

Донбасская государственная машиностроительная академия, г. Краматорск, Украина

АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ РЕЖИМОВ ВОЛОЧЕНИЯ ПОРОШКОВОЙ ПРОВОЛОКИ В МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ ОБОЛОЧКЕ

Вступление. Порошковая проволока нашла широкое применение в сварочном производстве в качестве электродов. Такого типа электроды получают путём волочения сердечника из порошкового материала в металлической оболочке. Перед волочением проволоку формируют путём гибки металлической ленты в U-образный профиль с последующим заполнением порошком. Обжатия при волочении порошковой проволоки задаются из условия получения требуемых характеристик электрода: наружного диаметра; толщины металлической оболочки; плотности порошкового сердечника.

Процесс волочения обеспечивает высокую производительность и точность изготовления порошковых проволок, позволяет изготавливать конструкции оболочки различной сложности, в широких пределах варьировать количество переделов [1; 2]. Указанные преимущества приводят к снижению себестоимости производства таких порошковых электродов [3].

При волочении не всегда можно добиться требуемого уплотнения сердечника в оболочке. Особенно это характерно при содержании в сердечнике твердых частиц и частиц больших размеров, в сравнении с частицами других компонентов. Основными проблемами при производстве порошковых проволок является обеспечение согласно стандарту равномерности распределения и уровня плотности порошкового сердечника, а также целостности оболочки, что требует более детального изучения напряженно-деформированного состояния в очаге деформации как сердечника, так и оболочки.

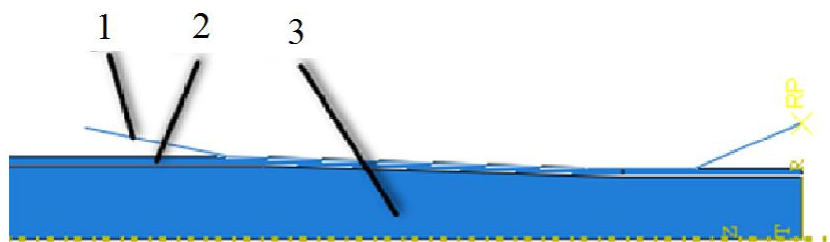
В работах [4, 5] исследован процесс волочения порошковой проволоки, определено влияние условий деформаций на плотность порошкового сердечника, но задача рассматривалась без учета монометаллической оболочки.

Постановка задачи. Целью работы является определение влияния технологических параметров на деформацию металлической оболочки и порошкового сердечника при волочении порошковой проволоки, формулировка критериев оптимизации для автоматизированного проектирования технологических режимов волочения по определению минимального количества проходов при обеспечении требований к готовой порошковой проволоки.

Результаты работы. Для определения напряженно-деформированного состояния при совместной деформации порошкового сердечника и металлической оболочки при волочении порошковой проволоки была разработана конечно-элементная модель данного процесса.

При моделировании использовалась расчетная схема, которая представляла собой деформируемую заготовку и волоку (рис. 1). В качестве заготовки использовали металлическую оболочку со свойствами сплошной среды, заполненную порошковым сердечником со свойствами пористого тела. Для моделирования волоки были использованы недеформируемые элементы. Для моделирования и порошкового сердечника и металлической оболочки были использованы четырёхузловые линейные, твердотельные редуцированные элементы с контролем разрушения SAH4R [6].

На рис. 2 представлены полученные в результате расчета поля распределений эквивалентных деформаций в продольном (см. рис. 2, а) и радиальном (см. рис. 2, б) направлениях, а также поле распределения относительной плотности порошкового сердечника (см. рис. 2, в).



1 – волокно; 2 – металлическая оболочка; 3 – порошковый сердечник

Рисунок 1 – Расчетная схема конечно-элементной модели процесса волочения порошковой проволоки в металлической оболочке

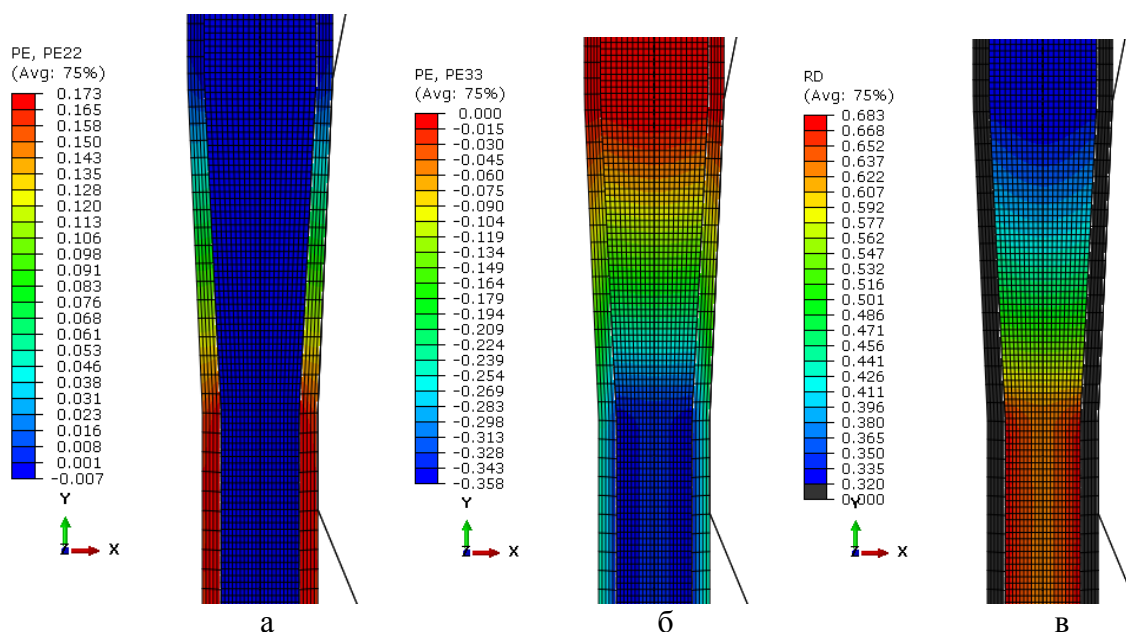


Рисунок 2 – Поля распределений эквивалентных деформаций в продольном (а) и радиальном (б) направлениях, относительной плотности порошка (в)

При производстве порошковой проволоки влияние ряда факторов на протекание практически невозможно учесть при расчётах, а именно несовпадение осей заготовки и волокна на входе или выходе из очага деформации, неоднородность материала сердечника и оболочки по длине заготовки, поверхностные и внутренние дефекты заготовки, влияние окружающей среды на физико-механические свойства порошка, износ волочильного оборудования и т.п. Все эти факторы заметно изменяют силы и натяжения при волочении и отклоняют их от расчетных. Поэтому для нормального течения процесса необходимо, чтобы металл после выхода из волокна имел некоторый запас прочности, т.е. чтобы напряжение волочения не превышало некоторой доли сопротивления растяжению. Для моделирования возможного обрыва оболочки использовалась модель разрушения Бао-Вербицки.

Одним из основных требований, предъявляемых к порошковым проволокам является равномерное распределение плотности порошкового сердечника. Согласно ГОСТ 26101-84 уровень отклонения коэффициента заполнения не должен превышать 3,5 %. Взаимосвязь между коэффициентом заполнения K_z , его отклонением δK_z и отклонением плотности $\delta \rho_c$ можно определить по следующему выражению [7]:

$$\delta\rho_c = \frac{(1 + \delta K_3)(1 - K_3)}{1 - (1 + \delta K_3)K_3} - 1. \quad (1)$$

При автоматизированном проектировании технологических режимов были использованы следующие критерии:

1. Обеспечение равномерной плотности сердечника по сечению заготовки:

$$\delta\rho_c \leq [\delta\rho_c]. \quad (2)$$

2. Обеспечение необходимого значения плотности порошкового сердечника:

$$\rho_c = [\rho_c]. \quad (3)$$

где $[\rho_c]$ – требуемое значение плотности сердечника.

3. Обеспечение требуемого запаса прочности материала оболочки на основе заложенной в САЕ-систему модели разрушения.

В основу автоматизированного проектирования технологических режимов был положен численный метод целенаправленного перебора вариантов. Аналитическое описание используемого метода может быть выражено следующей зависимостью при заранее заданном минимальном значении исходного диаметра заготовки:

$$d_{0(k+1)} = d_{0k} + A, \quad (4)$$

где k – порядковый номер очередного цикла итерационной процедуры расчета; A – задаваемый шаг изменения диаметра заготовки; $[x]$, x_k – предварительно заданное и расчетное значение параметра, обусловленные системой принятых ограничений выраженных условиями обеспечения заданной плотности порошкового сердечника и сохранения сплошности оболочки.

На рис. 3–5 представлены результаты автоматизированного проектирования волочения медной порошковой проволоки в медной оболочке из условия обеспечения требуемого конечного диаметра проволоки и плотности порошкового сердечника. Из рис. 3 видно, что сила волочения при заданных режимах не превышает 3,6 кН и эта величина может быть использована при проектировании механического оборудования волочильного стана.

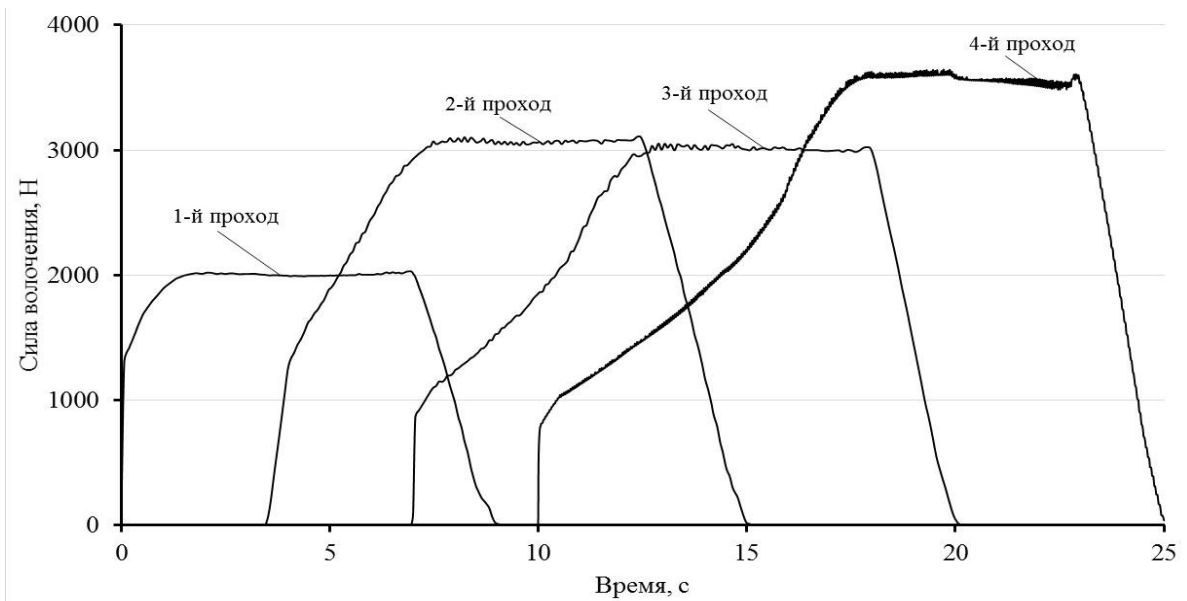


Рисунок 3 – Распределение силы волочения по проходам при производстве порошковой проволоки

На рис. 4 представлены распределения эквивалентной деформации металлической оболочки по проходам, в последнем проходе данная величина не превысила 40 %, что обеспечило отсутствие обрывов оболочки при волочении.

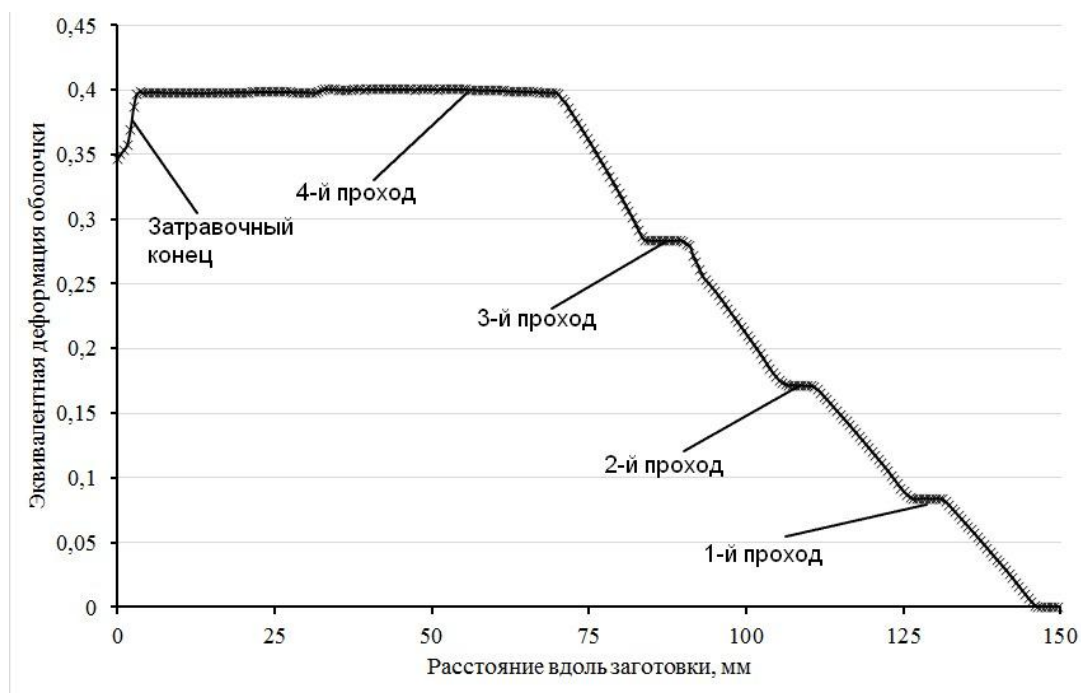


Рисунок 4 – Распределение эквивалентной деформации оболочки по проходам при производстве порошковой проволоки

Пример реализации такой схемы волочения также представлен в табл. 1. В данном случае рассчитана технология производства проволоки с оболочкой из меди марки М1 с толщиной стенки 0,25 мм и медного сердечника диаметром $D_1 = 3,0$ мм и относительной плотностью порошкового сердечника $\gamma_1 = 0,75$ при исходном диаметре $D_0 = 4,5$ мм и относительной плотности медного порошка $\gamma_0 = 0,25$.

Таблица 1 – Результаты автоматизированного проектирования волочения порошковой проволоки

Номер прохода	D_0 , мм	D_1 , мм	ε	γ_1	T_1 , кН
1	4,5	3,86	0,151	0,373	2,0
2	3,86	3,5	0,101	0,492	3,1
3	3,5	3,23	0,082	0,621	3,0
4	3,23	3,0	0,07	0,750	3,6

Для проверки правомерности полученных результатов было произведено волочение порошковой проволоки в лабораторных условиях на специально созданной волочильной установке на базе прокатного стана холодной прокатки с двумя намоточными устройствами (рис. 5). Процесс волочения осуществляли следующим образом: холоднокатаную металлическую ленту формировали в U-образный желоб, заполняли шихтой, калибровали в трубчатую заготовку с последующим волочением. Натяжение создавали намоточным барабаном. Силу волочения измеряли при помощи тензодатчиков, наклеенных по мостовой схеме на волочильной плите (рис. 5) и подключенных к АЦП.

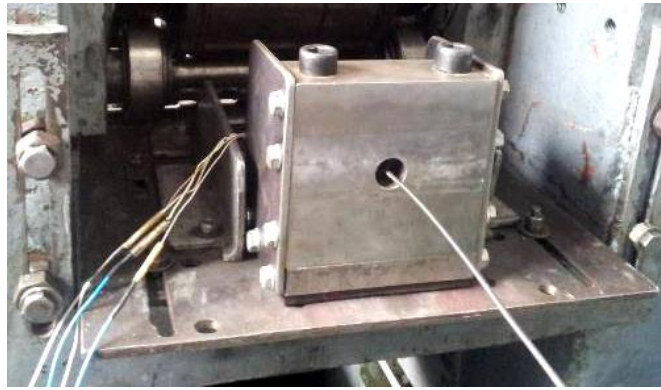


Рисунок 5 – Экспериментальная установка для волочения порошковой проволоки

Погрешность определения силы волочения во всех проходах не превысила 15 %, оболочка не разрушилась, плотность сердечника была достигнута требуемой. В целом, результаты экспериментов подтвердили достоверность результатов автоматизированного проектирования и возможность их использования при проектировании технологических режимов при производстве порошковой проволоки.

Выводы. На основе реализации конечно-элементной модели процесса волочения порошковой проволоки в металлической оболочке сформулированы критерии оптимизации и разработан алгоритм по автоматизированному проектированию технологических режимов волочения, позволяющий определять минимальное количество проходов при одновременном обеспечении целостности оболочки и требуемой плотности порошкового сердечника.

ЛИТЕРАТУРА

1. Производство порошковой проволоки с фальцевым швом / В. Д. Есипов [и др.] // Сталь. – 2000. – № 12. – С. 48–49.
2. Формовочный стан для производства порошковой проволоки с замковым соединением / В. Д. Есипов [и др.] // Черные металлы. – 1998. – № 8. – С. 23–24.
3. Походня И. К. Изготовление порошковой проволоки из лент разных размеров / И. К. Походня, В. Ф. Альтер, П. И. Рак // Сварочное производство. – 1980. – № 10. – С. 14–15.
4. Дослідження процесу ущільнення порошкового осердя під час волочіння порошкового дроту на основі моделі пластичного деформування пористих матеріалів / Л. Н. Ткаченко, О. Г. Кіркова, А. В. Кузьмов, М. Б. Штерн // Математичні моделі і обчислювальний експеримент в матеріалознавстві. – Київ : ПІМ ім. І. М. Францевича НАН України, 2012. – № 14. – С. 116–122.
5. Simulation of Powder-Cored Wire Drawing / E.G.Kirkova, L.N.Tkachenko, A.V.Kuz'mov, M.B.Shtern, A.P.Maidanyuk // Powder Metallurgy and Metal Ceramics. – November 2013. – Volume 52. – Issue 7. – pp. 393–400. DOI: 10.1007/s11106-013-9539-1.
6. Боровік П. В. Теоретичні дослідження процесів обробки металів тиском на основі методу скінчених елементів : навчальний посібник / П. В. Боровік. – Алчевськ : ДонДТУ, 2012. – 170 с.
7. Грибков Э. П. Выбор технологических параметров прокатки порошковой ленты для обеспечения равномерного распределения плотности порошкового сердечника / Э. П. Грибков // Научный вестник Донбасской государственной машиностроительной академии [Электронный ресурс]. – Краматорск : ДГМА. – 2016. – № 1(19Е). – С. 26–32.