

## ДЕФОРМАЦИОННЫЙ МЕХАНИЗМ УПЛОТНЕНИЯ ПОРОШКОВОГО ТЕЛА

*Белорусский национальный технический университет  
Минск, Беларусь*

Установление зависимости плотности порошкового тела от давления прессования является основной задачей теории процесса уплотнения порошкового тела, т.к. на основе решения этой задачи возможна научно обоснованная разработка технологического процесса прессования, являющегося одним из основных технологических процессов порошковой металлургии.

Для решения этой задачи, в первую очередь, необходимо определить деформационный механизм уплотнения порошкового тела. Данный механизм должен учитывать все три компоненты деформации порошкового тела в процессе уплотнения: упругую, пластическую и структурную, межчастичную, наличие которой и отличает деформацию порошкового тела от деформации компактного тела.

При дальнейшем анализе будем полагать, что структура порошкового тела не является геометрически правильной, взаимное расположение частиц является равновероятным, все направления в порошковом теле равноправны. Каждая частица порошкового тела, как отдельное компактное тело, подчиняется всем законам классической механики.

Две контактирующие частицы в окрестностях рассматриваемого контакта, ограничены некоторыми, в общем случае, произвольными криволинейными поверхностями, преимущественно выпуклой формы. Даже в том случае, когда частица порошкового тела в окрестностях рассматриваемого контакта имеет сложную, разветвленную, дендритную форму она может быть представлена в виде модельной, геометрические закономерности деформации которой, будут достаточно близкими к реальной. Таким образом, форма поверхности частицы в окрестностях рассматриваемого контакта, всегда с достаточным приближением, может быть описана математической зависимостью, характер которой будет претерпевать изменения в процессе деформации. Это изменение может быть записано в виде следующей функции:

$$W_k = f(S_{kc}), \quad (1)$$

где  $W_k$  и  $S_{kc}$  – соответственно величины нормальной деформации и размера площадки контакта.

Величину площади сечения  $S_z$  приконтактной области частицы на участке между площадкой контакта  $S_z$  рассматриваемый момент деформации  $S_{kc}$  и предельным ее значением  $S_{kc}$  при стопроцентной плотности прессовки можно представить в следующем виде:

$$S_z = a_1 + a_2 \left( \frac{z}{h_n} \right)^n. \quad (2)$$

Форма записи выражения (2) позволяет описать функциональную зависимость величины площади сечения  $S_z$  приконтактной области частицы произвольной конфигурации от координаты «Z» в самом общем случае геометрии этой области, в произвольный момент контактной деформации.

$a_1, a_2$  – постоянные величины, определяемые из граничных условий;

$h_n$  – высота слоя приконтактной области частицы, охваченной пластической деформацией.

Величина  $h_n$  – представляет собой расстояние между площадкой контакта  $S_{kc}$  и ее предельным значением  $S_{kc}$ . Изменяя величину показателя степени  $n$  можно описать

различную форму приконтактной области частицы. Граничные условия для выражения (2) могут быть записаны в следующем виде:

$$S_z|_{z=0} = S_{kc}, S_z|_{z=h_n} = S_{kk}. \quad (3)$$

Из совместного рассмотрения выражения (2) и граничных условий (3), следует, что:

$$a_1 = S_{kc}; a_2 = S_{kk} - S_{kc}. \quad (4)$$

Подставив найденные значения постоянных (4) в выражение (2), получим:

$$S_z = S_{kc} + (S_{kk} - S_{kc}) \left(\frac{z}{h_n}\right)^n. \quad (5)$$

В исходный момент контактной деформации, когда  $S_{kc} = 0$ ,  $h_n = h_{n0}$  выражение (5) принимает следующий вид:

$$S_z = S_{kk} \left(\frac{z}{h_{n0}}\right)^n, \quad (6)$$

где  $h_{n0}$  – начальная высота приконтактной области частицы.

Объем рассматриваемой приконтактной области частицы  $V_n$  может быть определен следующим образом:

$$V_n = \int_0^{h_n} S_z dz = \int_0^{h_n} \left[ S_{kc} + (S_{kk} - S_{kc}) \left(\frac{z}{h_n}\right)^n \right] dz, \quad (7)$$

Интегрируя выражение (7) в указанных пределах, находим:

$$V_n = \frac{S_{kk} + nS_{kc}}{n+1} h_n. \quad (8)$$

Первоначальный объем рассматриваемой приконтактной области частицы  $V_{n0}$  при  $S_{kc} = 0$ ,  $h_n = h_{n0}$  может быть определен при помощи выражения (6):

$$V_{n0} = \int_0^{h_{n0}} S_z dz = S_{kc} \int_0^{h_{n0}} \left(\frac{z}{h_{n0}}\right)^n dz = \frac{S_{kc} h_{n0}}{n+1}. \quad (9)$$

Полагая, что в области активной пластической деформации объем материала частицы в приконтактной области остается постоянным, получим:

$$V_n = V_{n0},$$

$$\frac{S_{kk} + nS_{kc}}{n+1} h_n = \frac{S_{kc} h_{n0}}{n+1}. \quad (10)$$

Условие несжимаемости материала (10) может быть записано в следующем виде:

$$S_{kk}(h_{n0} - h_n) = nS_{kc} h_n, \quad (11)$$

Но разность  $h_{n0} - h_n$  представляет собой величину нормальной контактной деформации  $W_k$

$$W_k = h_{n0} - h_n. \quad (12)$$

Из рассмотрения выражения (12) следует, что

$$h_n = h_{n0} - W_k. \quad (13)$$

С учетом соотношений (12) и (13) выражение (11) может быть записано в следующем виде:

$$S_{kk} W_k = nS_{kc}(h_{n0} - W_k). \quad (14)$$

Запишем далее выражение (14) в следующем виде:

$$\frac{S_{kc}}{S_{kk}} = \frac{W_k}{n(h_{n0} - W_k)}. \quad (15)$$

Рассматривая совместно выражение (15) и выражения (2.69) и (2.70) работы [1], находим:

$$\frac{\alpha_k}{\nu^2} = \frac{W_k}{n(h_{no} - W_k)}, \quad (16)$$

где  $\alpha_k$  – относительное контактное сечение прессовки;

$\nu$  – относительная плотность прессовки в рассматриваемый момент процесса уплотнения.

Из совместного рассмотрения соотношения (1) и выражения (2.74) работы [1], находим:

$$W_k = \frac{\Phi_o \cos \varphi}{2\Phi} a_{cp} \ln \beta_o \nu, \quad (17)$$

где  $\beta_o$  – исходная величина относительного объема прессовки.

Очевидно, что величина  $h_{no}$  – прямо пропорциональна среднестатистическому размеру частиц порошка  $a_{cp}$ :

$$h_{no} = \Phi_3 a_{cp}, \quad (18)$$

где  $\Phi_3$  – коэффициент пропорциональности.

Среднестатистическая величина сближения центров частиц порошка по нормам связана со среднестатистической величиной нормальной контактной деформации соотношением (2.77) работы [1]

$$\delta_{kc} = 2W_k. \quad (19)$$

Рассматривая совместно выражения (17), (18) и (19), получим:

$$\frac{W_k}{h_{no}} = \frac{\delta_{kc}}{2h_{no}} = \frac{\Phi_o \cos \varphi}{2\Phi\Phi_3} \ln \beta_o \nu = a_3 \ln \beta_o \nu, \quad (20)$$

где  $a_3$  – коэффициент пропорциональности.

Подставив соотношение (20) в выражение (16), находим:

$$\frac{\alpha_k}{\nu^2} = \frac{a_3 \ln \beta_o \nu}{n(1 - a_3 \ln \beta_o \nu)}. \quad (21)$$

«Критическое» граничное условие для выражения (21), может быть представлено в следующем виде:

$$\alpha_k |_{\nu=1} = 1. \quad (22)$$

С учетом граничного условия (22) выражение (21) принимает следующий вид:

$$\frac{a_3 \ln \beta_o}{n(1 - a_3 \ln \beta_o)} = 1. \quad (23)$$

Решая равенство (23) относительно величины коэффициента пропорциональности  $a_3$ , получим:

$$a_3 = \frac{n}{(n+1) \ln \beta_o}. \quad (24)$$

Подставив найденное значение  $a_3$  в выражение (21) после ряда преобразований и упрощений, находим:

$$\alpha_k = \nu^2 \frac{\ln \beta_o \nu}{\ln \beta_o \beta^n}. \quad (25)$$

Выражение (25) устанавливает зависимость величины относительного контактного сечения  $\alpha_k$  от относительной плотности прессовки. Определяющей деформационный механизм уплотнения порошкового тела, включающего в себя все три возможные компоненты деформации: упругую, пластическую и структурную или межчастичную. От выражения (2.83) работы [1] выражение (25) отличается наличием показателя

теля степени  $n$ , учитывающего влияние реальной формы приконтактной области частицы порошка.

Выражение (25) устанавливает зависимость величины относительного контактного сечения  $\alpha_k$  от относительной плотности прессовки. Определяющей деформационный механизм уплотнения порошкового тела, включающего в себя все три возможные компоненты деформации: упругую, пластическую и структурную или межчастичную. От выражения (2.83) работы [1] выражение (25) отличается наличием показателя степени  $n$ , учитывающего влияние реальной формы приконтактной области частицы порошка.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Г.М.Жданович. Сопrotивление порошковых материалов. 1999.-с.46. ПК ООО «Беспринт» г. Минск. 2. М.Ю.Бальшин. Научные основы порошковой металлургии и металлургии волокна. 1972. с.63. Металлургия. Москва.

УДК 621.313.04

Аваков С.М.

## ОБНАРУЖЕНИЕ ИЗОЛИРОВАННЫХ ДЕФЕКТОВ ПРИ АВТОМАТИЧЕСКОМ КОНТРОЛЕ ОРИГИНАЛОВ ТОПОЛОГИИ НА ФОТОШАБЛОНАХ

*Государственный научно-производственный концерн  
точного машиностроения «Планар»*

### ВВЕДЕНИЕ

Необходимость точного определения вероятности обнаружения дефектов заданного размера обусловлена двумя причинами. Во первых, необходимо гарантировать определённую вероятность обнаружения дефектов на уровне порога обнаружения установки и, тем самым, подтверждать один из её основных параметров, а, во-вторых, необходимо определять обнаружительную способность для дефектов, имеющих размеры, меньшие порога обнаружения.

Так например, для установки, имеющей порог обнаружения на уровне 0,25 мкм с вероятностью 0,95, необходимо, с одной стороны, подтвердить эту вероятность для дефектов с размерами 0,25 мкм, а, с другой стороны, определить вероятность обнаружения дефектов с меньшими размерами - 0,20 мкм, 0,15 мкм, которые обнаруживаются, соответственно, с меньшей вероятностью. Определение этих вероятностей является важным потому, что при формировании ведомости дефектов, после завершения автоматического контроля, в неё включаются не только дефекты с заданными размерами, но и дефекты с меньшими размерами, которые, как правило, не являются критичными. При этом дефекты с размерами проекций на координатные оси, меньшими размера элемента разложения изображения (пиксела), идентифицируются как дефекты размером один пиксел. Для уточнения этих размеров используется специальный режим повторного сканирования обнаруженных дефектов с высоким интерполяционным разрешением, который позволяет отфильтровывать не критичные дефекты за счёт получения более точных оценок их размеров. Несмотря на то, что повышение обнаружительной способности оборудования является одной из основных задач на пути его совершенствования, в данном случае это пагубно влияет на характеристики системы, т.к. дефекты, меньшие порога обнаружения, считаются ложными и ухудшают параметр системы, связанный с вероятностью обнаружения ложных дефектов. Количество таких дефектов может оказаться существенным на общем фоне ложных дефектов различных типов (рис.1).

Снижение количества ложных дефектов является одной из основных целей при создании оборудования для автоматического контроля оригиналов топологии [1,2], что определяет