что оптимальное время смешивания компонентов шихты сердечника порошковых лент зависит от объема смесителя и изменяется в пределах 10...30 мин. Увеличение времени смешивания сверх этих пределов приводит к уменьшению однородности шихты.
2. Разработана система определения усилия прижатия валков тянущей клетки стана для изготовления порошковых лент. Определены оптимальные пределы уплотнения шихты порошковых лент. Недостаточная степень уплотнения и его повышенное значение негативно отражается на сварочно-технологических свойствах электродного материала. Это приводит к увеличению разбрызгивания и снижению стабильности горения порошковых лент.
3. Полученные результаты исследований реализованы в технологии изготовления порошковых лент и оборудовании для ее изготовления.

1. Жудра А.П., Ворончук А.П. Наплавочные порошковые ленты (Обзор) // Автомат. сварка. – 2012. – № 1. – С. 39–44.
2. Pat. №5547459 U.S. Ultrasonic Bone-Therapy Apparatus and Method / J.J. Kaufman et al. – 1996, Aug. 20. – Оpubл.
3. Ashton M.D., Valentin F.H. The Mixing of Powders and Particles in Industrial Mixers // Irans Inst. Chem. Engrs. – 1986. – 44, № 5. – P. 166–169.
4. Жудра А.П., Кривчиков С.Ю., Дзыкович В.И. Использование комплексно-легированных порошков, полученных методом термоцентрибежного распыления, в порошковых проволоках // Автомат. сварка. – 2014. – № 12. – С. 41–45.

Поступила в редакцию 20.03.2015