

## ВЛИЯНИЕ ПЛОТНОСТИ ПРЕССОВАННОЙ ПОРОШКОВОЙ ПРОВОЛОКИ НА ПОКАЗАТЕЛИ ЕЕ ПЛАВЛЕНИЯ

Порошковые электродные материалы находят широкое применение при выполнении сварочных работ. Особый интерес представляют самозащитные порошковые проволоки новых конструкций, изготовленные методом прессования и предназначенные для сварки меди [1,2].

Разработанные проволоки диаметром 6-10 мм обеспечивают высокую производительность сварки толстолистовой меди, однородность сварного соединения. Для бездефектной сварки тонколистовой меди необходимы проволоки меньшего диаметра, получить которые методом прессования затруднительно. Прессованную проволоку диаметром 6 мм возможно уменьшить до 5 мм методом волочения.

От степени уплотнения зависит электросопротивление между материалом оболочки проволоки и шихты, а также составляющими шихты [2], что должно повлиять на характеристики плавления электрода. Разработан способ изготовления порошковой проволоки методом прокатки [3], позволяющий получить проволоки малых диаметров.

Известно [6], что при прокатке порошковых лент изменяется состояние составляющих шихты и их контактирования с оболочкой, что обусловлено степенью их уплотнения и увеличения площади активной поверхности.

Целью настоящей работы является исследование влияния степени деформации на уплотнение, механические свойства прессованной порошковой проволоки, и характеристики плавления.

Прессованная порошковая проволока (ППП) предварительно изготовлена в соответствии с разработанными рекомендациями [3,4].

Экспериментальное исследование процесса прокатки ППП реализовано на специальной установке, включающую лабораторный мини-стан 100x100 ДГМА и подключенного к стану аналого-цифрового преобразователя АЦП SDI-ADC 16-32 с использованием ЭВМ. На данном оборудовании были проведены экспериментальные исследования энергосиловых параметров и точности геометрических характеристик, получаемых при реализации прокатки прессованной порошковой проволоки. Рабочие валки изготовлены из стали 40Х на восемь калибров, диаметр рабочих валков  $D_в = 100$ мм, длина бочки  $L_б = 100$ мм. Калибровку валков осуществляли по методике [5], используемой для калибровки валков проволочных станков, исходя из условия, что средняя вытяжка за проход не превышает 20%:

$$\lambda = \frac{d_0^2}{d_1^2} = 1.2 ; \quad (1)$$

где:  $d_0$  – исходное значение диаметра прессованной порошковой проволоки ;

$d_1$  – значение диаметра после деформации соответственно.

Калибры валков имеют значения:  $d_r = 8,0; 7,3; 6,7; 6,1; 5,6; 5,1; 4,6; 4,2$  (мм).

Межвалковое расстояние изменяли при помощи гидравлического нажимного механизма.

При проведении экспериментальных исследований фиксировали следующие технологические параметры:

– величину силы прокатки на каждом калибре, которую измеряли при помощи месдоз, установленных под нажимными винтами;

- крутящий момент на приводных валках, который фиксировали тензометрическими датчиками сопротивления, наклеенными на тела каждого из универсальных шпинделей;
- исходный диаметр прессованной порошковой проволоки  $d_0$  и диаметр после каждого прохода (деформации)  $d_1$ ;
- исходную длину прессованной порошковой проволоки и вытяжку после каждого прохода;

В процессе прокатки в каждом калибре проводилось обжатие с различными относительными деформациями, которые изменялись в диапазоне  $\varepsilon = 0,15 - 0,75$ . Процесс протекал без использования технологической смазки.

После каждого прохода порошковой проволоки через последующий калибр измеряли геометрические характеристики: значения диаметра  $d_0$  ( $d_1$ ) в трех точках с помощью микрометра (с ценой деления шкалы 0,01 мм), и вытяжки  $\ell$ , а также значение относительной плотности ППП с помощью гидростатического метода [5]. Для измерения использовали установку сконструированную на основе электронных аналитических весов AR 3130 (фирма Ohaus, США), что позволяет производить взвешивание образцов с точностью 0,001 г. Образец подвешивали к специальному захвату весов на тонкой (0,1 мм) мононити. Длина нити выбиралась таким образом, чтобы образец, при поднятии мерного цилиндра с дистиллированной водой, свободно погружался на глубину не менее 10 мм от поверхности жидкости. Для измерения плотности применяли дистиллированную воду (ГОСТ 6709-72) с добавлением 1-2 капель триэтанолamina – вещества, снижающего поверхностное натяжение жидкости, что защищает образцы от оседания на них пузырьков воздуха.

Испытания проводили следующим образом. Образцы прессованной порошковой проволоки, после каждого калибра, равной длины ( $\ell = 20$ ) мм взвешивали на воздухе. Поверхностные поры закрывали путем покрытия поверхности тонким слоем вазелина (ГОСТ 3582-84), с последующим втиранием. После обработки, образец взвешивали на воздухе и в воде.

Плотность  $\gamma$  образцов прессованной порошковой проволоки вычисляли по формуле:

$$\gamma = \frac{m}{m_n - m_e - \left[ m_n - m \frac{\gamma_w}{\gamma} \right] + m_{np}} \gamma_w, \quad (2)$$

где  $m$  – масса образца, г;

$m_n$  – масса образца с покрытием, взвешенного на воздухе, г;

$m_e$  – масса образца, взвешенного в воде, г;

$m_m$  – масса мононити в процессе взвешивания, г;

$\gamma_w$  – плотность воды, при 20°C составила 0,9982 г/см<sup>3</sup>;

$\gamma_n$  – плотность покрытия, г/см<sup>3</sup>.

Плотность вазелина принимали равной 0,830 г/см<sup>3</sup>, плотность образцов рассчитывали с точностью до 0,001 г/см<sup>3</sup>.

Графическая интерпретация экспериментальных исследований относительной плотности и вытяжки проволоки в зависимости от степени деформации представлена на рисунке 1.

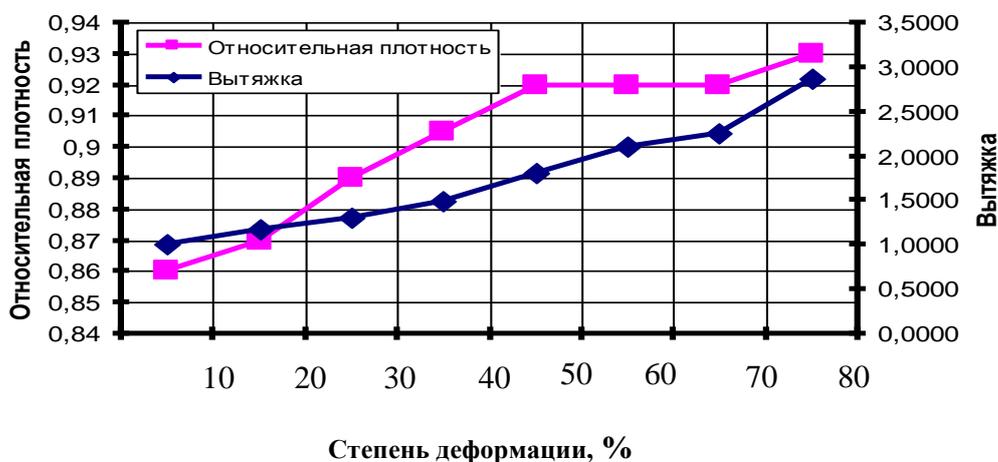


Рис. 1 - Экспериментальные распределения по проходам, относительной плотности  $\gamma$ , вытяжки  $\lambda$  в процессе прокатки прессованной порошковой проволоки.

Из анализа представленных экспериментальных данных распределения относительной плотности  $\gamma$  и вытяжки  $\lambda$  по проходам в зависимости от степени деформации видно, что по мере увеличения обжатия относительная плотность возрастает с 0,86 до 0,93 и приближается к плотности монометалла, вместе с тем происходит увеличение значения относительной вытяжки ППП, конечная величина которой составила 3,23. Наиболее существенно прирост вытяжки по переходам увеличивается после достижения деформации обжатия 45%, что связано с достижением максимального значения относительной плотности за счет пластического деформирования и частичного проскальзывания частиц относительно друг друга. Из условия равенства объема [4], и анализа полученных расчетных и экспериментальных данных распределения относительной плотности и вытяжки прессованной порошковой проволоки по проходам следует, что деформация на удлинение  $\lambda$  составила 77%, а деформация на обжатие  $\varepsilon_d$  составила 23%. Такое соотношение деформации возможно в случае деформирования объема металлической крупки с пластическим течением металла ее оболочки, что повлияло на расположение неметаллической составляющей ППП.

Для исследования влияния степени деформации при прокатке на изменение строения ППП после каждого прохода с проволоки, в трех местах определенных случайным образом, вырезали образцы длиной 15мм. Оценку распределения неметаллических (газошлакообразующих), и металлических (легирующих и раскислителей) составляющих по сечению (продольному, поперечному) исследуемого материала проводили на шлифах соответствующего сечения (рис. 2), при помощи металлографического микроскопа МИМ-8 при увеличении  $\times 100$ . Количественную оценку распределения металлических и неметаллических составляющих определяли с помощью специализированного программного пакета Image Expert Pro 3. Результаты исследований образцов представлены на рис. 3.

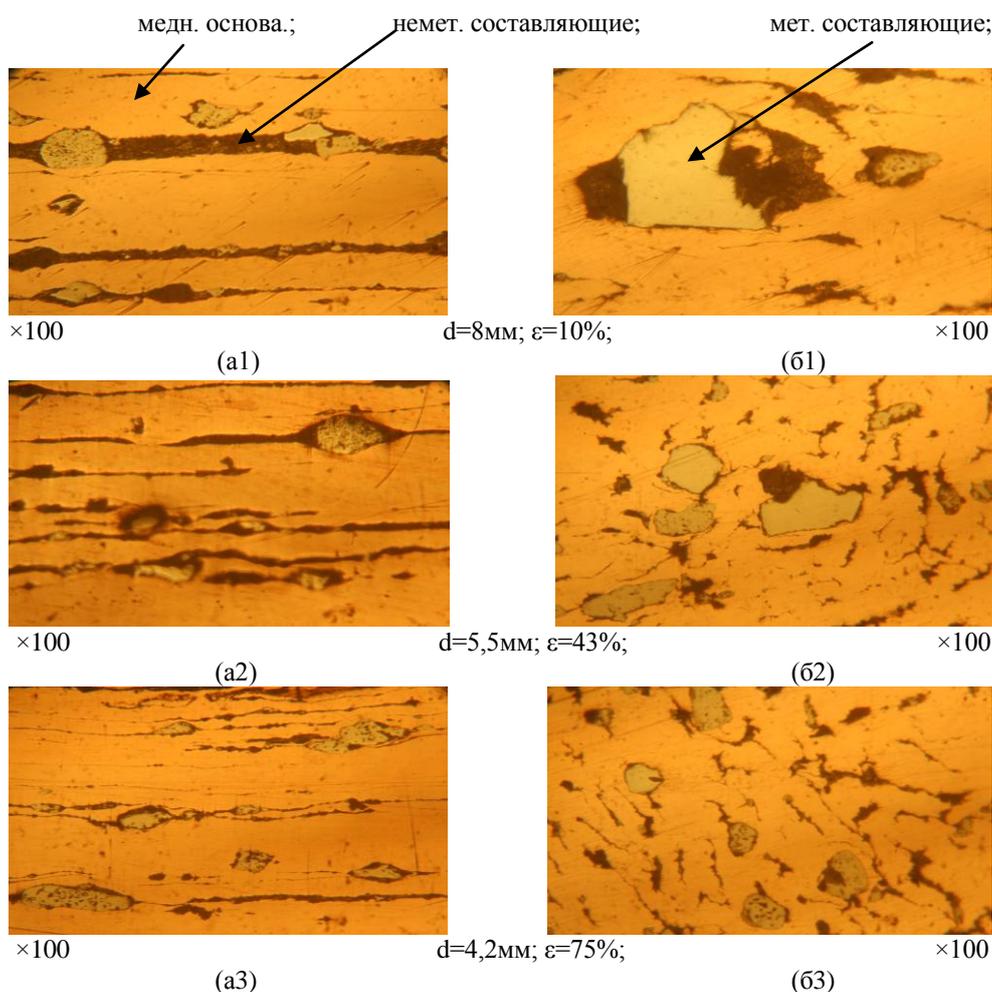
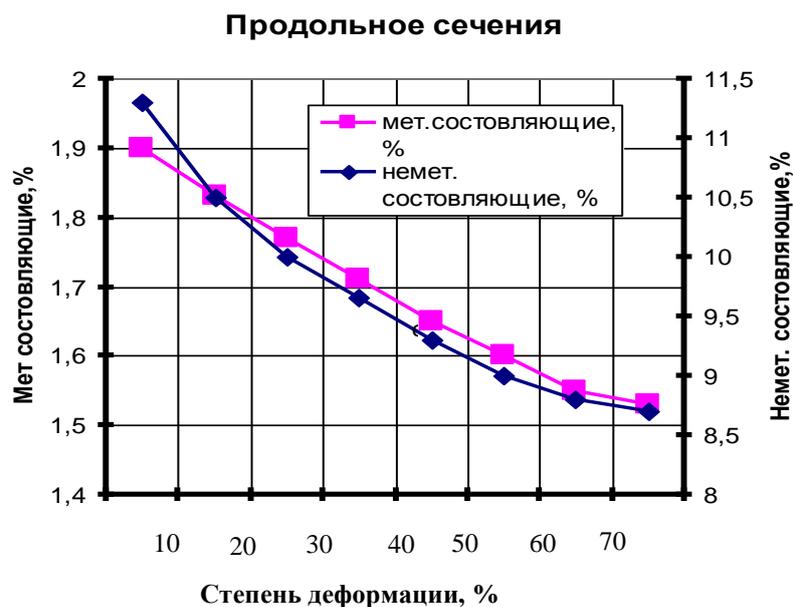


Рис. 2 – Продольное (а), поперечное (б), сечение прессованной порошковой проволоки.

Строение порошковой проволоки диаметром 8мм после прессования представлено на рис. 2(а1,б1). Включения расположены вдоль проволоки преимущественно в виде полос, наблюдается достаточно равномерное их распределение и в поперечном сечении рис. 2(б1), при этом относительная плотность проволоки  $\gamma = 0,86$ , пористость  $\Pi = 14\%$ . С увеличением степени обжата  $\epsilon=43\%$ , суммарная площадь неметаллических включений по сечению проволоки уменьшается на 30%, а содержание металлических включений на 20%, как в поперечном так и в продольном сечениях (рис. 3,а,б). Установлено более равномерное распределения включений по сечению проволоки рис.2 (а2,б2). При данной степени деформации происходит соединение контактных поверхностей включений определяющих защитные свойства проволоки, и медной основы исходной крупки, утонение неметаллических прослоек, относительная плотность возрастает до  $\gamma = 0,93$ , пористость при этом составляет  $\Pi = 7\%$ . Дальнейшее повышение степени деформации  $\epsilon=75\%$ , приводит к незначительному изменению размеров включений по сечению проволоки рис. 2(а3,б3), и как следствие незначительному изменению относительной плотности  $\gamma = 0,94$  и пористости  $\Pi = 6\%$ .



(а)



(б)

Рис. 3 – Распределения неметаллических и металлических включений в зависимости от степени деформации прессованной порошковой проволоки (а) – в продольном сечении; (б) – в поперечном сечении.

Для оценки пригодности ППП в качестве электродного материала после прессования и прокатки важными показателями являются механические свойства. Наиболее объективным параметром механических свойств сварочных проволок является прочность при растяжении.

На испытательной машине МС–500 были проведены исследования на разрыв ППП диаметром 4; 8 мм. Поверхность разрыва имеет вид характерный для хрупкого разрушения, но диаграмма растяжения имеет небольшую площадку текучести. Результаты механических испытаний в сравнении с порошковой проволокой трубчатой конструкции диаметром 3 мм (оболочка медная) представлены в таблице 1.

Таблица 1

Результаты механических испытаний образцов.

Исследуемый материал	Нагружение разрушение P, (Н)	Прочность при растяжении $\sigma$ , (МПа)	Относительная плотность $\gamma$	Пористость П, (%)
Трубчатая порошковая проволока диаметр 3мм	$\frac{1380-1520}{1403}$	$\frac{108-114}{111}$	0,89	11
ППП после прокатки диаметр 4 мм	$\frac{3918-4019}{3968}$	$\frac{312-317}{315}$	0,94	6
ППП после прессования диаметр 8 мм	$\frac{1219-1306}{1263}$	$\frac{23-28}{25}$	0,86	14

Примечание: в числителе таблицы приведенные границы изменения параметра, а в знаменателе среднее значение 4 измерений.

Из данных табл.1 видно, что с увеличением относительной плотности, прочность электродных материалов возрастает, что возможно за счет изменения характера контакта между частицами проволоки и наклепа поверхностного слоя. Соединения между частицами образуются в условиях принудительного деформирования и малой длительности взаимодействия. При заданных условиях изготовления ППП образование соединения между частицами крупки заканчивается схватыванием контактирующих поверхностей и частичной релаксацией напряжений.

Исследовали характеристики плавления прессованных порошковых проволок  $d=8\text{мм}$  и полученных с последующей прокаткой  $d=5,5\text{мм}$  и  $d=4,0\text{мм}$  и соответствующей степенью деформации  $\epsilon=43\%$ ,  $\epsilon=75\%$ . Наплавку на пластины из меди М1 толщиной 20 мм производили открытой дугой автоматом А-786 – (1000А) постоянным током обратной полярности. Режим наплавки следующий: сварочный ток 460 – 650А, напряжение дуги (32 – 36) В, скорость наплавки 16 м/ч, вылет электрода 30 мм. Показатели процесса расплавления прессованной порошковой проволоки приведены на рис.4

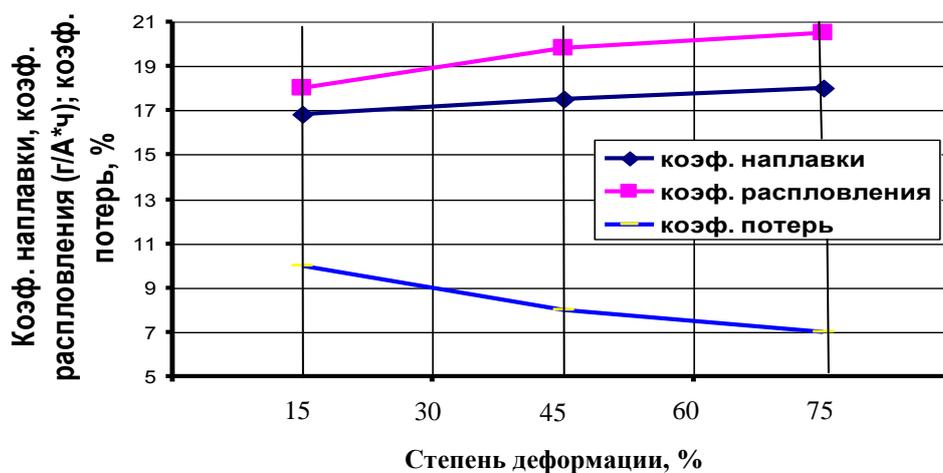


Рис. 4 - Зависимость показателей плавления от степени деформации прессованной порошковой проволоки.

Увеличение степени обжатия проволоки прокаткой приводит к повышению коэффициента расплавления и одновременно к уменьшению потерь расплавленного электродного металла, что является следствием изменения условий плавления, (рис. 5). В свою очередь на характер плавления проволоки и качество наплавленного металла, оказывает влияние изменение условий контактирования составляющих проволоки и их соотношение. Размер капель расплавленного металла уменьшается от 2-3 мм при плавлении электрода диаметром 8 мм до 0,5-1 мм в случае плавления ППП диаметром 4 мм. Авторами предложен количественный показатель ( $K_3$  – коэффициент защиты), отражающий качество защиты расплавленного металла и равномерность распределения шихтовых материалов по сечению прессованной порошковой проволоки. Коэффициент определяется, как отношение суммы площадей неметаллических (газошлакообразующих), и металлических (легирующих и раскислителей) составляющих к общей площади сечения проволоки:

$$K_3 = S_c / S_{\Sigma} = (S_n + S_m) / S_{\Sigma}; \quad (3)$$

где:  $S_c$  - площадь шихтовых материалов занимающих сечение ППП, %;

$S_{\Sigma}$  - общая площадь сечения прессованной порошковой проволоки, %;

$S_n$  - площадь неметаллических (газошлакообразующие) составляющих, %;

$S_m$  - площадь металлических (легирующие и раскислители) составляющих, %;

При наплавке прессованной порошковой проволокой, имеющей степень обжатия  $\varepsilon = 10\%$ ;  $K_3 = 0,1$ , наблюдается максимальное разбрызгивание электродного металла, что связано с высоким значением пористости сечения. При плавлении проволоки, изготовленной с максимальной степенью деформации  $\varepsilon=75\%$ ;  $K_3=0,35$ , и



(а)

(б)

(в)

минимальной пористостью увеличивается активная поверхность шихтовых материалов за счет дробления и вдавливания в материал оболочки исходной крупки. Процесс плавления максимально стабилизируется, снижается количество разбрызгиваемого металла, наблюдается равномерное плавление прессованной порошковой проволоки (рис.5), чему способствует подогрев по сечению вылета проволоки за счет увеличения тепло- и электропроводности, повышение равномерности расположения по сечению шихтовых материалов.

Рис. 5– Характер плавления прессованной порошковой проволоки изготовленной с различной степенью деформации, (а) -  $\varepsilon=75\%$ ; (б) -  $\varepsilon=43\%$ ; (в) -  $\varepsilon=10\%$ ;

На рис.5 показана форма оплавленного торца прессованной порошковой проволоки (в), изготовленной с последующей прокаткой (а) и (б).

### Выводы

1. На характеристики плавления порошковой проволоки полученной методом прессования, а также с последующей холодной прокаткой оказывает влияние степень деформации, оптимальное значение которой колеблется в пределах 45 – 75%.

2. Распределение по сечению прессованной порошковой проволоки наполнителя, обеспечивающего защиту расплавленного металла, равномерно и достаточно при соотношении  $0,15 < S_c/S_\Sigma < 0,35$

3. Полученные значения параметров деформации ППП можно использовать при назначении режимов изготовления проволоки различного диаметра.

### Литература

1. *Металлургия дуговой сварки / И.К. Походня, И.Р. Явдоцин, А.П. Пальцевич и др. – К.: Наукова думка, – 2004. – 430. с.*

2. *В.М. Карпенко, В.Т. Катренко, В.А. Пресняков. Электроконтактная наплавка порошковых материалов в металлической оболочке. Краматорск 2002г.*

3. *Гринь А.Г., Свиридов.А.В. Разработка прессованной порошковой проволоки для сварки меди. / Вісник ДДМА, збірник наукових праць, №3(5)-2006 – с.48-52*

4. *Спосіб виготовлення поліметалевого порошкового дроту. Гринь О.Г., Сатонін О.В., Свиридов.О.В., Грибков Е.П. / Патент України № 27572 від 12.11.2007 Бюл №18*

5. *Прогрессивные технологические процессы штамповки деталей из порошков и оборудование. / Г.М. Волкогон, А.М. Дмитриев, Е.П. Добряков и др.: Под общ. ред. А.М. Дмитриева, А.Г. Овчинникова. - М.: Машиностроение, - 1991.- 320. с.*

6. *Чигарев.В.В., Лаврик.П.Ф. Влияние степени деформации порошковой ленты при прокатке на показатели ее плавления /Сварочное производство.1980. №6 с.17-18*