

РАЗДЕЛ III ПРОЦЕССЫ ОБРАБОТКИ ДАВЛЕНИЕМ В МЕТАЛЛУРГИИ

УДК 621.762.047

Грибков Э. П.
Бережная Е. В.
Данилюк В. А.
Селедцов А. С.

МЕТОДИКА И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ НА ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ОБРАБОТКИ ДАВЛЕНИЕМ ДИСКРЕТНЫХ СРЕД

Одними из эффективных технологий промышленного производства являются процессы обработки давлением дискретных сред, такие как процессы прокатки и прессования порошковых металлических материалов [1], процессов вальцевания угольной [2] и каландрирования резиново-технической крошки [3] и др. Вместе с тем спецификой условий реализации данных процессов является исследования свойств дискретных сред при их деформации.

Основными характеристиками физико-механических свойств дискретных сред являются параметры, которые входят в условие пластичности для пористых материалов [4], т. е. зависимости $\alpha(\gamma)$, $\beta(\gamma)$ и $\sigma_s(\gamma)$:

$$f = \frac{1}{2} [(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2] + \alpha(\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3)^2 - \beta\sigma_s^2 = 0, \quad (1)$$

где $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ – главные напряжения, действующие на деформируемую дискретную среду;
 α, β – коэффициенты, учитывающие специфику деформации дискретной среды;
 σ_s – условный предел текучести материала основы дискретной среды.

Сами же коэффициенты α и β в свою очередь определяются по формуле [3]:

$$\alpha = a(1 - \gamma)^m; \quad \beta = \gamma^{2n}, \quad (2)$$

где a, m, n – постоянные коэффициенты, определяемые экспериментально для каждого типа дискретной среды;

γ – относительная плотность дискретной среды определяемая как:

$$\gamma = \rho / \rho_m, \quad (3)$$

ρ – плотность исследуемой дискретной среды;

ρ_m – плотность исследуемой композиции в ее монолитном состоянии.

Применительно к процессам уплотнения дискретных сред знание количественных оценок указанных выше функциональных связей является необходимым для расчета как локальных, так и интегральных характеристик напряженно-деформированного состояния, а, следовательно, и для расчета всего комплекса основных технологических параметров.

Несмотря на наличие целого ряда чисто теоретических разработок [4, 5], непосредственное определение функциональных связей $\alpha(\gamma)$, $\beta(\gamma)$ и $\sigma_s(\gamma)$ осуществляют, преимущественно, на основе экспериментальных методов исследования. Полученные же в этом

случае результаты для некоторых достаточно широко используемых в промышленной практике композиций представлены в работах [4, 6–8] в виде соответствующих количественных и графических интерпретаций. Вместе с тем, использование новых материалов делает необходимым и определение соответствующих им эмпирических оценок.

Целью данного исследования является разработка методики и создание оборудования для определения физико-механических свойств дискретных сред при реализации процессов их уплотнения.

С учетом изложенного выше, а также в соответствии с рекомендациями работы [4] экспериментальный метод исследования был использован и в ходе настоящего исследования применительно к количественной оценке дискретных сред. Технологическая сущность исследований заключалась в прессовании соответствующей дискретной среды в закрытой матрице при различных, варьируемых по величине, значениях полного усилия Y . Причем прессование производили винтом нажимного механизма в станине рабочей клетки лабораторного прокатного стана 200×260 кафедры АММ ДГМА.

Экспериментальная установка (рис. 1) включает в себя верхний 1 и нижний 2 пуансоны, которые установлены на центрирующем стержне 4 и расположены в плавающей разъемной матрице 3, установленную на пружинах 5. Внутренний диаметр разъемной матрицы составил $40,15$ мм, а наружный диаметр центрирующего стержня на его рабочей поверхности $16,15$ мм. Для уменьшения степени влияния сил внешнего трения указанные поверхности, а также соответствующие рабочие поверхности верхнего и нижнего пуансонов были шлифованы и после каждой прессовки тщательно обезжировались. Надежное сопряжение двух половин разъемной матрицы осуществляли при помощи болтовых соединений 8, штифтов 9 и бронзовых сферических шайб 10, обеспечивающих самоустановку болтов 8. Измерение радиальной составляющей силы прессования производили при помощи месдоз 11, представляющих собой кольцевые упругие элементы, размещенные между шайбой болтового соединения и разъемной матрицей. Наклейку тензометрических датчиков сопротивления, а также их последующее соединение в мостовую схему производили в полном соответствии с рекомендациями работы [9]. Тарировку же месдоз для измерения радиальной составляющей силы прессования производили на отдельном гидравлическом прессе путем имитационного нагружения силой известной величины. Погрешность показаний измерительной схемы в этом случае не превысила 8% .

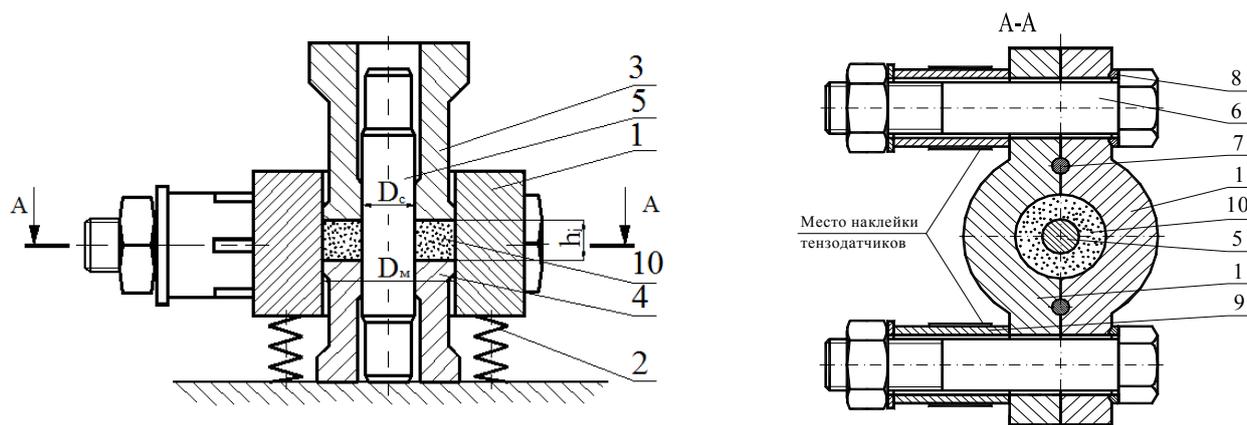


Рис. 1. Схема экспериментальной установки

Устройство работает следующим образом: под действием прессующего механизма верхний пуансон 3 (см. рис. 1) воздействует на дискретную среду известной силой Y , под действием которой происходит деформация пористого материала, которая, в свою очередь, вызывает радиальную силу F , измеряемую при помощи месдоз 9. Непосредственно нормальные контактные P_i напряжения определяют в этом случае по формуле:

$$P_i = \frac{4Y_i}{\pi(D_M^2 - D_C^2)}. \quad (4)$$

Касаясь определения радиальных напряжений σ_{ri} , рассмотрим условие равновесия при проецировании всех сил на горизонтальную плоскость (рис. 2):

$$F_i = \int_0^\pi \sigma_{ri} \cdot \sin \alpha \cdot R d\alpha \cdot h_i = \sigma_{ri} \cdot (-\cos \alpha) \cdot R \Big|_0^{180} \cdot h_i = 2 \cdot \sigma_{ri} \cdot R \cdot h_i = \sigma_{ri} \cdot D_M \cdot h_i,$$

откуда с учетом известного измеренного значения F_i величина σ_{ri} соответствует:

$$\sigma_{ri} = \frac{F_i}{h_i D_M}. \quad (5)$$

Определение коэффициента α_i осуществляется по формуле [4]:

$$\alpha_i = \frac{1 - \sigma_{ri} / P_i}{2(1 + 2\sigma_{ri} / P_i)}, \quad (6)$$

Коэффициенты β и σ_s определяются по следующей зависимости [4]:

$$\beta_i \sigma_s^2 = \frac{9\alpha_i}{1 + 4\alpha_i} P_i^2, \quad (7)$$

где последующее определение коэффициента β_i осуществляется на основе метода наименьших квадратов, исходя из допущения о постоянстве значения σ_s .

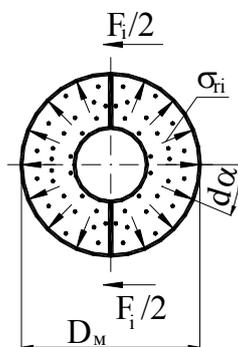


Рис. 2. Расчетная схема для определения радиальных напряжений σ_{ri}

Затем производят измерение геометрических характеристик и массы получаемого образца, определяют значения его абсолютной и относительной плотности.

Зная зависимости коэффициентов α_i и β_i от относительной плотности γ_i , определяют коэффициенты a , m , n уравнения (3).

Изложенная выше методика составила полный алгоритм для экспериментальных исследований изменения свойств дискретных сред при их деформировании в процессе обработки давлением.

В качестве примера результатов проведенного исследования в табл. 1 дана количественная, а на рис. 3 – графическая интерпретация зависимостей $\alpha(\gamma)$ и $\beta(\gamma)$, полученные при прессовании порошка бронзографита, включающего по массе 79 % меди (Cu, $m_j = 0,79$, $\rho_{mj} = 8,9$ г/см³), 15 % олова (Sn, $m_j = 0,15$, $\rho_{mj} = 7,3$ г/см³), 3 % свинца (Pb, $m_j = 0,04$, $\rho_{mj} = 11,3$ г/см³), и 2 % графита (C, $m_j = 0,02$, $\rho_{mj} = 2,23$ г/см³).

Причем определение этих коэффициентов осуществлялось по методике работы [4].

Таблица 1

Экспериментальные значения компонент напряженно-деформированного состояния, а также расчетные значения коэффициентов α и β , полученные при прессовании бронзографитового порошка (79 % Cu, 15 % Sn, 4 % Pb, 2 % C)

i	H , мм	P , Н/мм ²	σ_r , Н/мм ²	γ	α	β
1	7,605	182,91	28,53	0,88850	0,32165	0,55008
2	7,805	174,20	24,82	0,86574	0,33366	0,50692
3	8,005	169,85	20,81	0,84411	0,35236	0,49310
4	8,205	154,60	16,06	0,82353	0,37101	0,41727
5	8,405	139,36	12,60	0,80393	0,38514	0,34413
6	8,605	124,12	9,61	0,78525	0,39947	0,27688
7	8,805	111,05	7,63	0,76741	0,40941	0,22375
8	9,005	100,17	4,73	0,75037	0,43524	0,18622
9	9,205	84,92	3,93	0,73406	0,43648	0,13399
10	9,405	74,04	3,02	0,71845	0,44341	0,10242
11	9,605	69,68	2,15	0,70349	0,45638	0,09166
12	9,805	67,50	1,84	0,68914	0,46114	0,08634
13	10,005	60,97	1,23	0,67537	0,47099	0,07096
14	10,205	53,35	0,89	0,66213	0,47589	0,05452
15	10,405	50,08	0,56	0,64941	0,48363	0,04832
16	10,605	45,73	0,37	0,63716	0,48820	0,04041
17	10,805	40,28	0,12	0,62536	0,49558	0,03152
18	11,005	37,02	0,08	0,61400	0,49669	0,02664

Из анализа полученных результатов является очевидным, что с увеличением силы прессования радиальные напряжения возрастают (рис. 3). По мере увеличения относительной плотности γ значения коэффициента α снижаются и снижаются практически линейно, что, в свою очередь, позволяет принять степенной показатель аналитического описания m равным единице. Количественная же оценка коэффициента a того же аналитического описания для данного материала составила $a = 1,737$.

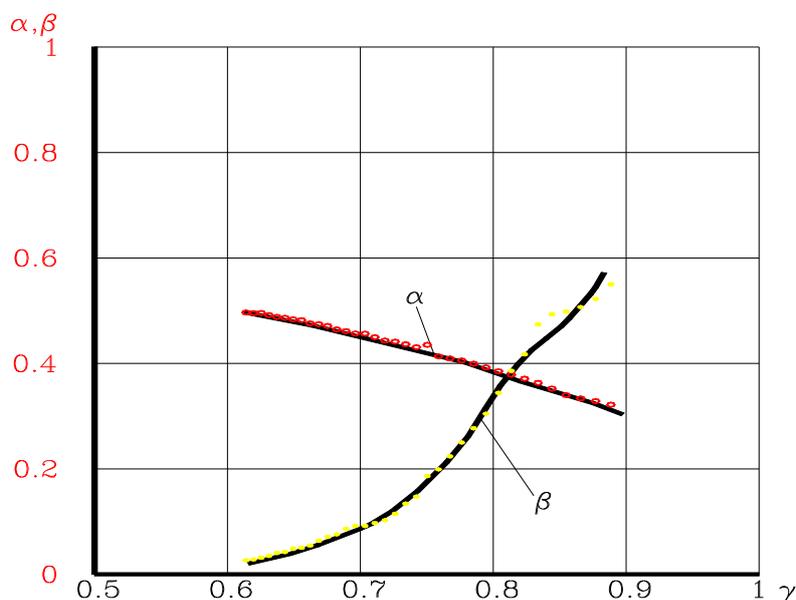


Рис. 3. Расчетные распределения коэффициентов α и β для порошка бронзографита

Значение коэффициента β с увеличением относительной плотности возрастает (см. рис. 3), асимптотически приближается к единице, что, в частности, соответствует условиям деформирования сплошных сред [8]. Полученная же для бронзографита данного состава количественная оценка степенного показателя n в данном случае составила $n = 3,049$, а значение σ_s было равно 274 Н/мм^2 и именно эти значения могут быть использованы в качестве исходных данных при реализации различных математических моделей процесса прокатки порошковых материалов.

ВЫВОДЫ

Разработаны методика и оборудование для экспериментального определения исходных данных на проектирование процессов обработки давлением дискретных сред, необходимые для расчета как локальных, так и интегральных характеристик напряженно-деформированного состояния, а, следовательно, и для расчета всего комплекса основных технологических параметров. Полученные результаты позволяют определять коэффициенты, учитывающие специфику деформации дискретной среды при изменении относительной плотности, что является необходимым для определения основных характеристик физико-механических свойств дискретных сред.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Виноградов Г. А. Теория листовой прокатки металлических порошков и гранул / Г. А. Виноградов, В. П. Каташинский. – М. : Металлургия, 1979. – 224 с.
2. Васильев В. С. Расчет параметров вальцовых прессов в процессе производства формованного кокса : монография / В. С. Васильев. – Славянск : Печатный двор, 2008. – 165 с.
3. Лебедев Г. А. Вальцевание и каландрование / Г. А. Лебедев, В. Н. Красовский. – М. : Химия, 1973. – 55 с.
4. Волкогон Г. М. 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. : ил.
5. Порошковая металлургия. Материалы, технология, свойства, области применения / под ред. М. М. Федорченко. – Киев : Наукова думка, 1985. – 624 с.
6. Такэкава Д. Критерии текучести металлических порошковых прессовок. Фунтай реби фумацу якин / Д. Такэкава, Е. Масуда // *Journal of Japan Society of Powder Metallurgy*. – 1981. – V.28.'3. – P. 90-94.
7. Лаптев А. М. Построение деформационной теории пластичности пористых материалов / А. М. Лаптев // *Изв. вузов. Машиностроение*, 1980. – №4 – С. 158–163.
8. Петросян Г. Л. Деформационная теория пластичности пористых материалов / Г. Л. Петросян // *Изв. вузов. Машиностроение*, 1979. – № 11 – С. 5–8.
9. Макаров Р. А. Тензометрия в машиностроении / Р. А. Макаров, А. В. Ранский, Г. Х. Боркунский и др. – М. : Машиностроение, 1975. – 268 с.

Грибков Э. П. – канд. техн. наук, доц. кафедры АММ ДГМА;

Бережная Е. В. – канд. техн. наук, ассистент кафедры СП ДГМА;

Данилюк В. А. – аспирант кафедры АММ ДГМА;

Селедцов А. С. – ассистент кафедры АММ ДГМА.

ДГМА – Донбасская государственная машиностроительная академия, г. Краматорск.

E-mail: amm@dgma.donetsk.ua

Статья поступила в редакцию 20.03.2012 г.