

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 621.762

РАЗРУШЕНИЕ ЧАСТИЦ ФЕРРОМАГНИТНОГО МАТЕРИАЛА В МАГНИТОВИБРИРУЮЩЕМ СЛОЕ С ВЫСОКОЙ ПОРОЗНОСТЬЮ

Ю. М. ВЕРНИГОРОВ, Н. Н. ФРОЛОВА

(Донской государственный технический университет)

Дан расчет зависимости степени измельчения порошков магнитных материалов в магнитовибрирующем слое от градиента индукции магнитного поля.

Ключевые слова: магнитовибрирующий слой, ферромагнитный материал, математическая модель, энергия разрушения.

Введение. Порошковая металлургия среди разнообразных способов передела металлов позволяет создавать принципиально новые материалы. Кроме того, методами порошковой металлургии можно получать уникальные свойства, которые другими методами получить практически невозможно.

При размоле металлических порошков можно комбинировать различные виды воздействия: сжатие, удар, истирание. Причем, первые два вида имеют место при крупном помоле, второй и третий – при тонком измельчении. Особое место в ряду размольных устройств, обеспечивающих сухой помол, занимает бильная мельница, в которой ферромагнитный материал переводится в состояние псевдооживления. Описанная в работе [1] конструкция мельницы позволяет управлять гранулометрическим составом порошковой среды, изменяя индукцию и градиент индукции магнитного поля. Однако наличие вращающихся бил в конструкции мельницы повышает энергозатраты и износ механизмов.

Целью работы является получение соотношения между механическими характеристиками материала частиц и параметрами электромагнитного поля, при которых происходит разрушение частиц в магнитовибрирующем слое высокой порозности за счет соударений со стенками рабочего объема устройства.

Теоретическая модель. При решении поставленной задачи были сделаны следующие допущения:

- энергия, сообщаемая частицам дискретной среды внешним переменным полем с индукцией $\vec{B} = \vec{B}_c + \vec{B}_v \cos \omega t$, расходуется без потерь на разрушение частиц ($\vec{B}_c$ – постоянная составляющая индукции магнитного поля, $\vec{B}_v$ – переменная составляющая индукции магнитного поля, ω – частота переменного поля), т.е. диссипацией энергии за счет взаимодействия с непрерывной фазой при движении частиц пренебрегаем;
- частицы дисперсной среды представляют собой сферы с вмерзшими магнитными моментами;
- постоянная и переменная составляющие индукции магнитного поля взаимно перпендикулярны;
- подкачка энергии от поля осуществляется через поступательные степени свободы частиц;
- $B_c \ll B_v$, так как в противном случае дисперсная система переходит в структурированное состояние.

С учетом принятых допущений уравнение энергии, передаваемой внешним полем частице в единицу времени при поступательно-колебательном движении, записывается в виде [2]:

$$E_{n-k} = \frac{1}{2\pi} \frac{(P \partial B_v / \partial y)^2}{m \omega}, \quad (1)$$

где P – магнитный момент частицы; $\partial B_v / \partial y$ – градиент поля; m – масса частицы.

Предполагая, что порозность частиц в магнитовибрирующем слое высока, можно считать, что соударения между частицами отсутствуют. При этом следует ожидать разрушения частиц только при соударении со стенками объема, в который они помещены. Кроме того, будем считать, что размеры рабочего объема и частота поля таковы, что время пролета частиц от одной стенки к другой соответствует $T/2$ [2].

При измельчении путем раздавливания, раскалывания, удара затраты энергии E_p на разрушение сферической частицы при степени измельчения Z_u соответствуют гипотезе В.Л. Кирпичёва [3], согласно которой:

$$E_p = \frac{\pi \sigma^2 d_k^3}{12 E} (Z_u^3 - 1), \quad (2)$$

где σ – предел прочности при разрушении материала; d_k – конечный диаметр частицы;

$Z_u = \frac{d_H}{d_K}$ – степень измельчения материала; d_H – начальный диаметр частицы; E – модуль Юнга материала.

Разрушение частиц будет наблюдаться при условии, что

$$E_p = E_{n-k} \cdot \frac{T}{2}.$$

С учетом (1) и (2) можно записать:

$$\frac{\pi \sigma^2 d_k^3}{12 E} (Z_u^3 - 1) = \frac{P^2}{2 \pi m \omega} \left(\frac{\partial B_v}{\partial y} \right)^2 \cdot \frac{T}{2}. \quad (3)$$

Выражение (3) можно представить в виде:

$$\frac{\sigma^2 d_k^3 (Z_u^3 - 1)}{E} = \frac{J^2 d_H^3 \left(\frac{\partial B_v}{\partial y} \right)^2}{\rho \omega^2}. \quad (4)$$

При этом принимаем $P = \frac{J \pi d_H^3}{6}$, где J – намагниченность материала частицы; $m = \frac{\rho \pi d_H^3}{6}$,

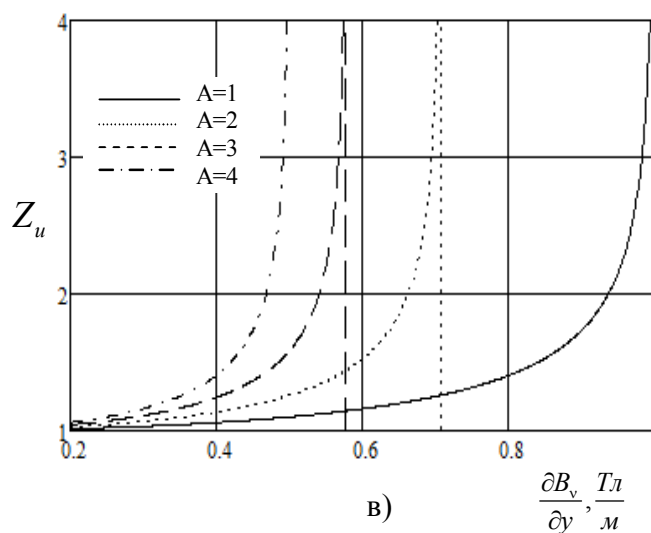
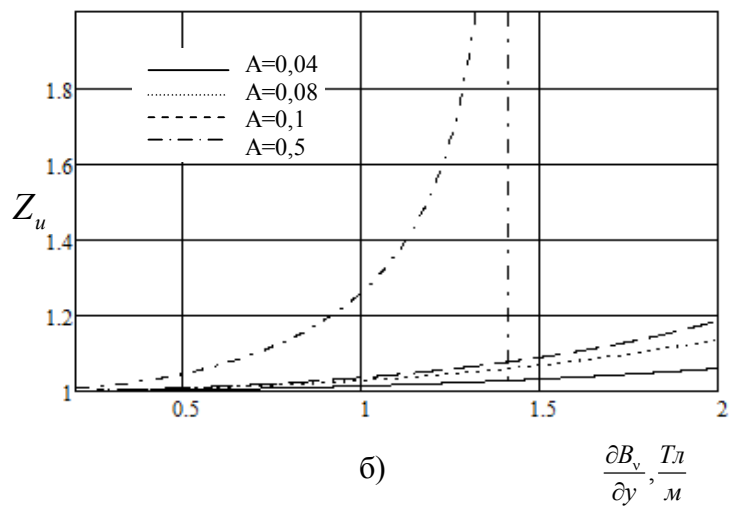
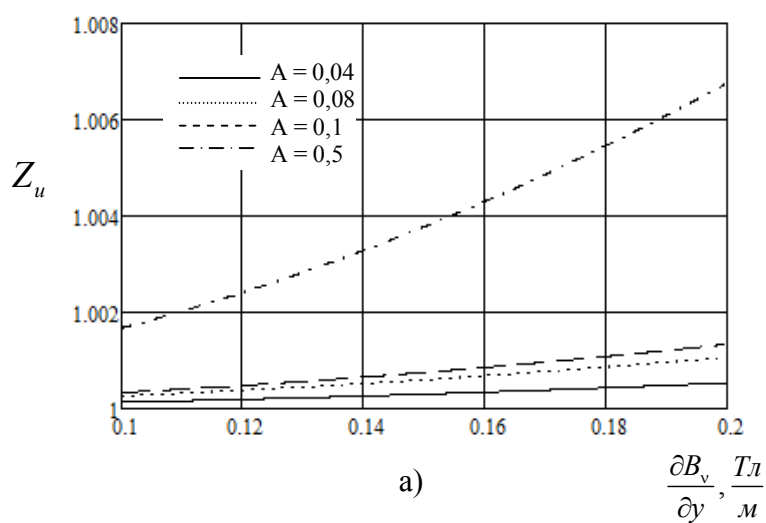
где ρ – плотность материала частицы, $\frac{T}{2} = \frac{\pi}{\omega}$.

После несложных преобразований (4) приобретает вид:

$$Z_u = \left[1 - \frac{E J^2}{\rho \omega^2 \sigma^2} \left(\frac{\partial B_v}{\partial y} \right)^2 \right]^{-1/3}. \quad (5)$$

Здесь

$$\frac{E J^2}{\rho \omega^2 \sigma^2} = A.$$



Зависимость степени измельчения частиц от градиента индукции магнитного поля частотой 50 Гц;
изменение градиента индукции магнитного поля и коэффициента A : а – $\frac{\partial B_v}{\partial y} = 0,1 \div 0,2 \frac{Tл}{м}$, $A = 0,04 \div 0,5 \frac{A^2 c^4 м^2}{кг^2}$;

б – $\frac{\partial B_v}{\partial y} = 0,5 \div 2 \frac{Tл}{м}$, $A = 0,04 \div 0,5 \frac{A^2 c^4 м^2}{кг^2}$; в – $\frac{\partial B_v}{\partial y} = 0,2 \div 1 \frac{Tл}{м}$, $A = 1 \div 4 \frac{A^2 c^4 м^2}{кг^2}$

Коэффициент A зависит только от механических и магнитных характеристик материала частиц, а также от частоты переменного поля. С учетом принятых обозначений (5) можно записать:

$$Z_u = \sqrt[3]{\frac{1}{1-A\left(\frac{\partial B_v}{\partial y}\right)^2}}. \quad (6)$$

Из полученного соотношения очевидно, что с ростом градиента индукции поля степень измельчения материала растет.

Предполагаем, что коэффициент A для различных магнитных материалов существенно меняется при фиксированной частоте за счет изменения механических и магнитных характеристик от единиц $\frac{A^2 c^4 m^2}{\kappa^2}$ до сотых долей. На рисунке представлен расчет для различных A . Анализ кривых позволяет сделать вывод, что для сильномагнитных материалов, либо для материалов, имеющих невысокий предел прочности при разрушении, измельчение частиц при единичном акте соударения начинается в полях с градиентом индукции порядка десятых долей Тл/м (рисунок, б).

Например, для феррита бария: намагниченность $J = 320 \cdot 10^3 \text{ А/м}$, модуль Юнга $E = 1,9 \cdot 10^{11} \text{ Н/м}^2$, плотность $\rho = 5,1 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$, прочность на разрушение $\sigma = 3 \cdot 10^7 \text{ Н/м}^2$ [4], коэффициент $A = 0,04$. При этом уменьшение диаметра частиц в 1,1 раза происходит в полях с градиентом индукции 0,4 Тл/м, а в 1,5 раза – 1,25 Тл/м.

Следует отметить, что для каждого материала существует значение градиента индукции, при котором происходит интенсивное разрушение частиц.

Например, для $A = 1 \frac{A^2 c^4 m^2}{\kappa^2}$ эффективное разрушение частиц наступает при градиенте индукции более $0,6 \div 0,7 \text{ Тл/м}$, а при $A = 2 \frac{A^2 c^4 m^2}{\kappa^2}$ такой же процесс реализуется в полях с градиентом индукции $0,4 \div 0,5 \text{ Тл/м}$.

Кроме того, при малых градиентах индукции от частицы отделяется малая часть, что происходит и при больших градиентах индукции. Это следует учитывать при выборе параметров поля.

Выводы. Определена возможность размолла порошков магнитных материалов в неоднородном магнитном поле за счет соударения частиц со стенками рабочего объема. Проведен расчет градиента индукции магнитного поля, при котором происходит процесс разрушения частиц порошка даже при единичном акте взаимодействия со стенками рабочего объема. Это позволяет предположить возможность создания конструкции размольного устройства, не имеющего механически движущихся частей.

Библиографический список

1. Егоров И.Н. Разработка магнитовибрационной технологии помола порошков магнитных материалов, обеспечивающей заданный гранулометрический состав: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – ЮРГТУ, 2007. – 19 с.
2. Вернигоров Ю.М. Магнитовибрационная технология производства порошковых магнитов: автореф. дис. ... д-ра техн. наук. – Ростов н/Д, 1995. – 33 с.
3. Кирпичёв В.Л. Беседы о механике / В.Л. Кирпичёв. – 5-е изд. – М.; Л.: Гостехиздат, 1951. – 360 с.
4. Злобин В.А. Ферритовые материалы / В.А. Злобин, В.А. Андреев, Ю.С. Звороно. – Л.: Энергия, 1970. – 112 с.

Материал поступил в редакцию 09.06.2011.

References

1. Egorov I.N. Razrabotka magnitovibracionnoj tehnologii pomola poroshkov magnitny`x materialov, obespechivayushhej zadanny`j granulometricheskij sostav: avtoref. dis. ... kand. texn. nauk. – YURGTU, 2007. – 19 s. – In Russian.
2. Vernigorov Yu.M. Magnitovibracionnaya tehnologiya proizvodstva poroshkovy`x magnetov: avtoref. dis. ... d-ra texn. nauk. – Rostov n/D, 1995. – 33 s. – In Russian.
3. Kirpichyov V.L. Besedy` o mexanike / V.L. Kirpichyov. – 5-e izd. – M.; L.: Gostexizdat, 1951. – 360 s. – In Russian.
4. Zlobin V.A. Ferritovy`e materialy` / V.A. Zlobin, V.A. Andreev, Yu.S. Zvorono. – L.: E`nergiya, 1970. – 112 s. – In Russian.

DESTRUCTION OF FERROMAGNETIC MATERIAL PARTICLES IN MAGNETOVIBRATING LAYER WITH HIGH POROSITY

Y.M. VERNIGOROV, N.N. FROLOVA

(Don State Technical University)

The dependence of fineness ratio of magnetic material powders in the magnetovibrating layer on the gradient of magnetic field induction is analyzed.

Keywords: magnetovibrating layer, ferromagnetic material, mathematical model, fracture energy.