

УДК 621.762.047

Гринь А. Г., Свиридов А. В., Бойко И. А.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВОЛОЧЕНИЯ ПОРОШКОВЫХ ПРОВОЛОК

Порошковые проволоки весьма широко используются в сварочном производстве. Универсальность данных проволок позволяет использовать их при сварке и наплавке, обеспечивая заданные свойства наплавленного металла, высокое качество сварных соединений [1, 2]. В составе порошковой проволоки используют различное сочетание наполнителя при соответствующем материале оболочки в зависимости от назначения проволоки [3]. Различное сочетание составляющих порошковой проволоки делает затруднительным процесс проектирования технологических режимов волочения, а определение алгоритма регулирования пластичности порошковой проволоки является важной прикладной задачей.

Целью настоящей работы является экспериментальная проверка математической модели, позволяющей проектировать рациональные технологические режимы волочения порошковой проволоки с различными составами сердечника, материала оболочки и конструктивными особенностями.

При изготовлении порошковых проволок для наплавки и сварки высоколегированных сталей, бронз, меди в качестве оболочки применяют соответствующую ленту как типичное сплошное тело. Сердечник порошковой проволоки воспринимает только сжимающие усилия. Напряжения волочения определяются совместным сопротивлением деформации оболочки и сердечника. С учетом этого была разработана математическая модель на основе численно-рекуррентного решения конечно разностной формы условий статического равновесия и условий пластичности для оболочки и порошкового материала. Модель позволяет прогнозировать локальные характеристики напряженно-деформированного состояния очага деформации при волочении порошковой проволоки, а на ее основе вести разработку средств для автоматизированного расчета оптимальных технологических режимов волочения.

Математическая модель [4] была апробирована при экспериментальном исследовании процесса волочения порошковой проволоки. Выбор состава шихты порошковой проволоки производили с учетом металлургических особенностей свариваемых материалов. В качестве оболочки использовали ленты: медную М1 толщиной 0,5 мм и шириной  $B = 15$  мм, стальную 65Г толщиной 0,5 мм, шириной  $B = 15$  мм.

Состав сердечника порошковой проволоки для сварки меди (состав 1) состоит из: алюминиевого порошка, титанового порошка, циркония, медного порошка, марганца, кремния,  $\text{CaF}_2$ ,  $\text{Na}_2\text{SiF}_6$ , оболочка – медная лента М1. Проволока для наплавки стали (состав 2) состоит из: рутила, плавикового шпата, ферромарганца, ферротитана, железного порошка, порошка алюминия, мрамора, оболочка – сталь 65Г.

Экспериментальное исследование процесса волочения порошковых проволок производили на специальном волочильном однобарабанном стане (рис. 1).

Процесс волочения осуществляли следующим образом: холоднокатаную металлическую ленту 1 шириной  $B$ , подавали в профилегибочное устройство 2, с одновременным дозированием шихты из автоматического дозатора 4 и последующего формирования ленты в калиброванных роликах 5 в исходную трубчатую заготовку 6 диаметром  $D_0$ . Затем в волокодержатель 8 поступает заготовка порошковой проволоки, представляющая собой свернутую в трубку холоднокатаную металлическую ленту определенного состава, полость которой заполнена смесью порошкообразных материалов. В дальнейшем осуществляли перетяжку проволоки до необходимого диаметра  $D_1$ . Перед каждой перетяжкой производили замеры исходных диаметров порошковой проволоки 9. По окончании эксперимента измеряли абсолютное удлинение порошковой проволоки и абсолютное утонение оболочки. Усилие волочения порошковой проволоки при каждом переходе снимали с помощью тензодатчиков, собранных по мостовой схеме на волочильной плите, показание регистрировали с помощью тензостанции, подключенной через АЦП к лабораторному стану.

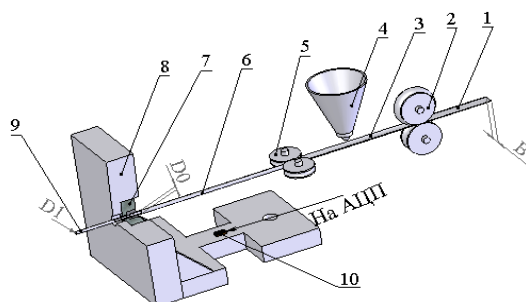


Рис. 1. Экспериментальная установка для волочения порошковой проволоки:

1 – металлическая лента; 2 – профилегибочное устройство; 3 – сформированный желоб; 4 – автоматический дозатор; 5 – калибрующие ролики; 6 – заготовка порошковой проволоки; 7 – фильера; 8 – волокодержатель; 9 – порошковая проволока; 10 – система тензодатчиков

Тарирование тензодатчиков производилось с помощью динамометра ДПУ-05-2 (ГОСТ 13837-68), установленного на волочильной плите с волокодержателем, к которому подключены тензодатчики.

Критериями нормального волочения порошковых проволок считалось отсутствие разрывов составляющих сердечника и оболочки, полное закрытие стыка проволоки, достаточная ее жесткость при выбранных исходных размерах составляющих и заданном диаметре фильеры.

В соответствии с рекомендациями [3, 4], для нормального изготовления порошковых проволок через первую фильеру волочение производили при вытяжке  $\mu = 1,2-1,3$ . При таком коэффициенте вытяжки улучшается условие смазки проволоки в первой волоке и предотвращается чрезмерное напряжение волочения, определяемое для первой протяжки суммой сил сопротивления протягиванию ленты через холостые формовочные ролики и деформации проволоки в первой волоке. При больших вытяжках возможен разрыв оболочки. Другим важным условием нормального процесса волочения порошковой проволоки через первую фильеру, обеспечивающим заданный ее состав, является выполнение следующего соотношения:

$$S_0 / S_\phi < 1, \quad (1)$$

где  $S_0$  – площадь поперечного сечения порошковой проволоки,  $\text{мм}^2$ ;  $S_\phi$  – площадь поперечного сечения фильеры конической формы 7 с углом рабочего конуса  $2\alpha = 12-18^\circ$ .

Соотношение (1) является технологическим показателем волочения порошковой проволоки, позволяющим оценить возможность изготовления проволоки заданного состава. Если это соотношение  $> 1$ , то произойдет кольцевой разрыв оболочки (смятие оболочки проволоки перед входом в первую фильеру). В этом случае следует увеличить диаметр первой фильеры, т. к. не представляется возможным изготовить проволоку требуемого состава.

Во втором и третьем переходе, где сердечник еще недостаточно уплотнен, назначали максимальную деформацию, превышающую величину разового среднего обжатия. Величина разового обжатия для проволоки с оболочкой из меди М1 и мягким сердечником достигала 30–35 %, для проволоки 65Г и жестким сердечником составляло 25–30%. В последующих переходах деформации плавно уменьшали (рис. 2). При волочении медной проволоки до диаметра 3,5 мм усилия протяжки практически не меняются и только с уплотнением сердечника возрастает сила трения на границе «сердечник – внутренняя поверхность оболочки», что приводит к интенсификации процесса утонения оболочки. Удлинение возрастает постоянно. В проволоке со стальной оболочкой сердечник более жесткий, поэтому темп нарастания деформаций выше. Такой характер пластичности при волочении проволоки определяется соответствующими свойствами порошков и материала оболочки.

Общее количество переходов ( $n$ ) за все волочение порошковой проволоки от диаметра первой фильеры ( $D_0$ ) до заданного конечного диаметра ( $D_1$ ) было определено в зависимости от требуемого запаса прочности, обеспечивающего целостность оболочки при деформации [5].

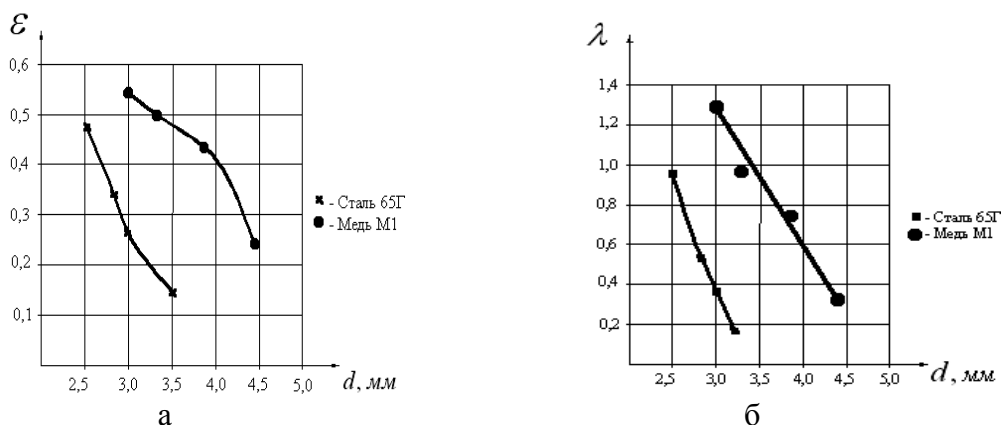


Рис. 2. Зависимость относительного сужения (а) и относительного удлинения (б) от диаметров порошковых проволок

В дальнейшем по известным усилиям волочения рассчитывались напряжения, возникающие в очаге деформации при волочении порошковых проволок по следующей зависимости:

$$\sigma = P_g / F_n, \tag{2}$$

где  $P_g$  – усилия волочения при протяжке порошковой проволоки, кН;  $F_n$  – площадь поперечного сечения порошковой проволоки, мм<sup>2</sup>.

Помимо напряжений, возникающих при волочении порошковых проволок, было определено распределение относительной плотности порошкового материала (рис. 3). Полученные зависимости могут быть использованы в качестве исходных данных при разработке режимов волочения порошковой проволоки.

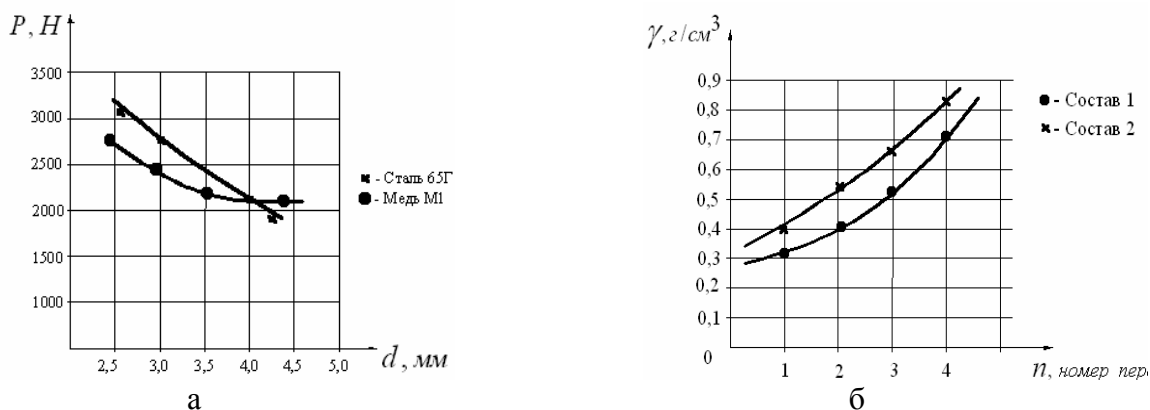


Рис. 3. Распределения усилий волочения (а) и относительной плотности порошкового сердечника (б) при волочении порошковых проволок

В ходе эксперимента были получены коэффициенты деформации  $\varepsilon = 0,143–0,157$  для медной оболочки,  $\varepsilon = 0,085–0,149$  для стали; относительная плотность порошкового наполнителя сердечника проволоки с оболочки из меди 0,7, для стальной оболочки 0,8; сила натяжения при волочении порошковой проволоки не превысила 3 кН. Данный уровень натяжения обеспечивает целостность оболочки при деформации. Напряжения, возникающие при волочении самозащитной порошковой проволоки, не превысили предел прочности материала оболочки.

Особый интерес представляют самозащитные порошковые проволоки новых конструкций, в том числе, изготовленные методом прессования и предназначенные для сварки толстолистовой меди [1, 2].

Разработанные проволоки диаметром 6–10 мм обеспечивают высокую производительность сварки толстолистовой меди (40–80 мм) и однородность сварного соединения. Для бездефектной сварки меди меньших толщин необходимы проволоки меньшего диаметра, получить которые методом прессования затруднительно. Прессованную проволоку диаметром 6 мм возможно уменьшить до 5 мм методом волочения.

Для исследования влияния степени деформации на изменение строения прессованной порошковой проволоки после каждого прохода с проволоки в трех местах, определенных случайным образом, вырезали образцы длиной 15 мм. Оценку распределения неметаллических (газошлакообразующих) и металлических (легирующих и раскислителей) составляющих по сечению (продольному, поперечному) исследуемого материала проводили на шлифах соответствующего сечения (рис. 4), 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.

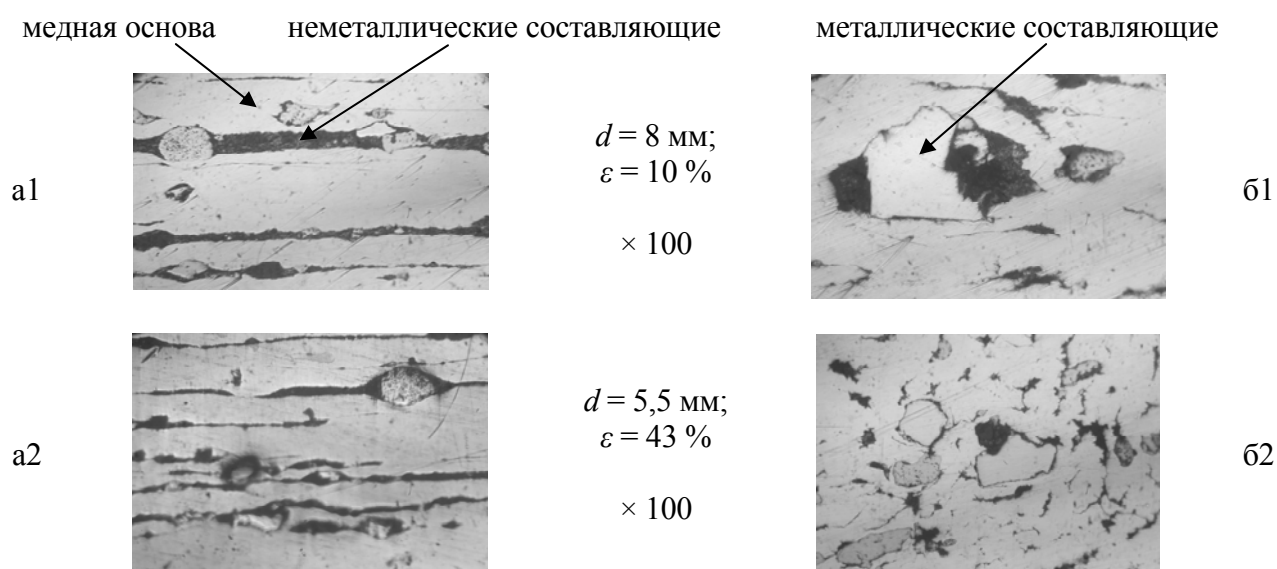


Рис. 4. Продольное (а) и поперечное (б) сечение прессованной порошковой проволоки

Строение порошковой проволоки диаметром 8 мм после прессования представлено на рис. 4, а1, б1. Включения расположены вдоль проволоки преимущественно в виде полос, наблюдается достаточно равномерное их распределение и в поперечном сечении рис. 4, б1, при этом относительная плотность проволоки  $\gamma = 0,86$ , пористость  $\Pi = 14\%$ . С увеличением степени обжатия  $\varepsilon = 43\%$ , суммарная площадь неметаллических включений по сечению проволоки уменьшается на 30%, а содержание металлических включений на 20%, как в поперечном так и в продольном сечениях. Установлено более равномерное распределения включений по сечению проволоки рис. 4, 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  $\Pi = 7\%$ .

Исследовали характеристики плавления порошковых проволок трубчатой конструкции из медной М1 оболочки: диаметр проволоки 3 мм, степень деформации  $\varepsilon = 55\%$ ; стальной 65Г оболочки: диаметр проволоки 2,95 мм, степень деформации  $\varepsilon = 48\%$  а также прессованных порошковых проволок диаметром 8 мм и полученных с последующим волочением диаметром 5,5 мм с соответствующими степенями деформации  $\varepsilon = 10\%$ ,  $\varepsilon = 43\%$  соответственно. Наплавку на пластины из меди М1 толщиной 20 мм производили открытой дугой автоматом А-786 – (1000 А) постоянным током обратной полярности. Показатели процесса расплавления порошковых проволок приведены на рис. 5.

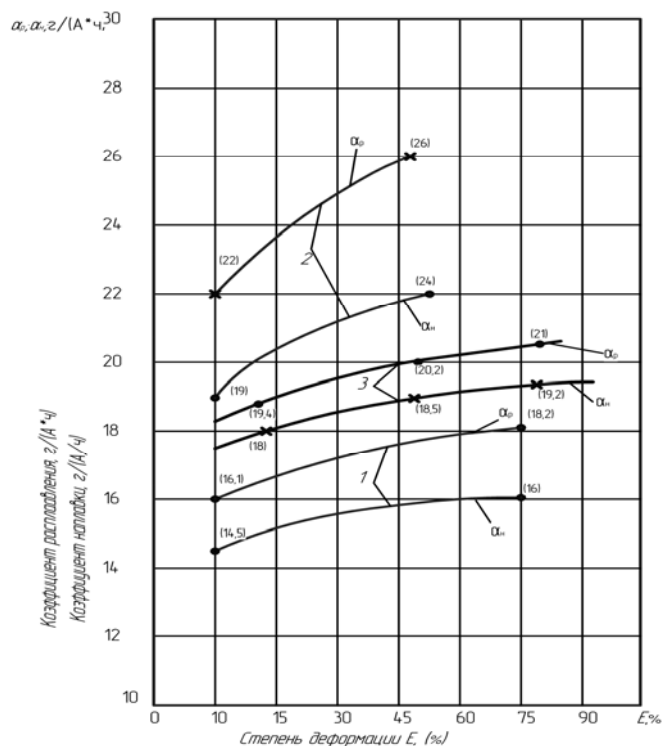


Рис. 5. Зависимость показателей плавления от степени деформации:

1 – порошковой проволоки с оболочкой из медной ленты М1; 2 – порошковой проволоки с оболочкой из стальной ленты 65Г; 3 – пресованной порошковой проволоки

Из рис. 5 видно, что увеличение степени обжатия проволок приводит к повышению коэффициента расплавления, что является следствием изменения условий плавления. В свою очередь, на характер плавления проволок и качество наплавленного металла оказывает влияние изменение условий контактирования составляющих проволок и их соотношение.

## ВЫВОДЫ

При мягком сердечнике и материале оболочки в большей степени происходит ее утонение и удлинение. В проволоке со стальной оболочкой и более жестким сердечником из-за большего внутреннего трения утонение и удлинение оболочки сдерживается.

Обязательным условием нормального протекания процесса волочения является обеспечение вытяжки не более 1,3, а соотношение площадей поперечного сечения порошковой проволоки и конической фильеры меньше единицы.

На характеристики плавления порошковых проволок трубчатой конструкции, а также пресования с последующим волочением, оказывает влияние степень деформации, оптимальное значение которой колеблется в пределах 45–75 %.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Походня И. К. *Металлургия дуговой сварки* / И. К. Походня. – К. : Наукова думка, 2004. – 430 с.
2. *Производство порошковой проволоки* / И. К. Походня, В. Ф. Альтер, В. Н. Шлепаков и др. – К. : Вища школа, 1980. – 232 с.
3. Берлин Н. Ш. *Производство медной и алюминиевой проволоки* / Н. Ш. Берлин, Н. З. Днестровский. – М. : Металлургия, 1975. – 200 с.
4. Математическое моделирование напряженно-деформированного состояния при волочении порошковой проволоки // А. Г. Гринь, Э. П. Грибков, А. В. Свиридов, И. А. Бойко // Удосконалення процесів і обладнання обробки тиском в металургії і машинобудуванні : зб. наук. праць. – 2007. – С. 522–528.
5. Третьяков А. В. *Механические свойства металлов при обработке давлением* / А. В. Третьяков, Г. К. Трофимов, В. И. Зюзин. – М. : Металлургия, 1964. – 220 с.
6. Перлин И. Л. *Теория волочения* / И. Л. Перлин, М. З. Ерманок. – М. : Металлургия, 1971. – 448 с.