

Э.П. Грибков, В.А. Данилюк

E.P. Gribkov, V.A. Danilyuk

Донбасская государственная машиностроительная академия, г. Краматорск, Украина
Donbass State Engineering Academy, Kramatorsk, Ukraine

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПРОКАТКИ ПОРОШКОВЫХ ЛЕНТ

RESEARCH OF PROCESS ROLLING OF POWDER TAPES

Проведено математическое моделирование напряженно-деформированного состояния и поведения твердых частиц включения сердечника при прокатке порошковой ленты; определена вероятность нарушения целостности металлической оболочки для случая внедрения идеализированных частиц сердечника в форме конуса, пирамиды и шара. С практической точки зрения результаты автоматизированного проектирования технологических режимов прокатки позволяют без использования разработанного математического аппарата определить все исходные параметры процесса для получения заданного типоразмера порошковой ленты.

Ключевые слова: лента порошковая, прокатка, автоматизированное проектирование, напряженно-деформированное состояние, обжатие, напряжение.

Mathematical modeling of the intense-deformed condition and behavior of firm particles of inclusion of the core is spent at a rolling of a powder tape; the probability of infringement of integrity of a metal cover for a case of introduction of idealized particles of the core in the form of a cone, a pyramid and a sphere is defined. From the practical point of view results of the automated designing of technological modes rolling allow to define without use of the developed mathematical apparatus all initial parameters of process for reception of the set standard size of a powder tape.

Keywords: powder tape, rolling, automated designing, intense-deformed condition, reduction, pressure.

Из известных и широко применяемых способов нанесения износостойких сплавов наиболее универсальным и высокопроизводительным является механизированная электродуговая наплавка с применением порошковых электродных лент, получаемых методами прокатки [1]. Известны различные технологические схемы производства порошковых электродных лент для наплавки износостойких сплавов методами прокатки [2]. Одной из основных операций является процесс уплотнения путем совместного обжатия оболочки и сердечника порошковой ленты.

При производстве порошковых лент, состоящих из металлической оболочки и сердечника из тугоплавких карбидов металлов, возможно нарушение

целостности профиля в результате прокола или резания дробленых частиц карбидов [3], которые могут быть различным образом ориентированы гранями или ребрами в очаге деформации относительно оболочки. Эту задачу можно решить, анализируя внедрение твердой частицы сердечника, представленной в виде правильного многогранника (например, клина), в горизонтальную плоскость пластичного материала оболочки [3].

Целью работы является моделирование напряженно-деформированного состояния и поведения частиц при прокатке порошковой ленты; анализ влияния факторов, позволяющих снизить вероятность проколов оболочки, и автоматизированное проектирование технологических режимов прокатки, обеспечивающих требуемые характеристики порошковых лент без нарушения целостности профиля.

При прокатке порошковой ленты в металлической оболочке (рис. 1) в связи с обращением в ноль деформаций в продольном и поперечном направлениях: $\varepsilon_2 = \varepsilon_3 = 0$, возникает весьма прочная связь между недеформируемой металлической оболочкой и порошковым слоем. Ввиду этого характер деформирования становится идентичным процессу уплотнения порошкового материала в закрытой матрице. Одномерная математическая модель процесса прокатки порошковой ленты была основана на разбиении зоны уплотнения на конечное множество элементарных объемов и определении геометрических характеристик, а также напряжений σ_x , τ_x и p_x в конечно-разностной форме. Используемая в этом случае расчетная схема интегрального очага деформации представлена на рис. 1.

Величина нормальных контактных и нормальных осевых напряжений в этом случае определяется соотношениями [4, 5]:

$$p_x = \frac{\sigma_{sx}}{3} \sqrt{\frac{1 + 4\alpha_x}{\alpha_x}} \beta_x, \quad \sigma_x = \frac{1 - 2\alpha_x}{1 + 4\alpha_x} p_x, \quad (1)$$

где α_x , β_x – переменные по длине очага деформации коэффициенты, учитывающие специфику прокатки порошкового материала, $\alpha_x = a(1 - \gamma_x)^m$, $\beta_x = \gamma_x^{2n}$, где γ_x – текущее значение относительной плотности прокатываемого порошкового материала; a , m , n – постоянные для каждого отдельного порошкового материала коэффициенты, характеризующие степень влияния относительной плотности γ_x . Данные коэффициенты могут быть определены из анализа напряжений и деформаций, действующих в очаге деформации при прессовании порошка определенного состава и плотности в закрытой матрице [6]; σ_{sx} – текущее значение предела текучести твердой фазы порошковой композиции.

Эквивалентная пластическая деформация определяется согласно зависимости [4]:

$$\varepsilon_{ex} = \frac{1}{3} \sum_{i=1}^i \beta_x^{0.5} \left(4 + \frac{1}{\alpha_x} \right)^{0.5} \frac{\Delta\gamma_x}{\gamma_x^2}, \quad (2)$$

где $\Delta\gamma_x$ – приращение относительной плотности при переходе от $(i - 1)$ -го к i -му конечному объему.

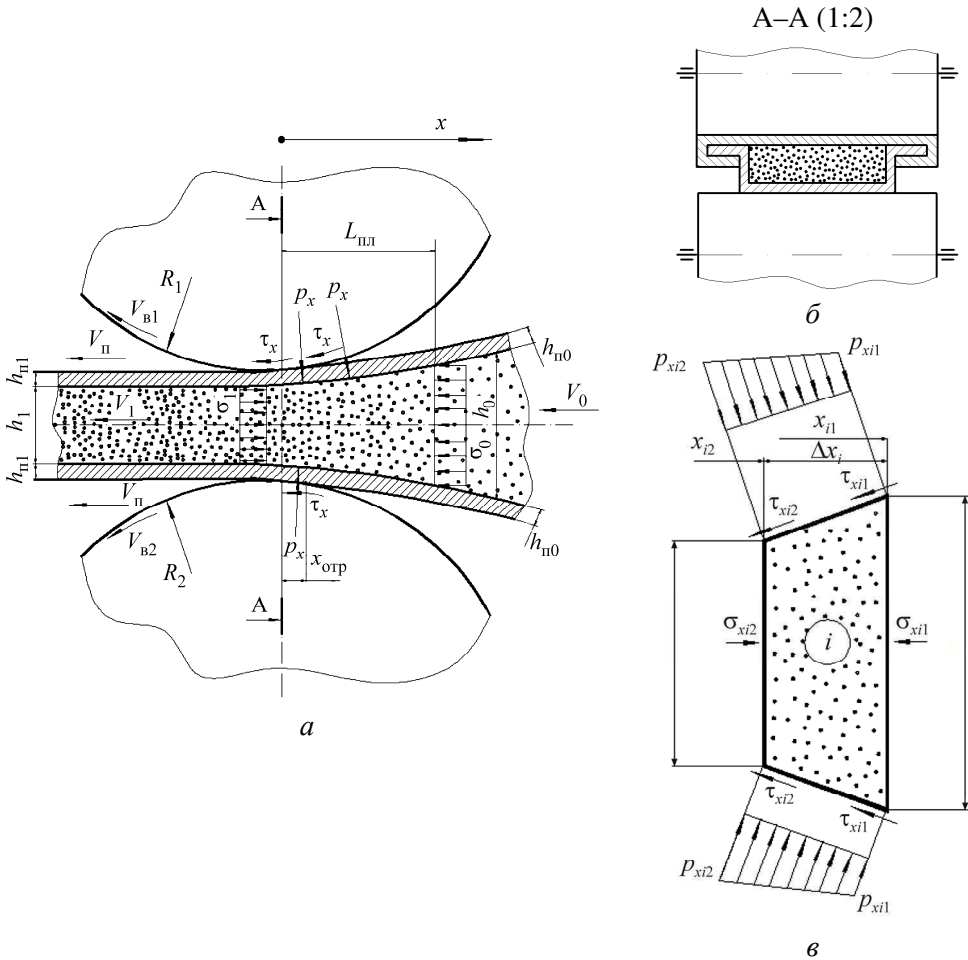


Рис. 1. Схема очага деформации (а, б) и выделенного i -го элементарного объема (в) при прокатке порошковой ленты в металлической оболочке

Для определения текущего значения относительной плотности γ_x применяем закон сохранения массы, из которого $\gamma_x = h_0\gamma_0/h_x$.

Используя уравнение равновесия выделенного элементарного объема (рис. 1, в) [5]:

$$\sum F_{xi} = \sigma_{xi2}h_{xi2} - \sigma_{xi1}h_{xi1} + \frac{P_{xi1} + P_{xi2}}{2}(h_{xi1} - h_{xi2}) - \tau_{xi}\Delta x_i = 0, \quad (3)$$

определяем величину сдвиговых напряжений

$$\tau_{xi} = \frac{\sigma_{xi2}h_{xi2} - \sigma_{xi1}h_{xi1} + \frac{(P_{xi1} + P_{xi2})(h_{xi1} - h_{xi2})}{2}}{\Delta x_i}. \quad (4)$$

Для расчета текущего значения толщины композиции используется зависимость [5]:

$$h_x = h_1 + (h_0 - h_1)(x/L_{пл})^{a_h}, \quad (5)$$

где h_1 – конечная толщина получаемой порошковой составляющей заготовки; h_0 – исходная толщина порошкового слоя композиции; x – геометрическая координата, имеющая начало в плоскости сопряжения зон уплотнения и упругого восстановления; $L_{пл}$ – протяженность зоны уплотнения; a_h – степенной показатель формы очага деформации.

Задача по определению глубины проникновения частиц шихты порошкового сердечника в материал оболочки решается на основе методов полей линий скольжения путем моделирования этого процесса осадки металла симметричным шероховатым клином.

Построение поля характеристик может быть осуществлено путем численного определения геометрических координат всей совокупности особых точек по отношению к осям Z и Y , имеющим свое начало на острие клина (рис. 2). Выразим глубину внедрения твердой частицы сердечника в оболочку через H и рассмотрим только правую половину клина.

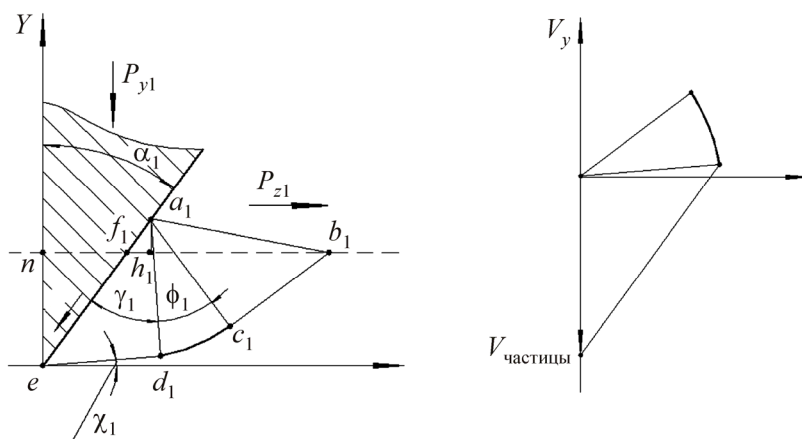


Рис. 2. Расчетная схема

Поле характеристик в физической плоскости при внедрении жесткой частицы сердечника представляет собой решение четвертой краевой задачи статически определимого плоского течения металла [7], характеризуемой наличием особой точки a_1 , в которой линии характеристик c_1a_1 и d_1a_1 образуют центрированный веер с углом φ_1 , значение которого было найдено геометрически (см. рис. 2):

$$\varphi_1 = \arctg\left[\frac{(Z_{c_1} - Z_{a_1})}{(Y_{a_1} - Y_{c_1})}\right] - \arctg\left[\frac{(Z_{d_1} - Z_{a_1})}{(Y_{a_1} - Y_{d_1})}\right].$$

Среднее напряжение σ_r в особой точке e , а вместе с этим и нормальное напряжение σ_{ye1} , и приведенное к единице ширины частицы силы P_{y1} , согласно свойствам линий скольжения [7], составят:

$$\sigma_{rel} = K_c + 2K_c\varphi_1 = K_c(1 + 2\varphi_1), \quad (6)$$

$$\sigma_{ye1} = \sigma_{rel} + K_c \cdot \sin 2\varphi_1, \quad (7)$$

$$P_{y1} = \sigma_{ye1}Z_{a_1} + \tau_1Y_{a_1}, \quad (8)$$

где количественная оценка касательных контактных напряжений τ_1 может быть задана при помощи коэффициента пластического трения $\mu = \tau/2K_c$, где K_c – сопротивление деформируемого металла сдвигу.

Решение для левой части будет аналогичным, так как по условиям задачи рассматривали внедрение симметричного клина.

При определении общей силы внедрения частиц P расчет $2K_c$ производился с допущением, что при внедрении металл оболочки не обжимается, а следовательно, отсутствует деформационное упрочнение. В данной задаче неизвестным является глубина внедрения частицы, а сила внедрения известна. Для нахождения величины H была введена дополнительная итерационная процедура, которую можно описать следующим выражением:

$$H_{(m+1)} = H_m + A_H \operatorname{sign}\{P_m - [P]\}, \quad (9)$$

где m – номер итерационной процедуры; A – шаг изменения протяженности отрезков; $[P]$ – заданное значение силы внедрения твердой частицы сердечника в пластичный материал оболочки, соответствующей произведению максимальных значений нормальных контактных напряжений, определяемых по формуле (1) и площади основания твердой частицы.

Аналогично определяли вероятность нарушения целостности металлической оболочки для случая внедрения идеализированных частиц сердечника в форме конуса, пирамиды, шара [8]. Анализ результатов численной реализации разработанной математической модели внедрения частицы сердечника различной формы (пирамида, конус и шар) в металлическую оболочку при различных условиях показал, что:

- с увеличением угла наклона образующей клина α глубина внедрения уменьшается (рис. 3);

- при увеличении максимальных контактных напряжений процесса прокатки порошковой ленты или размеров частиц глубина внедрения частицы сердечника в оболочку возрастает (см. рис. 3);

- при увеличении предела текучести материала оболочки глубина внедрения частицы уменьшается;

- наибольшая глубина внедрения наблюдается при использовании частиц в форме конуса, а наименьшая – при использовании шарообразных частиц сердечника.

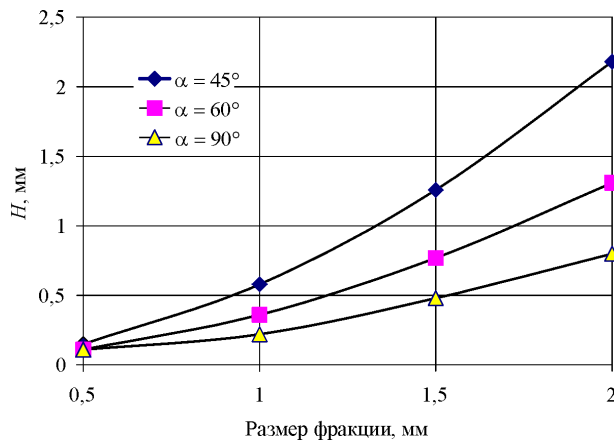


Рис. 3. Расчетные зависимости глубины внедрения частиц сердечника в виде клина от их фракционного состава

Конечной целью процесса прокатки является получение порошковой ленты с заданной плотностью порошкового сердечника и обеспечение требуемой толщины как сердечника, так и оболочки. Для определения указанных показателей качества порошковой ленты было выполнено автоматизированное проектирование технологических параметров прокатки. В качестве критериев проектирования при этом были выбраны необходимые значения $[h_1]$, $[\gamma_1]$. В качестве параметров проектирования – h_0 . В качестве целевых функций – разработанная на основе формул (1)–(5) математическая модель напряженно-деформированного состояния. Собственно решение включало в себя внутренний цикл на основе итерационной процедуры по определению h_0 , обеспечивающему требуемые результирующие значения h_1 :

$$h_{0\Sigma(k+1)} = h_{0\Sigma k} + A_{h_0} \text{sign}\{[h_1] - h_1\}_k, \quad (10)$$

а также внешний цикл, основанный на итерационном определении h_0 , обеспечивающий требуемое значение γ_1 :

$$h_{0(t+1)} = h_{0t} + A_{h_0} \operatorname{sign} \{ [\gamma_1] - \gamma_1 \}. \quad (11)$$

Помимо условий (10) и (11) при проектировании осуществлялась проверка сохранения целостности оболочки на основе модели внедрения частиц (6)–(9).

В качестве примера на рис. 4 представлены расчетные зависимости, позволяющие определять необходимую исходную толщину порошкового сердечника при заданных конечной относительной плотности порошка, результирующих толщин порошковой ленты и исходной толщины материала оболочки.

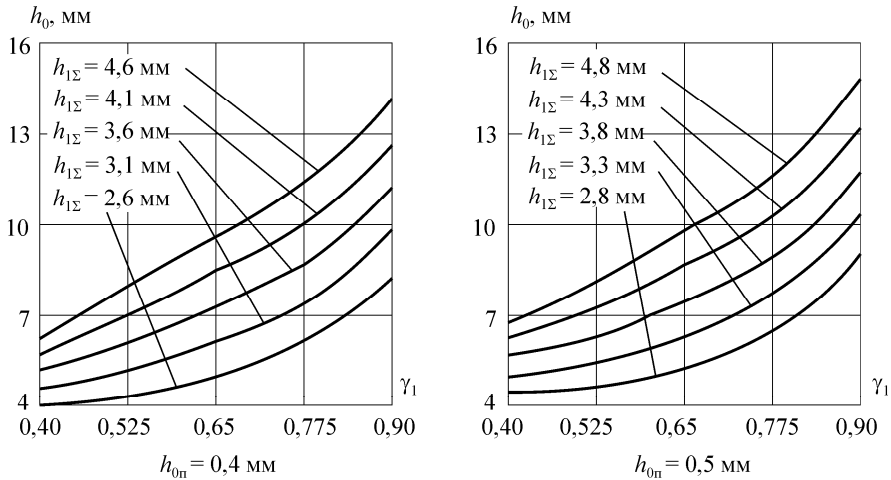


Рис. 4. Результаты автоматизированного проектирования технологических режимов процесса прокатки порошковой ленты

Такие же зависимости можно получить для различных материалов оболочки и порошкового сердечника, а также для различных исходных значений плотности порошка. С практической точки зрения результаты автоматизированного проектирования технологических режимов прокатки позволяют без использования разработанного математического аппарата определить все исходные параметры процесса для получения заданного типоразмера порошковой ленты.

Список литературы

1. Наплавочные порошковые ленты и проволоки: справочник / П.В. Гладкий [и др.] – Киев: Техніка, 1991. – 36 с.
2. Чигарев В.В. Производство и применение порошковых лент для наплавки износостойких сплавов // Автоматическая сварка. – 1994. – № 2. – С. 51–52.

3. Кассов В.Д., Грибков Э.П., Грибкова С.Н. Моделирование поведения частиц сердечника при прокатке порошковой ленты / Удосконалення процесів і обладнання обробки тиском в металургії і машинобудуванні: зб. наук. праць; ДДМА. – Краматорськ; Слов'янськ, 2003. – С. 140–143.

4. Прогрессивные технологические процессы штамповки деталей из порошков и оборудование / Г.М. Волкогон [и др.]; под общ. ред. А.М. Дмитриева, А.Г. Овчинникова. – М.: Машиностроение, 1991. – 320 с.

5. Сатонін О.В., Воробйов Ю.А., Грибков Е.П. Напружено-деформований стан вторинної прокатки матеріалів на металевій підложці // Новые конструкционные стали и сплавы и методы их обработки для повышения надежности и долговечности изделий: сб. науч. тр. – Запорожье, 1998. – С. 280–281.

6. Пат. 59317 Україна, МПК (2006.01) В 22 F 3/03. Установка для экспериментального визначення основних показників фізико-механічних властивостей порошкових матеріалів різноманітного складу / Сатонін О.В., Грибков Е.П., Іванов О.О., Косяков О.В.; Донбаська державна машинобудівна академія. – № u201012688; заявл. 26.10.2010; опубл. 10.05.2011, Бюл. № 9.

7. Томленов А.Д. Теория пластического деформирования металлов. – М.: Металлургия, 1972. – 408 с.

8. Кассов В.Д., Грибков Э.П. Влияние формы частиц сердечника на качество поверхности порошковой ленты / Удосконалення процесів і обладнання обробки тиском в металургії і машинобудуванні: зб. наук. праць; ДДМА. – Краматорськ, 2004. – С. 431–436.

Получено 1.11.2012

Грибков Эдуард Петрович – кандидат технических наук, доцент, Донбасская государственная машиностроительная академия (84313, Украина, г. Краматорск, ул. Шкадинова, 72, e-mail: amm@dgma.donetsk.ua).

Данилюк Виктория Александровна – аспирант, Донбасская государственная машиностроительная академия (84313, Украина, г. Краматорск, ул. Шкадинова, 72, e-mail: amm@dgma.donetsk.ua).

Gribkov Eduard Petrovich – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Donbass State Engineering Academy (84313, Ukraine, Kramatorsk, Shkadinova st., 72, e-mail: amm@dgma.donetsk.ua).

Danilyuk Viktoriya Aleksandrovna – Graduate Student, Donbass State Engineering Academy (84313, Ukraine, Kramatorsk, Shkadinova st., 72, e-mail: amm@dgma.donetsk.ua).