

3. Результаты работы указывают на необходимость разработки промышленной технологии производства неорганических пигментов с частичной (а возможно и полной) заменой дорогостоящих минеральных составляющих на шламы гальванических производств.

4. Дальнейшие исследовательские работы также необходимо направить на поиск условий синтеза пигментов других оттенков с технологическими и эксплуатационными свойствами, соответствующими требованиям стандартов на этот вид продукции.

Литература

1. Запольский А.К., Образцов В.В. Комплексная переработка сточных вод гальванических производств. – К: Техника, 1989. – 199 с.
2. Перспективы получения цветных и редких металлов из техногенных отходов на Украине / Галецкий Л.С., Бент О.И., Макогон В.Ф. и др. – К: Знание, 1994. – 29 с.
3. Утилизация промышленных отходов гальванических производств / Тищенко Г.П., Мойсенко Н.Ю., Журавлев в.с. и др. // Обз. инф. Сер. Актуальные вопросы хим. науки и технолог. и охраны окруж. среды. НИИтехим. – 1991. – №3. – С. 1-84.

Досліджені процеси деформації пористої заготовки, що піддається ущільненню в закритій прес-формі. Реалізована моделююча програма, що дозволяє передбачити характеристики заготовки після обробки

Ключові слова: математична модель, порошкові матеріали, пресування

Исследованы процессы деформирования пористой заготовки, подвергающейся уплотнению в закрытой пресс-форме. Реализована моделирующая программа, позволяющая предсказать характеристики заготовки после обработки

Ключевые слова: математическая модель, порошковые материалы, прессование

The processes of deformation of exposed to the compression in the closed press-form porous preform are investigated. The designing program allowing to predict descriptions of purveyance after treatment is realized

Keywords: mathematical model, powder materials, pressing

УДК 621.921.34:621.7.044.2

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ДЕФОРМИРОВАНИЯ Порошковых МАТЕРИАЛОВ С ВИЗУАЛИЗАЦИЕЙ РЕЗУЛЬТАТОВ РАСЧЕТА

С.Г. Бондаренко

Кандидат технических наук, доцент
Контактный тел.: (044) 454-97-83
E-mail: sgb@xtf.ntu-kpi.kiev.ua

А.А. Хоменко*

Контактный тел.: (0 44) 454-97-83
E-mail: vellaria@gmail.com

*Кафедра кибернетики химико-технологических процессов
Национальный технический университет Украины «Киевский
политехнический институт»
пр. Победы, 37, г. Киев, Украина, 03056

1. Введение

Важным моментом в развитии промышленного производства последнего времени можно считать совершенствование характеристик материалов. Как правило, при этом основные усилия направляются на снижение веса изделия, увеличения его прочности и

повышения стойкости к агрессивным средам [1, 2, 3]. В связи с этим возникает потребность в новых материалах, способных с наибольшей выгодой заменить традиционные. Поэтому столь большое внимание уделяется порошковым композиционным материалам. Из таких материалов получают детали с особыми свойствами и высокими эксплуатационными

характеристиками. Например, в производстве электрических машин используются детали, изготовленные из металлических порошков: коллекторные пластины, полюсные наконечники, крышки подшипников, втулки, шестеренки, рычаги. Исходными данными для изготовления таких деталей являются металлические порошки, состоящие из мелких частиц (0.5 – 500 мкм) различных металлов, их окислов, и керамики. При получении изделий из порошковых композиционных материалов нужно учитывать их будущие высокие прочностные свойства с одной стороны, и специфику обработки материала при получении готовых изделий с другой.

2. Анализ существующих методов исследования

Современные тенденции развития порошковой металлургии невозможны без поиска и разработки новых и совершенствования существующих технологий формирования порошковых сред. Качество полученного в результате обработки изделия определяют по ряду достаточно сложных методик [2, 3, 4]. Они обычно требуют больших временных затрат и дорогостоящего оборудования. Количественный анализ структуры способствует выявлению и определению связи между способом изготовления и структурой изделия [2, 3, 4, 5]. Знания о морфологии структуры изделия позволяют оптимизировать технологические процессы его получения, дать объективное представление о рациональности использования исходного материала для его получения и о дальнейшем использовании изделия. Часто изделия, изготовленные методом прессования, тяжело поддаются последующей обработке из-за их высоких прочностных характеристик, а иногда обработка просто невозможна в силу специфики изделия. При этом требования к точности конечной геометрии бывают очень жесткими, и могут составлять десятые доли миллиметра. В этих условиях, промышленному производству должно предшествовать математическое моделирование процесса уплотнения. Его цель состоит в установлении математической связи между начальными и конечными геометрическими параметрами в зависимости от свойств материалов и характера процесса уплотнения. А возрастание требований к конструкционным материалам и усложнение технологических процессов подводит к необходимости развития моделей прогнозирования их свойств. Энергия прессования расходуется на преодоление трения между частицами, внешнего трения и на деформирование частиц. Характерным структурным элементом порошковых материалов является пора. Увеличение пористости приводит к снижению плотности, прочности, отчасти снижает ударную вязкость. Все виды прессования имеют собственный механизм уплотнения, подчиняются различным закономерностям, но для всех них одним из наиболее важных вопросов является выяснение зависимости плотности порошкового тела от давления. Используя такие модели, можно определить среднюю пористость изделия во времени и ряд геометрических характеристик изделия с учетом свойств конструкционного материала, характера процесса уплотнения и вида пресс-формы.

3. Постановка задачи

Таким образом, актуальность задачи развития методов расчета процессов деформирования порошковых композиционных материалов и основанных на них задачах прогнозирования свойств композита, а также разработки оптимальных режимов деформирования, которые позволяют получать высококачественные изделия при наименьших затратах материалов и энергии, вызвана высокой стоимостью сырья, прессовального оборудования и необходимостью минимизации объемов механической обработки полученных порошковых заготовок.

4. Результаты исследований

Существует несколько возможных вариантов деформирования заготовки, одним из которых является деформирование в закрытой пресс-форме (рис. 1). Это наиболее распространенный способ уплотнения, к преимуществам которого относят его высокую производительность, сравнительную простоту штамповой оснастки, простоту реализации процесса, возможность использовать прессовое оборудование широкой номенклатуры и т.д. [6, 7]. Здесь при формировании порошкового материала ожидают достижения однородного уплотнения заготовки по всему объему, минимальной или заданной пористости полученного изделия.

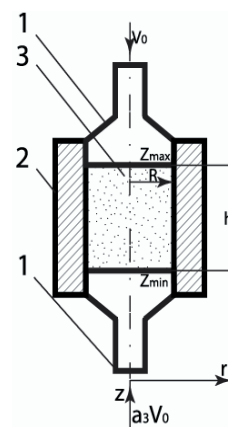


Рис. 1. Принципиальная схема двустороннего закрытого прессования: 1 – пуансон; 2 – пресс-форма; 3 – заготовка (композиционный материал)

При моделировании процесса деформации пористых материалов следует учитывать, что в основе их пластичности лежат физические механизмы деформации вещества, связанные со скольжением и удвоением дислокаций в поликристаллах. Рассматриваемый класс материалов, как и все твердые тела, в зависимости от условий нагружения и деформации может проявлять упругие, пластические и вязкие свойства [8, 9, 10]. Пластическое разрушение возникает в теле при достижении в нем предельного состояния. Пластическая деформация тел, сопровождающаяся их хрупким разрушением, не может быть рассмотрена как процесс, лежащий в основе механизма уплотнения порошкового материала. В работе [11] было показано,

что кинетика процесса уплотнения полностью определяется условиями пластической деформации сжимаемого пористого тела, механические свойства которого зависят от технологических свойств исходного порошкового материала и его плотности в некоторый момент времени.

Математическая модель, которая описывает процесс деформирования в закрытой пресс-форме, может быть представлена следующей системой уравнений (уравнение для компонент с индексом 1 справедливы для значений $z < z_{mid}$, а с индексом 2 - для $z \geq z_{mid}$), при условии, что существует некоторое значение $z_{min} < z_{mid} < z_{max}$, при котором v_z превращается в 0):

$$e_r = \frac{\partial v_r}{\partial r} = 0;$$

$$e_\phi = \frac{v_r}{r} = 0;$$

$$e_{1z} = \frac{\partial v_{1z}}{\partial z} = -\frac{2v_0(1+a_3)}{z_{max}-z_{min}} \left[1 + a_1(1+a_2 \frac{r^2}{R^2}) \cdot \frac{2(1+a_3)z - ((2+a_3)z_{min} + a_3z_{max})}{a_3(z_{max}-z_{min})} \right];$$

$$e_{2z} = \frac{\partial v_{2z}}{\partial z} = -\frac{v_0(1+a_3)}{z_{max}-z_{min}} \left[1 - a_1(1+a_2 \frac{r^2}{R^2}) \cdot \frac{(1+2a_3)z_{max} + z_{min} - 2(1+a_3)z}{z_{max}-z_{min}} \right];$$

$$\gamma_{1rz} = \frac{\partial v_{1z}}{\partial r} \left\{ \frac{(1+a_3)z - a_3z_{max} - z_{min}}{z_{max}-z_{min}} \cdot \left[1 - a_1(1+a_2 \frac{r^2}{R^2}) \cdot \frac{(1+a_3)(z-z_{min})}{a_3(z_{max}-z_{min})} \right] \right\};$$

$$\gamma_{2rz} = \frac{\partial v_{2z}}{\partial r} = \frac{2v_0 a_1 a_2 r}{R^2} \left(\frac{(1+a_3)z - a_3z_{max} - z_{min}}{z_{max}-z_{min}} \right) \cdot \left(\frac{(1+a_3)(z_{max}-z)}{z_{max}-z_{min}} \right),$$

где e_r и e_z – смещение элементарной частицы по оси r и z соответственно; γ – смещение элементарной частицы, обусловленное радиальным течением вещества; r – текущая координата по радиусу заготовки; z – текущая координата по высоте заготовки; v_0 – скорость прессовального пуансона; a_3 – отношение, определяющее симметричность двухстороннего прессования; Z_{max} и Z_{min} – максимальная и минимальная координаты по высоте заготовки; R – радиус заготовки; a_1, a_2 – некоторые варьируемые параметры.

При этом граничные условия записываются следующим образом:

$$v_r(R, z) = 0; \quad v_r(r, 0) = 0; \quad v_r(0, z) = 0;$$

$$v_z(r, z_{max}) = -v_0; \quad v_z(r, z_{min}) = a_3 v_0,$$

где $0 \leq a_3 \leq 1$.

Математическая модель построена с учетом следующих допущений: деформация материала заготовки однородна по ее объему, верхний и нижний деформирующие пуансоны двигаются с постоянной скоростью, v_0 и $a_3 v_0$ соответственно.

При $a_3 = 1$ имеет место двустороннее симметричное прессование, при котором верхний и нижний пуансоны двигаются навстречу друг другу с одинаковыми скоростями.

Для решения приведенной модели разработан алгоритм и выполнена его программная реализация, которая позволяет выполнять расчеты геометрических параметров и характеристик прочности детали цилиндрической формы, которая подвергается двустороннему уплотнению в закрытой пресс-форме, на каждом этапе обработки в соответствии с модельными зависимостями, приведенными выше.

Вычисления проводятся с помощью прямого вариационного метода, комбинированного с методом сеток. Определение параметров a_1, a_2 математической модели проводится с помощью оптимизации методом Хука-Дживса вариационного функционала J , который вычисляется по методу Монте-Карло. Исходными данными являются геометрические размеры детали, начальная пористость ее материала, скорость движения прессовального аппарата (пуансона) и значение a_3 , шаг по времени, а также шаг виртуальной сетки по сечению образца. А результатами расчетов является высота и средняя пористость заготовки. Исходные и результирующие данные приведены в табл. 1 и 2 соответственно.

Результаты расчета процессы уплотнения пористой заготовки не позволяют оценить распределение пористости по высоте обрабатываемого изделия, и не дают возможности определения зон низкой плотности. Это обстоятельство не позволяет сделать оценку будущих эксплуатационных характеристик изделия.

Поэтому был разработан модуль визуализации, который был включен в основную программу расчета процесса деформирования в закрытой пресс-форме.

Результаты работы модуля визуализации представлены на рис. 2 и 3.

Таблица 1

Исходные параметры для расчета

Начальная высота заготовки h_0 , мм	Диаметр матрицы d_0 , мм	Скорость перемещения верхнего пуансона v_0 , мм/с	Шаг по времени Δt , с	Шаг сетки по оси r , мм	Шаг сетки по оси z , мм	Начальная пористость, %
50	30	1	1	3	5	70

Таблица 2

Результаты расчетов

Время обработки заготовки 5 с					
a_3	0	0,25	0,5	0,75	1
Высота заготовки, мм	45	43,75	42,5	41,25	40
Средняя пористость	0,22	0,2	0,17	0,15	0,12
Время обработки заготовки 10 с					
a_3	0	0,25	0,5	0,75	1
Высота заготовки, мм	43	41,25	39,5	37,75	36
Средняя пористость	0,18	0,15	0,11	0,07	0,05

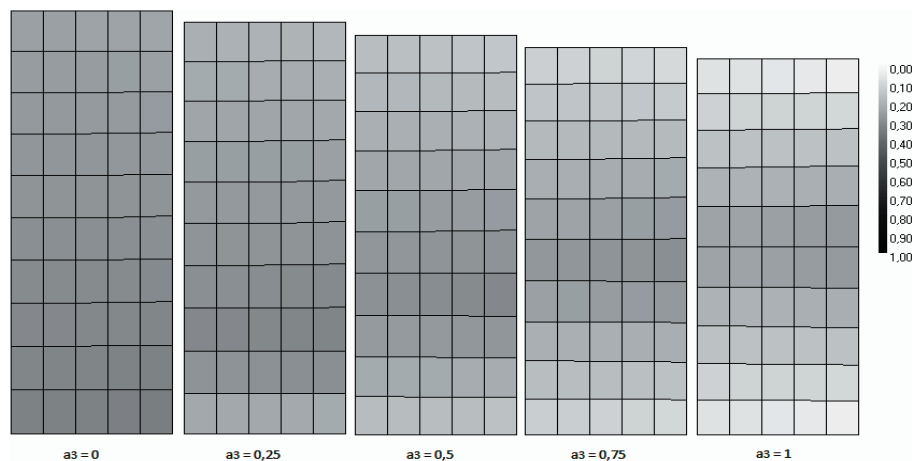


Рис. 2. Графическая визуализация результатов расчетов при разных значениях a_3 (время обработки заготовки - 5 с)

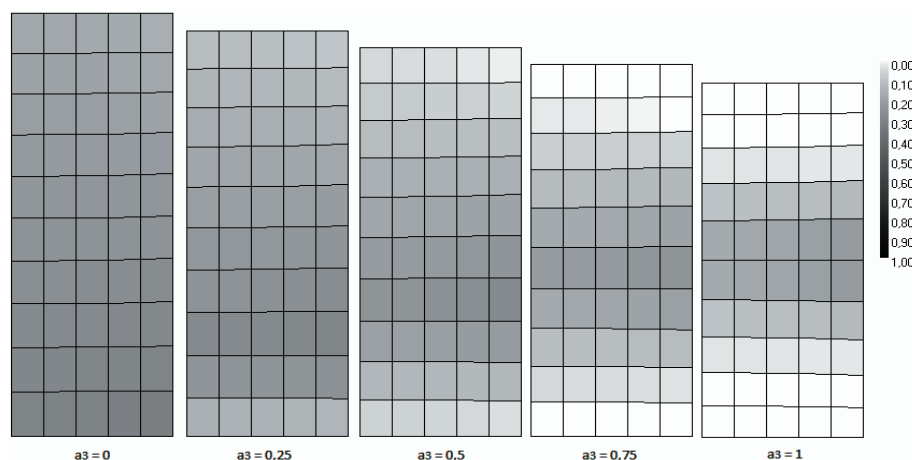


Рис. 3. Графическая визуализация результатов расчетов при разных значениях a_3 (время обработки заготовки - 10 с)

При визуальном расчете на виртуальное сечение заготовки наносится сетка с заданным шагом и для каждой ячейки сетки проводятся расчеты пористости. Выбранная цветная градация, позволяет визуально оценить распределение пористости (при необходимости градация цветов может быть изменена).

Как видно из приведенных результатов работы модуля визуализации, с его помощью можно оценить об-

ласти низкой плотности изделия и вынести суждение о его будущих эксплуатационных качествах. Например, по полученным результатам (рис. 3) можно видеть, что в районе центра заготовки существует область низкой плотности, и таким образом, несмотря на высокую среднюю плотность заготовки, ее прочностные свойства могут быть недостаточными для эксплуатации в реальных условиях, и ее необходимо подвергнуть дальнейшему уплотнению. Также, исходя из результатов моделирования видно, как именно происходит процесс деформирования изделия при разных скоростях прессовального аппарата. Из приведенных рисунков видно, что при абсолютно двустороннем прессовании наблюдается наиболее быстрое опрессовывание заготовки, и через 10 секунд прессования средняя пористость материала приближается к нулевой.

Выводы

Таким образом, предварительные расчеты процесса деформирования пористых материалов с помощью разработанного программного модуля позволят сделать предварительную оценку геометрических характеристик изделия, показать области плотности изделия и на основании этого вынести суждения о режимах обработки, эксплуатационных свойствах изделия, необходимом времени обработки, необходимости дальнейшего уплотнения изделия, о возможности использования того или иного конструкционного материала для получения изделия с заданными характеристиками.

Литература

1. Гуревич, Ю.Г. Износостойкие композиционные материалы [Текст] / Ю.Г.Гуревич, В.Н.Анциферов, Л.М.Савиных, С.А.Оглезнева, В.Я.Буланов // –Екатеринбург: УрО РАН, 2005. – 215с.
2. Панов, В. С. Технология и свойства спеченных твердых сплавов и изделий из них: учеб. для вузов [Текст] / В. С. Панов, А. М. Чурилин // – М.: МИСиС, 2001. – 426 с.
3. Шатерина, М. А. Технология конструкционных материалов [Текст] / М. А. Шатерина // – М.: Политехника, 2005. – 597 с.
4. Буланов, В.Я. Диагностика свойств композитов [Текст] / В.Я. Буланов, П.П. Савинцев // –Свердловск: УрО АН СССР, 1989. – 254 с.
5. Дурнев, В. Д. Экспертиза и управление качеством промышленных материалов [Текст] / В. Д. Дурнев, С. В. Сапунов, В. К. Федюкин // – СПб.: Питер, 2004. – 253 с.
6. Кипарисов, С.С. Порошковая металлургия [Текст] / С.С. Кипарисов, Г.А. Либенсон // – М.: Металлургия, 1971. – 528 с.
7. Ермаков С.С. Порошковые стали и изделия [Текст] / С.С. Ермаков, Н.Ф. Вязников // – Л.: Машиностроение, 1990. – 319 с.
8. Евстратов, В.А. Теория обработки металлов давлением [Текст] / В.А. Евстратов // – Харьков: Вища школа, 1981. – 248 с.

9. Рыбин, Ю. И. Теория уплотнения порошковых материалов : теория и математическое моделирование процессов обработки давлением уплотняемых материалов : учеб. пособие [Текст] / Ю. И. Рыбин // –СПб.: Изд-во СПбГПУ, 2002. – 109 с.
10. Друянов, Б.А. Математическое моделирование процессов обработки давлением металлических порошков и пористых тел [Текст] / Б.А. Друянов, И.Д. Радомысльский, М.Б. Штерн // Порошковая металлургия. –1981. – № 3. –С. 6–11.
11. Баглюк, Г.А. Научно-технологические принципы получения изделий из порошковых материалов на основе гетерогенных железо-углеродистых сплавов с повышенной износостойкостью [Текст] / Г.А. Баглюк // – НАН Украины; Институт проблем материаловедения им. И.Н.Францевича. – К.: 2004. – 486 с.

Розглянуто процес ферментації у виробництві біоетанолу. Запропоновано алгоритм прогнозування тривалості процесу. Виконано дослідження методів прогнозування. Наведені схеми системи автоматичного керування для припинення процесу без прогнозування та комп'ютерної системи керування з алгоритмом прогнозування

Ключові слова: біоетанол, ферментація, тривалість, прогнозування, керування

Рассмотрен процесс ферментации в производстве биоэтанола. Предложен алгоритм прогнозирования продолжительности процесса. Выполнены исследования методов прогнозирования. Приведенные схемы системы автоматического управления для прекращения процесса без прогнозирования и компьютерной системы управления с алгоритмом прогнозирования

Ключевые слова: биоэтанол, ферментация, продолжительность, прогнозирование, управление

Here is considered process of fermentation in manufacturing bioethanol. It is offered the algorithm of forecasting durability process. It is accomplished the exploration of the methods of forecasting. We can see some schemes of automatic control to stop the process without forecasting and computer control system of forecasting algorithm

Key words: bioethanol, fermentation, durability, forecasting, manipulation

УДК 681.5.015:66.048:66.066

ВИЗНАЧЕННЯ ТРИВАЛОСТІ ПРОЦЕСУ ФЕРМЕНТАЦІЇ У ВИРОБНИЦТВІ БІОЕТАНОЛУ

Л. Д. Ярощук

Кандидат технічних наук, доцент*

Контактний тел.: 066-253-51-97

E-mail: vicleon@i.ua

І. А. Раухвергер*

Контактний тел.: (044) 245-75-16,

050-207-27-87

E-mail: I_M_T_R@mail.ru

*Кафедра автоматизації хімічних виробництв

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут»

пр. Перемоги 37, м. Київ, 03056

1. Вступ

Дослідження, розглянуті у матеріалах статті, стосуються систем керування періодичними технологічними процесами хімічного, біохімічного та споріднених виробництв, зокрема виробництва біопалива.

Суспільна зацікавленість у біопаливі, як альтернативному виді палива, щорічно зростає. Для цього є досить вагомі підстави, що пов'язані з економічними, політичними та екологічними проблемами використання палива нафтового походження. Прикладом нетрадиційного палива, призначеного для використання в існуючих двигунах, є етанол, отриманий не з нафти, а з рослинної сировини, яку називають біомасою.

Біоетанол – зневоднений етанол, вироблений з біологічно відновлюваної сировини, головним чином його використовують як моторне паливо. Позитивним

при його застосуванні є не тільки зменшення споживання нафти, але й раціональне використання рослин [1].

2. Постановка проблеми

Об'єкт дослідження – процес ферментації (бродиння) у виробництві біоетанолу. Його слід розглядати як неперервно-періодичний біохімічний процес, кожний цикл роботи якого складається з наступних етапів: заповнення очищеного апарату певною кількістю дріжджів та сула, власне бродиння впродовж певного часу, виведення отриманих речовини з апарату для подальшої переробки.

Задачі системи керування ферментацією досить складні. Це пояснюється нестабільними властивостями