

ВЫБОР ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПРОКАТКИ ПОРОШКОВОЙ ЛЕНТЫ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ РАВНОМЕРНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПЛОТНОСТИ ПОРОШКОВОГО СЕРДЕЧНИКА

Грибков Э. П.

На стабильность сварочно-технологических свойств и химическую однородность наплавленного металла существенное влияние оказывают качественные показатели используемой порошковой ленты. Одним из основных требований, предъявляемых к порошковым лентам является равномерное распределение плотности порошкового сердечника. Согласно стандартам уровень отклонения коэффициента заполнения не должен превышать 3,5%...4,0%. На основе анализа результатов реализации конечно-элементной модели прокатки порошковых лент в металлической оболочке установлено, что наиболее равномерное распределение плотности порошкового сердечника регламентируемое стандартами наблюдается при обжатиях на уровне 25...35%, при этом для порошковых лент шириной 10...15 мм рекомендуемая величина обжатия не должна превышать 25%, для лент шириной 20 мм – 35% при радиусе валков больше 50 мм.

На стабільність зварювально-технологічних властивостей і хімічну однорідність наплавленого металу істотно впливають якісні показники використовуваної порошкової стрічки. Одним з основних вимог, що пред'являються до порошкових стрічок є рівномірний розподіл щільності порошкового сердечника. Згідно зі стандартами рівень відхилення коефіцієнта заповнення не повинен перевищувати 3,5%...4,0%. На основі аналізу результатів реалізації кінцево-елементної моделі прокатки порошкових стрічок в металевій оболонці встановлено, що найбільш рівномірний розподіл щільності порошкового сердечника регламентований стандартами спостерігається при обтисненнях на рівні 25 ... 35%, при цьому для порошкових стрічок шириною 10...15 мм рекомендована величина обтиску не повинна перевищувати 25%, для стрічок шириною 20 мм – 35% при радіусі валків завбільшки 50 мм.

The stability of the welding-technological properties and chemical homogeneity of the welded metal is substantially affected by the qualitative indicators of the used powder strip. One of the main requirements for the powder strip is a uniform distribution of the powder core density. According to the standards the deviation level of the fill factor should not exceed 3.5% ... 4.0%. On the basis of the analysis of the realization results of the finite element model for powder strips in a metal shell rolling it is found that the most uniform distribution of the powder core density regulated by the standards is observed at the reduction level of 25 ... 35%, while for powder strips with width 10 ... 15 mm the recommended value of the reduction should not exceed 25%, for 20 mm wide strips– 35% with rolls radius which is more than 50 mm.

Грибков Э. П.

канд. техн. наук, доц. каф. АММ ДГМА
amm@dgma.donetsk.ua

ДГМА – Донбасская государственная машиностроительная академия, г. Краматорск.

УДК 621.791.95

Грибков Э. П.

ВЫБОР ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПРОКАТКИ ПОРОШКОВОЙ ЛЕНТЫ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ РАВНОМЕРНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПЛОТНОСТИ ПОРОШКОВОГО СЕРДЕЧНИКА

Порошковые ленты нашли широкое применение в сварочном производстве. Их конструкция представляет металлическую оболочку, которая заполнена порошковым сердечником, выполняющим роль флюса при сварке [1–2], при этом материал оболочки и состав порошка выбирается в зависимости от свариваемых деталей и может быть разнообразным [3–4].

На стабильность сварочно-технологических свойств и химическую однородность наплавленного металла существенное влияние оказывают качественные показатели используемой порошковой ленты. Это делает необходимым изучение статистических закономерностей механизмов её формирования при прокатке. Но определение этих закономерностей экспериментальным путем весьма трудоёмко и требует дополнительных капиталовложений. В этой связи является целесообразным использование методов имитационного моделирования.

При моделировании процессов прокатки порошковых материалов широко используются конечно-элементные модели [5–7], которые позволяют определить уровни напряжений, деформаций и плотности порошка по всему объёму деформируемого тела, что является необходимым для достижения поставленной цели.

Цель работы – на основе конечно-элементной модели процесса прокатки порошковой ленты выполнить анализ распределения плотности порошкового сердечника по сечению заготовки.

Конечно-элементное моделирование процессов прокатки порошковой ленты было выполнено в системе Abaqus. При моделировании использовалась расчетная схема (рис. 1, а), которая представляла собой деформируемую заготовку и два рабочих вала с гладкой бочкой. Заготовка представляла металлическую оболочку со свойствами сплошной среды, заполненную порошковым сердечником (рис. 1, б). Для сокращения времени расчета в модели была использована симметрия процесса.

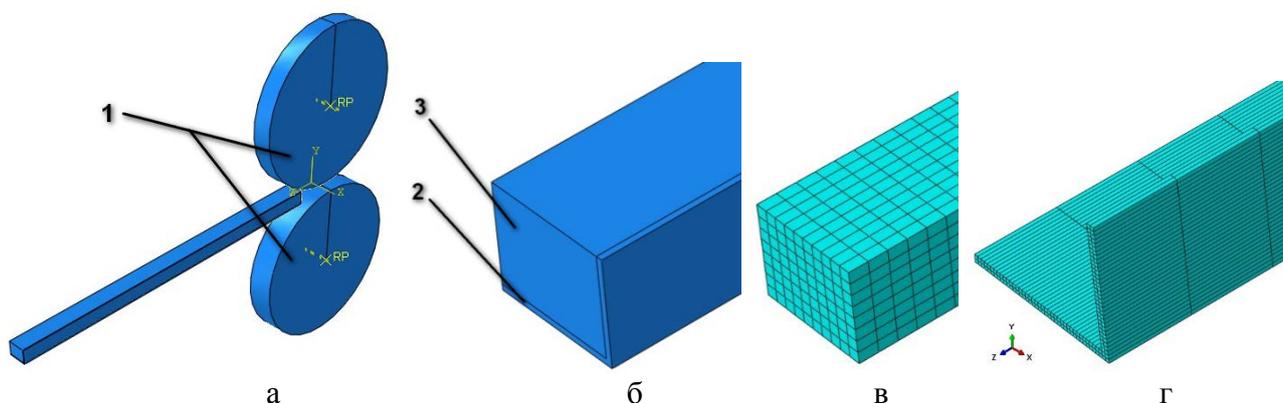


Рис. 1. Конечно-элементная модель процесса прокатки порошковой ленты (1 – рабочие валки; 2 – металлическая оболочка; 3 – порошковый сердечник):

а – расчетная схема; б – заготовка; в – конечно-элементная сетка порошкового сердечника; г – конечно-элементная сетка металлической оболочки

Для заготовки производили дискретизацию объема (построение конечно-элементной сетки) на элементарные области (конечные элементы). Для моделирования валков были использованы трехмерные недеформируемые элементы. Для моделирования и порошкового сердечника (рис. 1, в) и металлической оболочки (рис. 1, г) были использованы восьмиузловые линейные, твердотельные редуцированные элементы с контролем разрушения C3D8R [8].

При моделировании были использованы следующие граничные условия: валки имели одну вращательную степень свободы и угловую скорость вращения, равную 1 рад/с. Контакт между заготовкой и валками задавался при помощи модели контакта «Поверхность к поверхности» с коэффициентом трения, равным 0,2.

Одним из основных требований, предъявляемых к порошковым лентам, является равномерное распределение плотности порошкового сердечника. Согласно ГОСТ 26467-85 уровень отклонения коэффициента заполнения не должен превышать 3,5%...4,0%.

Коэффициент заполнения K_3 согласно ГОСТ определяется как отношение массы порошкового сердечника m_c к массе ленты m_l :

$$K_3 = \frac{m_c}{m_l} = \frac{m_c}{m_{об} + m_c} = \frac{V_c \rho_c}{V_{об} \rho_{об} + V_c \rho_c} = \frac{F_c \rho_c}{F_{об} \rho_{об} + F_c \rho_c} = \frac{1}{1 + \frac{F_{об} \rho_{об}}{F_c \rho_c}}, \quad (1)$$

где $m_{об}$ – масса оболочки; $V_c, V_{об}$ – объемы порошкового сердечника и металлической оболочки; $\rho_c, \rho_{об}$ – плотности материалов порошкового сердечника и металлической оболочки; $F_c, F_{об}$ – площади поперечного сечения порошкового сердечника и металлической оболочки.

Выразим из формулы (1) плотность порошкового сердечника:

$$\rho_c = \frac{K_3}{1 - K_3} \frac{F_{об} \rho_{об}}{F_c}. \quad (2)$$

Приняв во внимание отклонение δK_3 , выразим максимальное значение коэффициента заполнения:

$$K_3^{\max} = (1 + \delta K_3) K_3. \quad (3)$$

Аналогично для максимального значения плотности порошкового сердечника:

$$\rho_c^{\max} = (1 + \delta \rho_c) \rho_c. \quad (4)$$

Из отношения максимального к минимальному значению на основании (2)–(4) определим отклонение плотности порошкового сердечника:

$$\delta \rho_c = \frac{(1 + \delta K_3)(1 - K_3)}{1 - (1 + \delta K_3)K_3} - 1. \quad (5)$$

Из анализа полученной зависимости (5) видно, что отклонение плотности порошкового сердечника зависит от значения коэффициента заполнения и величины его отклонения. На рис. 2 представлена графическая интерпретация данной зависимости, которая была использована для определения регламентируемой стандартами величины равномерного распределения плотности порошкового сердечника.

В результате реализации конечно-элементной модели были получены поля распределения пористости порошка по сечению заготовки на выходе из очага деформации при различных степенях обжатий. Из анализа полученных результатов видно, что наиболее равномерное распределение пористости наблюдается при обжатии на уровне 35%. При более низких степенях деформации происходит более интенсивное уплотнение сердечника в приконтактных областях, при более высоких – менее уплотненными остаются боковые кромки (рис. 3).

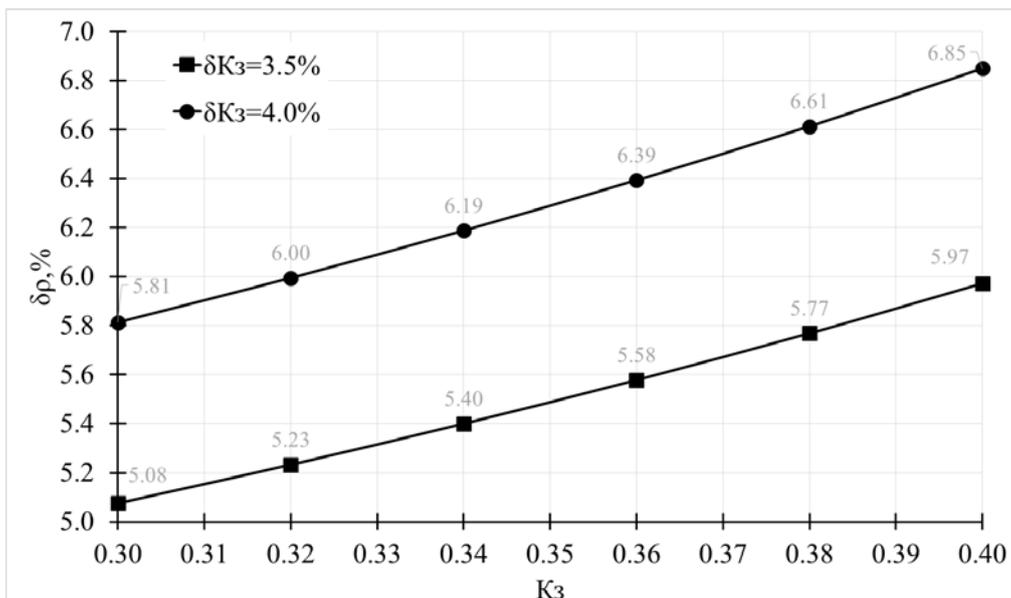


Рис. 2. Зависимость отклонения плотности порошкового сердечника от коэффициента заполнения

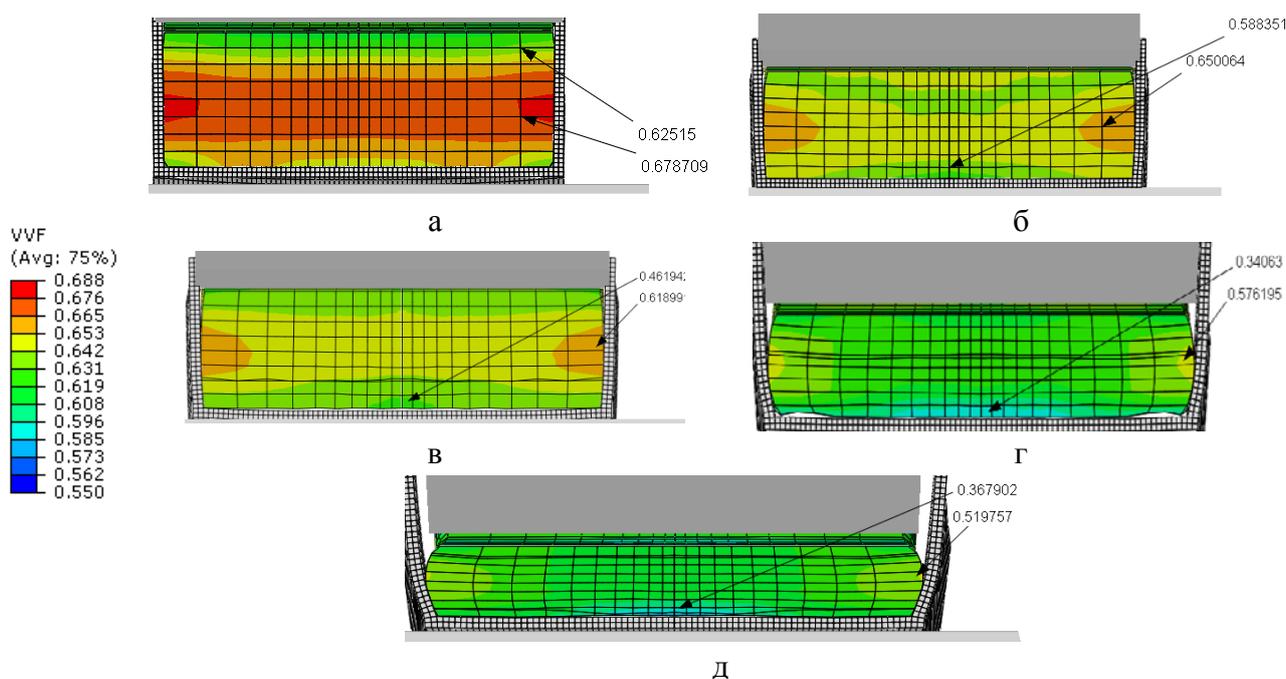


Рис. 3. Распределение пористости порошкового сердечника по сечению заготовки на выходе из очага деформации при различных обжатиях:
а – 12,5%; б – 25%; в – 37,5%; г – 50%; д – 62,5%

Результаты расчета относительной плотности порошкового сердечника γ_1 по сечению порошковой ленты приведены на рис. 4. Из представленных распределений можно сделать следующий вывод: наиболее равномерное распределение плотности порошкового сердечника наблюдается при обжатиях 25...35%, при этом коэффициент вариации не превышает регламентированных значений.

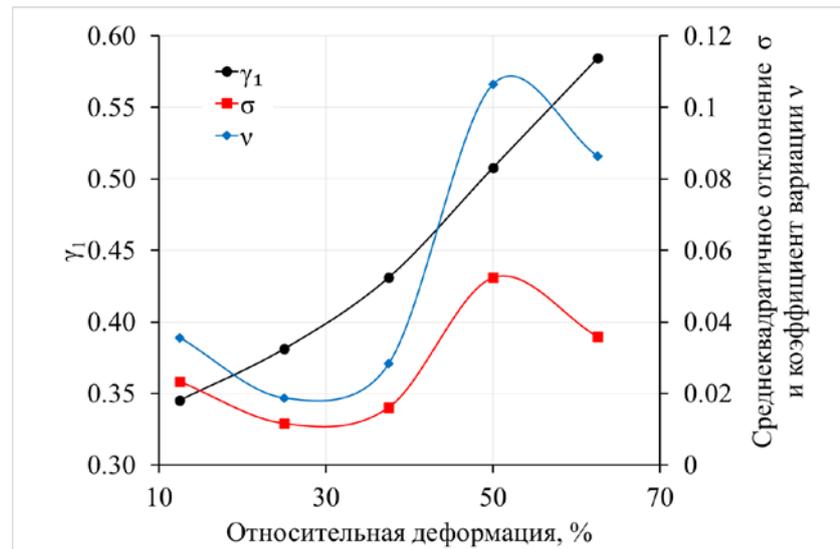


Рис. 4. Расчетные распределения средних значений γ_1 , среднеквадратичных отклонений σ и коэффициентов вариации ν относительной плотности порошкового сердечника в зависимости от относительной деформации

Согласно используемым в теории прокатки критериям подобия процессов, вторым фактором, оказывающим влияние на распределение компонент напряженно-деформированного состояния, является ширина заготовки. На основе конечно-элементной модели были получены поля распределений пористости для различных ширин порошковой ленты (рис. 5). Как видно из представленных результатов, с уменьшением ширины заготовки равномерность распределения плотности уменьшается за счет неполной обработки боковых кромок.

На основе реализации конечно-элементной модели прокатки порошковых лент в металлической оболочке были также получены расчетные распределения средних значений и коэффициентов вариации относительной плотности порошкового сердечника в зависимости от ширины и относительной деформации порошковой ленты (рис. 6). Из анализа данных зависимостей можно сделать вывод, что с увеличением ширины заготовки наблюдается тенденция к увеличению среднего значения относительной плотности с уменьшением его коэффициента вариации, при достижении определенных обжатий величина неравномерного распределения плотности превышает нормативные, при этом уровень данных обжатий уменьшается с уменьшением ширины заготовки. Для порошковых лент шириной 10...15 мм рекомендуемая величина обжатия не должна превышать 25%, для лент шириной 20 мм – 35%.

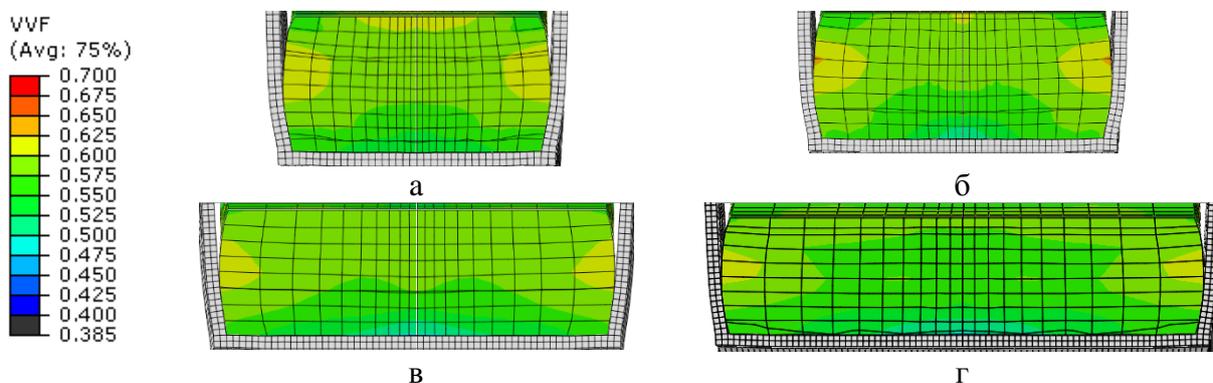


Рис. 5. Распределение пористости порошкового сердечника по сечению заготовки на выходе из очага деформации для лент различной ширины:

а – 10 мм; б – 12 мм; в – 15 мм; г – 20 мм

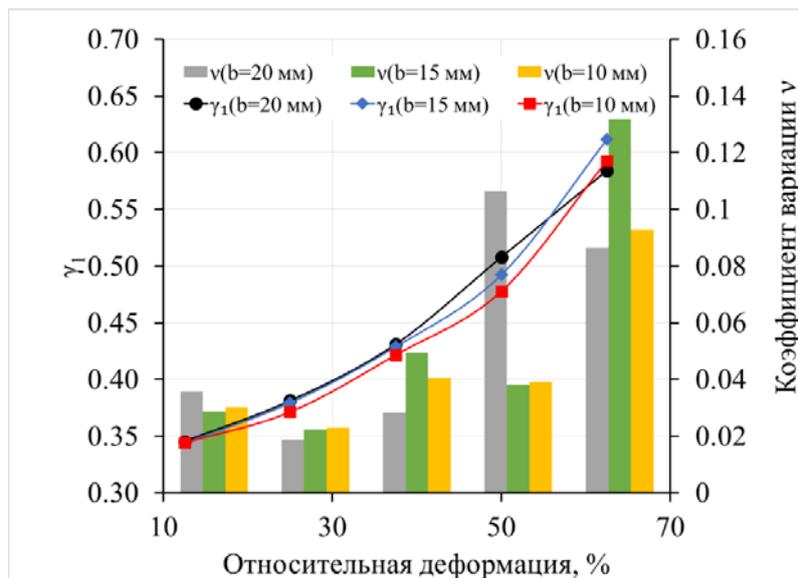


Рис. 6. Расчетные распределения средних значений и коэффициентов вариации относительной плотности порошкового сердечника в зависимости от ширины и относительной деформации порошковой ленты

Помимо относительной деформации и ширины заготовки на распределение компонент напряженно-деформированного состояния оказывает влияние радиус валков R . Для определения количественного влияния данного параметра на основе реализации конечно-элементной модели были получены поля распределений пористости порошка при радиусах валков от 25 до 100 мм (рис. 7).

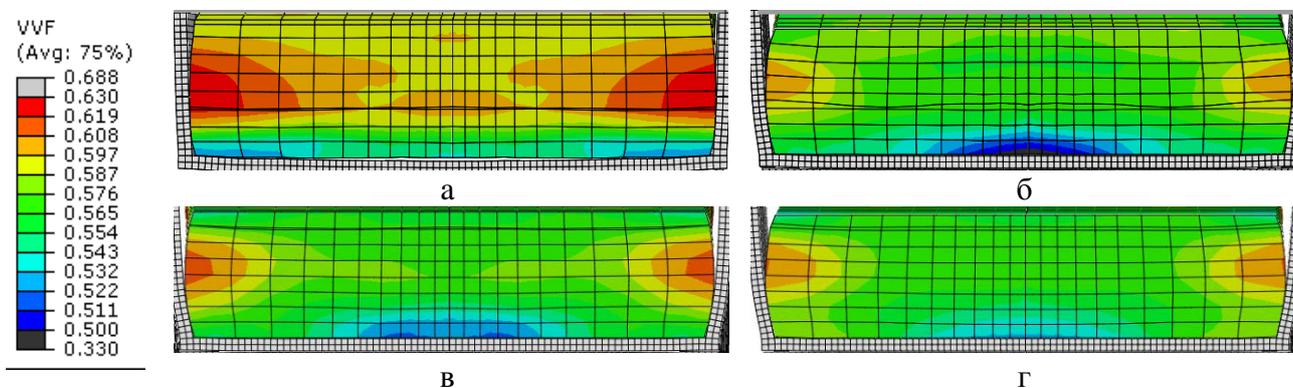


Рис. 7. Распределение пористости порошкового сердечника по сечению заготовки на выходе из очага деформации при различных радиусах валков R :

а – $R = 25$ мм ($L/h_{cp} = 1.3$); б – $R = 50$ мм ($L/h_{cp} = 1.9$); в – $R = 75$ мм ($L/h_{cp} = 2.3$); г – $R = 100$ мм ($L/h_{cp} = 2.7$)

Как видно из представленных результатов, равномерность распределения плотности возрастает при увеличении радиуса валков, при этом зоны с меньшей плотностью наблюдаются по боковым краям, а с большей – в зонах контактного взаимодействия с оболочкой со стороны нижнего валка.

На рис. 8 представлены расчетные распределения средних, минимальных, максимальных значений, среднеквадратичного отклонения и коэффициентов вариации относительной плотности порошкового сердечника в зависимости от радиуса валков при прокатке порошковой ленты в металлической оболочке. Из анализа полученных результатов видно, что с уве-

личением радиуса валков наблюдается уменьшение коэффициента вариации относительной плотности и при радиусе валков больше 50 мм данная величина не превышает регламентированных стандартами величин.

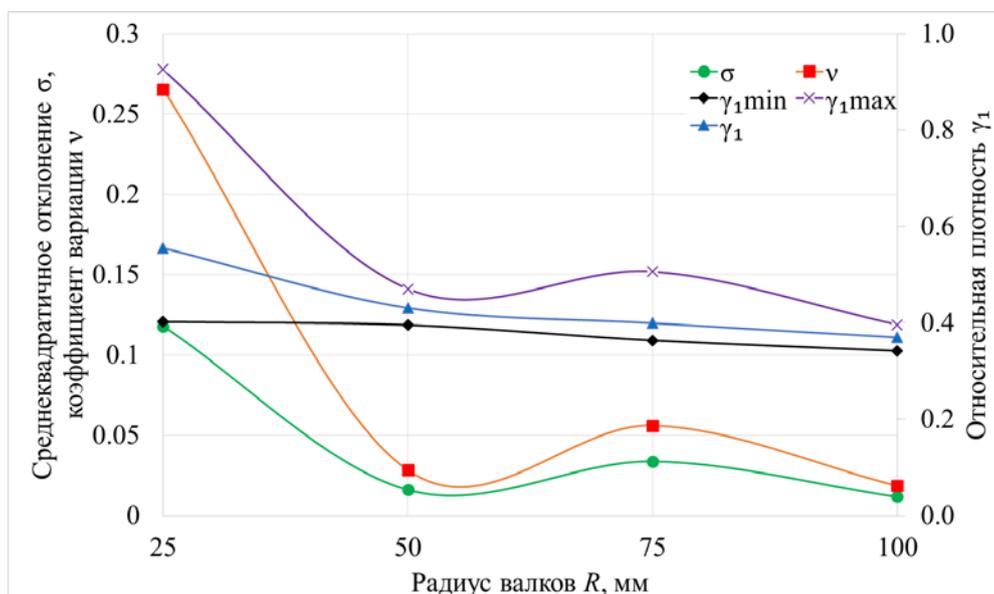


Рис. 8. Расчетные распределения статистических показателей относительной плотности порошкового сердечника в зависимости от радиуса валков

ВЫВОДЫ

На основе анализа результатов конечно-элементной модели прокатки порошковых лент в металлической оболочке установлено, что наиболее равномерное распределение плотности порошкового сердечника регламентируемое стандартами наблюдается при обжатиях на уровне 25...35%, при этом для порошковых лент шириной 10...15 мм рекомендуемая величина обжатия не должна превышать 25%, для лент шириной 20 мм – 35% при радиусе валков больше 50 мм ($L/h_{cp} > 1.9$).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Наплавка быстроизнашивающихся деталей самозащитными порошковыми лентами / Б.В. Данильченко [и др.]. // Автоматическая сварка. – 1989. – № 5. – С. 38–41.
2. Ramakrishnan M. Application of submerged arc welding technology with cold wire addition for drum shell long seam butt welds of pressure vessel components / M. Ramakrishnan, V. Muthupandi // Int J Adv Manuf Technol. – 2013. – No. 65 (5-8): pp. 945-956. doi: 10.1007/s00170-012-4230-0
3. Новое оборудование для наплавки конусов и чаши засыпных аппаратов / А. П. Жудра, А. П. Ворончук, А. А. Фомакин, С. И. Великий // Автоматическая сварка. – 2009. – № 9. – С. 57–59.
4. Жудра А. П. Износостойкая наплавка порошковыми лентами / А. П. Жудра, А. П. Ворончук // Сварщик. – 2010. – № 6. – С. 6–10.
5. Грибков Э.П. Конечно-элементное моделирование пющения порошковой проволоки / Э.П. Грибков // Обработка материалов давлением: сборник научных трудов. – Краматорск: ДГМА, 2016. – № 1 (42). – С. 63-66.
6. Mori K. Analysis of the forming process of sintered powder metals by rigid-plastic finite-element method / K. Mori, K. Osakada // Int. J. Mech. Sci. – 1987. – No. 29(4): pp. 229-238. doi: 10.1016/0020-7403(87)90037-3
7. Zheng Z.-X. Experimental and numerical modeling for powder rolling / Z.-X. Zheng, W. Xia, Z. Y. Zhou // Rev. Adv. Mater. Sci. – 2013. – No. 33: pp. 330-336. http://www.ipme.ru/e-journals/RAMS/no_43313/05_433_zheng.pdf
8. Манилык, Т. Практическое применение программного комплекса АВАQUS в инженерных задачах. Версия 6.5 / Т. Манилык, К. Ильин. – М.: МФТИ, ТЕСИС, 2006. – 99 с.

Статья поступила в редакцию 18.05.2016 г.