

УДК 621.762

Гогаев К. А.
Радченко А. К.

АЛГОРИТМ РАСЧЕТА ХАРАКТЕРИСТИК МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОРОШКОВ ПРИМЕНИТЕЛЬНО К ИХ ПРЕССУЕМОСТИ

Прессуемость является одной из важнейших технологических характеристик порошков. Под прессуемостью порошка понимают его способность образовывать под воздействием давления тело, имеющее заданные размеры, форму и плотность. Эта характеристика даёт качественную оценку свойств порошка, комплексно связанную с уплотняемостью и формуемостью [1].

Благодаря применению комплексного подхода к изучению формуемости и других технологических свойств порошков удалось предложить характеристику формуемости (балл формуемости) для всего диапазона относительных насыпных плотностей порошков и их смесей [2]. Была показана необходимость оценки формуемости вместе с прочностью прессовок [3, 4]. Оценена роль формы частиц при формовании металлических порошков [5–7]. Установлено, что целенаправленное изменение формы частиц позволяет существенно повысить прочность прессовок [8]. Однако, невзирая на важность такой характеристики как прессуемость, до сих пор не выработано единого подхода к её определению. Это затрудняет выбор методов и режимов обработки порошков перед их прессованием и не позволяет сравнивать порошки, полученные различными методами, особенно с существенно различающимися технологическими свойствами. Отсутствует простой и четкий алгоритм расчёта прессуемости порошков и других необходимых характеристик.

Целью данной работы является разработка алгоритма определения характеристик металлических порошков применительно к их прессуемости.

В настоящей работе использован сферический газораспыленный порошок быстрорежущей стали (ГРП БС) марки Р6М5Ф3 производства «Днепроспецсталь», из которого после гидро- и газостатической обработки,ковки и прокатки получают сортовой металл [9], и тот же порошок после механической обработки с нерегулярной формой частиц. Для получения последнего используют размол сферического газораспыленного порошка в валках прокатного стана [10]. При этом технология получения заготовок такова: размол сферического порошка, вакуумный отжиг, холодное прессование, нагрев и горячая экструзия порошковой заготовки.

В качестве паспорта порошка использована карта характеристик, предложенная Р. Швальбе [11], в которой проведены соответствующие изменения, часть характеристик не вошла в паспорт, а часть была добавлена в соответствии с результатами проведенных ранее исследований [12]. Так в паспорт не вошла тонкость порошка, полоса распределения и полоса величин частиц, так как они могут быть рассчитаны по результатам гранулометрического анализа и др. В то же время были добавлены такие характеристики – балл формуемости порошка, показатель прочности прессовок и предложен новый показатель уплотняемости порошка.

Результаты расчета характеристик порошков приведены в табл. 1–2.

Для получения характеристик порошков рекомендуется следующий порядок действий:

1. Отбираем по ДСТУ 3794-98 пробу в 100 г порошка и определяем гранулометрический состав методом сухого просеивания (ДСТУ 2640-94). Определяем текучесть 100 г порошка с помощью калибрующей воронки (ДСТУ 3795-98).

Таблица 1

Характеристики ГРП БС марки Р6М5Ф3

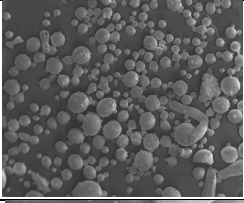
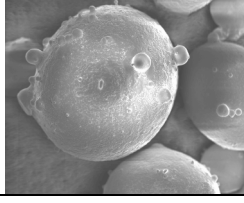
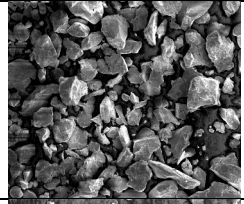
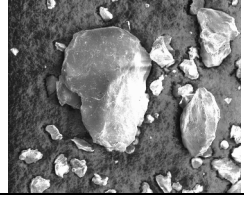
Завод «Днепроспецсталь»_____		Определение характеристик порошка Дата 09- 09-2009				Лист 1
Название порошка: газораспыленный порошок быстрорежущей стали марки Р6М5Ф3						
Поставщик «Днепроспецсталь»_						
Поставлено _____ (дата)						
Состояние: в состоянии поставки _____ (дата)						
Гранулометрический состав, масс. %						
< 50	< 63 ≥ 50	< 100 ≥ 63	< 160 ≥ 100	< 200 ≥ 160	< 315 ≥ 200	
1,2	3,3	24	42	20	9,5	
Характеристики						
Наименование характеристики порошка	Обозначение	Единица измерения	Значение	Тип химической связи: металлический		
Гомологическая температура	θ	безразм.	0,172	Хим. состав, масс. %		
Угол обрушения	φ	град	34	O – 0,04		
Плотность материала частиц	γ	г/см ³	8,1	N – 0,02		
Относительная плотность	$\rho_{\text{нас}}$	%	61	C – 1,2		
Текучесть	τ	с/50 г	30	Si – 0,5		
Уплотняемость	n_0	безразм.	0,210	W – 6		
Балл формуемости	БФ	безразм.	1	Mo – 5		
Показатель прочности	$\langle \Phi \rangle$	безразм.	0	V – 3		

Таблица 2

Характеристики обработанного [14] ГРП БС марки Р6М5Ф3

Завод «Днепроспецсталь»_____		Определение характеристик порошка. Дата 10- 10- 2010				Лист 1
Название порошка: газораспыленный порошок быстрорежущей стали марки Р6М5Ф3 обработанный						
Поставщик «Днепроспецсталь»_____						
Поставлено _____ (дата)						
Состояние: размол и отжиг (дата)						
Гранулометрический состав, масс. %						
< 50	< 63 ≥ 50	< 100 ≥ 63	< 160 ≥ 100	< 200 ≥ 160	< 315 ≥ 200	
5,2	4,3	18	45	20	7,5	
Характеристика						
Наименование характеристики порошка	Обозначение	Единица измерения	Значение	Тип химической связи: металлический		
Гомологическая температура	θ	безразм.	0,172	Хим. состав, масс %		
Угол обрушения	φ	град	45	O – 0,08		
Плотность материала частиц	γ	г/см ³	8,1	N – 0,02		
Относительная плотность	$\rho_{\text{нас}}$	%	39	C – 1,2		
Текучесть	τ	с/50 г	Не течет	Si – 0,5		
Показатель уплотняемости	n_0	безразм.	0,195	W – 6		
Балл формуемости	БФ	безразм.	3	Mo – 5		
Показатель прочности	$\langle \Phi \rangle$	безразм.	0,012	V – 3.		

2. Определяем относительную насыпную плотность порошка по стандартной методике с использованием лейки Хола (ДСТУ 2495-94), пропуская первое испытание, и рассчитываем как среднее трех последующих испытаний.

3. Балл формуемости (B_{ϕ}) порошка рассчитываем по следующей формуле [13]:

$$B_{\phi} = 10 \cdot (1 - r_{\min}), \quad (1)$$

где ρ_{\min} – минимальная относительная плотность прессовки.

При расчете балла формуемости по величине минимальной относительной плотности прессовки берется лишь первая цифра после запятой, не учитывая величину второй и третьей значащих цифр, например, если $\rho_{\min} = 0,695$, то в формулу вместо ρ_{\min} ставим 0,6. Минимальную относительную плотность прессовки рассчитываем по формуле, которая получена аппроксимацией экспериментальных данных по методу наименьших квадратов:

$$r_{\min} = 1,56 \cdot r_{\text{нас}}, \quad (2)$$

где $\rho_{\text{нас}}$ – относительная насыпная плотность порошка.

4. Навешиваем 15 навесок порошка, вес которых рассчитываем для цилиндрической пресс-формы диаметром 13 мм по формуле:

$$W = 0,79g, \quad (3)$$

где γ – плотность материала частиц, в г/см³.

Прессуем по 3 прессовки при давлениях прессования 200, 400, 500, 600 и 800 МПа, условия прессования соответствуют ГОСТ 25280-90. Сразу же после прессования обмеряем прессовки и рассчитываем их относительную плотность. По зависимости относительной плотности прессовки от давления прессования, рассчитываем показатель уплотняемости n_0 :

$$n_0 = \frac{\lg r - \lg r^*}{\lg p - \lg p^*} = \frac{\lg \frac{r}{r^*}}{\lg \frac{p}{p^*}}, \quad (4)$$

где ρ^* и p^* – значения относительной плотности (в процентах) и давления для данной стадии прессования (в МПа).

Для многокомпонентных порошковых систем показатель уплотняемости n рассчитываем по формуле:

$$n = n_0(1 + KW), \quad (5)$$

где n_0 – постоянная для части компонентов смеси, материал которых во время формирования находится в пластичном или упруго-пластичном состояниях;

K – постоянная, характеризующая свойства данной порошковой системы;

W – содержание второго компонента в весовых долях.

После этого испытаем полученные прессовки на радиальное сжатие («бразильский тест») и рассчитываем показатель прочности для каждого давления прессования как среднее трех испытаний.

Прочность прессовок ($\sigma_{\text{вн}}$) в МПа рассчитываем по формуле:

$$s_{\text{вн}} = \frac{2P}{pDH}, \quad (6)$$

где P – величина разрушающего усилия, в МН;

D и H – диаметр и высота прессовки, в м.

Средний показатель прочности $\langle \bar{\Phi} \rangle$ равен:

$$\langle \bar{\Phi} \rangle = \frac{\sum_{i=1}^m \frac{\sigma_i}{P_i}}{m}, \quad (7)$$

где m – количество измерений; σ_i – равняется величине $\sigma_{\text{вн}}$ при i -том давлении прессования.

5. Определяем угол обрушения порошка с использованием оригинального прибора [15]. Величину угла обрушения φ (в градусах) вычисляем по формуле:

$$\varphi = 180 \cdot \arctg \frac{2h_k}{D_y}, \quad (8)$$

где D_y – диаметр основания (в мм); h_k – высота конуса сыпучего материала (в мм).

6. Рассчитываем гомологическую температуру формования θ :

$$\theta = \frac{T_{\text{форм}}}{T_{\text{пл}}}, \quad (9)$$

где $T_{\text{форм}}$ и $T_{\text{пл}}$ – температуры формования и плавления материала частиц, в К).

7. Указываем тип кристаллической решётки материала частиц.

8. Фотографируем частицы на сканирующем электронном микроскопе.

Полученные данные заносим в паспорт порошка (см. табл. 1 и 2), в котором также указывается для чистых порошков количество химических примесей, а для сталей и сплавов химическое содержание основных элементов, приводится гранулометрический состав порошка.

Сравнивая паспортные данные двух приведенных порошков, можем охарактеризовать результаты механической обработки порошка ГРП БС марки Р6М5Ф3. Форма частиц изменилась со сферической на осколочную, что привело к изменению различных свойств порошка. Изменились три последних показателя, прямо характеризующих прессуемость. На 2 балла повысилась формуемость, показатель прочности повысился от 0 до 0,012, но на 7 % ухудшилась уплотняемость (от 0,210 до 0,195). Изменились и сопутствующие характеристики, косвенно связанные с прессуемостью порошка. Ухудшились динамические свойства порошка: так его текучесть с 30 с/50 г упала до 0. Уменьшилась относительная насыпная плотность от 0,61 до 0,39 и повысился угол обрушения от 34 до 45 градусов. Изменение гранулометрического распределения в данном случае не показательно, так как оба порошка перед испытанием просеивали через сито 315 мкм.

По предложенным характеристикам технологи могут рассчитать технологический процесс выпуска необходимых деталей, оптимизировав расходы. Аналогичный расчёт может быть проведен и для смесей порошков (многокомпонентных порошковых систем).

Предложенный паспорт прессуемости может рассматриваться лишь как первое приближение, которое естественно не может охватить все схемы и методы формования. Развитие работ в этом направлении может быть связано с установлением рациональных пределов (ограничений) той или иной характеристики применительно к различным технологическим процессам получения формовок, химическому составу шихт, уровню сложности получаемых деталей и др.

ВЫВОДЫ

Предложен простой и чёткий алгоритм расчёта технологических свойств порошков, комплексно связанных с его прессуемостью. Он характеризуется минимальным количеством

требуемого порошка и минимальным временем его тестирования. При этом не учитываются методы химического анализа, так как большинство из них гостировано.

На примере газораспыленного порошка быстрорежущей стали марки Р6М5Ф3, исходного и подвергнутого механической обработке, показано изменение его характеристик. Причём, первый из них неформируется при нормальных условиях, а второй при нормальных условиях формируется как при прессовании, так и при прокатке.

Предложенный алгоритм может быть рекомендован производителям порошков для их характеристики и заполнения разработанного паспорта порошка, в котором отображена информация, необходимая технологам для расчета технологического процесса и заключения о пригодности данного порошка.

ЛИТЕРАТУРА

1. Порошковая металлургия и напыленные покрытия : учебник для вузов / В. А. Анциферов, Г. В. Бобров, Л. К. Дружинин и др. – М. : Металлургия, 1987. – 792 с.
2. Гогаев К. О. Визначення формуємості порошку за допомогою балу формуємості / К. О. Гогаєв, О. К. Радченко, М. Г. Аскеров // Вісник Донбаської державної машинобудівної академії : зб. наук. праць. – Краматорськ : ДГМА, 2007. – № 1 (7). – С. 28–33.
3. Формуємість металевих порошків та технологічна міцність одержаних з них пресовок / О. К. Радченко, К. О. Гогаєв, В. К. Грибков, М. Г. Аскеров // Сучасні проблеми фізического матеріалознавства: збірник наукових праць ІПМ НАН України. – Київ, 2006. – Вып. 15. – С. 13–23.
4. Радченко О. К. Комплексна оцінка формованості сумішей порошків композиційних припойних матеріалів на нікелевій основі / О. К. Радченко, К. О. Гогаєв // Обработка материалов давлением : сб. науч. тр. – Краматорск : ДГМА, 2008. – № 1 (19). – С. 236–242.
5. Радченко А. К. Выбор критерия формы частиц порошка применительно к его формуемости / А. К. Радченко // Сучасні проблеми фізического матеріалознавства : сб. науч. тр. – К. : ІПМ НАН УССР, 2002. – С. 42–50.
6. Радченко О. К. Підвищення формуємості важкопресуємих порошків та жароміцних сплавів за рахунок зміни форми їх частинок / О. К. Радченко, К. О. Гогаєв // Удосконалення процесів і обладнання обробки тиском в метал та машинобудуванні : сб. наук. праць. – Краматорськ : ДГМА, 2006. – С. 389–394.
7. Радченко О. К. Вплив форми частинок на технологічні властивості газорозпиленних порошків швидкоріжучої сталі / А. К. Радченко, О. І. Гетьман // Порошковая металлургия. – 2006. – № 1/2. – С. 12–18.
8. Гогаєв К. О. Методи підвищення прочності неспечених формовок из порошків / К. О. Гогаєв, О. К. Радченко, В. К. Грибков // Удосконалення процесів і обладнання обробки тиском в металургії і машинобудуванні : сб. наук. праць. – Краматорськ : ДГМА, 2004. – С. 422–429.
9. Beiss P. P. M. Methods for production of high steel / P. P. Beiss // Met. Powd. Report. – 1983. – 38, No. 4. – P. 185–194.
10. Гогаєв К. О. Застосування прокатного обладнання для обробки важкодеформуємих сферичних порошків інструментальних сталей з метою поліпшення їх формованості / К. О. Гогаєв, А. К. Радченко, Т. К. Гогаєва // Наукові нотатки. Міжвуз. зб. (за напрямком «Інженерна механіка»). – Луцьк, 2004. – Вып. 14. – С. 33–38.
11. Schwalbe R. Vorschläge zur Prüfung von metallpulvern / R. Schwalbe // Stahl und Eisen. – 1952. – № 72. – S. 898–904.
12. Радченко О. К. Створення науково-технологічних основ формування багатоконпонентних порошкових систем і оптимізація технологічного процесу одержання та підвищення якості кінцевого продукту : дис. д-ра техн. наук ІПМ НАНУ. – Київ, 2009. – 450 с.
13. Гогаєв К. А. Формование порошковых систем / К. А. Гогаєв, А. К. Радченко; Институт проблем материалознавства им. И. Н. Францевича НАН Украины. – Донецк : Изд-во «Ноулидж» (донецкое отделение), 2011. – 477 с.
14. Гогаєв К. А. Повышение формуемости труднодеформируемых порошков / К. А. Гогаєв, А. К. Радченко, Т. К. Гогаєва // Порошковая металлургия. – 2005. – № 11/12. – С. 3–9.
15. Пат. № 86891 UA, МКП (2009) G01B5/24, B22F1/00. Спосіб та пристрій для визначення кута природного укосу сипучих матеріалів / Радченко О. К., Гогаєв К. О., Грибков В. К., Орел Г. Г.; заявник та патентовласник Інститут проблем матеріалознавства НАН України. – № а 200712358; заявл. 07.11.07 ; опубл. 25.05.09, Бюл. № 10.

Гогаєв К. А. – д-р техн. наук, зав. відділом ІПМ НАН України;

Радченко А. К. – д-р техн. наук, вед. науч. співробітник ІПМ НАН України.

ІПМ НАН України – Інститут проблем матеріалознавства Національної академії наук України, г. Київ.

E-mail: ArRadch@ipms.kiev.ua