

Список использованных источников

1. Прудников Е. Л., Абразивосодержащие электрохимические покрытия, Киев: "Наукова думка", 1985.
2. Вансовская К.М. Металлические покрытия нанесенные химическим способом. Ленинград: "Машиностроение", 1985.

Аннотация

Исследуются особенности осаждения композиционных электрохимических покрытий на основе диэлектрических частиц с Ni-P слоем. Рассмотрено влияние характеристик Ni-P покрытий на повышение эксплуатационных характеристик всего композиционного покрытия.

Summary

Features of sedimentation of composite electrochemical coverings are investigated on the basis of dielectric particles with Ni-P a layer. Influence of characteristics Ni-P of coverings on increase of operational characteristics of all composite covering is considered.

УДК 621.762.4

**МОДЕЛЬ ПЛАСТИФИКАЦИИ ПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЕВ  
ПРЕССОВКИ ПРИ КВАЗИИЗОСТАТИЧЕСКОМ  
ПРЕССОВАНИИ**

**А.Н. Голубев**

*УО «Витебский государственный  
технологический университет»*

Квазиизостатическое прессование пластичными передающими давлением средами, в качестве которых используют твердые предельные углеводороды и подобные им по свойствам материалы, позволяет получать сложные по геометрии изделия при сохранении достаточно высокой равноплотности [1]. Получение прессовки сложной формы, близкой к форме и размерам требуемого изделия, позволяет сократить механическую обработку и приводит к экономии порошковых материалов, что особенно важно в случае прессования из дорогостоящих твердосплавных смесей и других износостойких материалов. Один из главных недостатков способа состоит в том, что в ходе прессования наблюдается проникновение передающей давление среды внутрь порошка изделия, в результате чего снижается плотность и прочность его поверхностных слоев.

Сложность формы порошкового изделия в рамках какого-либо способа определяет тем, насколько велика вероятность возникновения в изделии различных дефектов прессования. Исходя из сказанного выше, наиболее характерными представителями изделий сложной формы для квазиизостатического прессования являются тонкостенные изделия.

Действительно, из-за того, что передающая среда проникает вглубь порошка при прикладывании к последнему усилия прессования, существует некоторая минимальная толщина стенки, которую возможно получить на прессовке без разрушения последней. При уменьшении толщины стенки ниже этой величины прессовка теряет прочность и разрушается из-за слишком низкой концентрации в ней твердой фазы. По этой причине проникновение передающей среды или ее пластификатора снижает технологические возможности квазиизостатического прессования и приводит к усложнению и удорожанию технологического процесса (появляется необходимость в нанесении защитного покрытия на поверхность формы, устраняющего проникновение пластификатора в поверхностные слои прессовки).

Степень проникновения определяется рядом факторов, зависящих от свойств порошка и передающей давление среды. В настоящей статье предложена теоретическая модель пластификации поверхностных слоев прессовки, основанная на представлении о пластификаторе как о линейной вязкой жидкости, перемещающейся под давлением по порам прессовки.

При построении модели пластификации поверхностных слоев прессовки введены следующие допущения:

- рассматривается порошок с преобладанием в его составе сферических частиц одной фракции;
- в начальный момент прессования плотность прессовки равна плотности утраксы порошка, которая определяется максимально плотной укладкой сферических частиц, арочный эффект не учитывается;
- рассматривается равномерная укладка частиц, при которой все поры являются открытыми, т.е. пластификатором заполняется все свободное межчастичное пространство на заданной глубине;
- исследуется пластификация боковых поверхностей цилиндрической прессовки, при этом площадь торцев прессовки не учитывается.

При непрерывном повышении давления  $p$  в соответствии с известными уравнениями прессования относительная плотность прессовки  $\nu$  повышается. Для описания этого процесса удобно использовать уравнение прессования М.Ю. Бальшина

$$\nu = (p / p_{max})^{1/m} \quad (1)$$

где  $p_{max}$  -- условное давление, при котором прессовка достигает 100%-й теоретической плотности ( $\nu=1$ ),  $m$  – показатель прессования, причем обе указанные величины зависят только от свойств прессуемого порошка. Несмотря на то, что уравнение (1) носит универсальный характер и не учитывает особенностей конкретной схемы прессования, оно достаточно точно отражает процесс уплотнения порошка в изостатических и квазиизостатических условиях в широком диапазоне относительных плотностей. Очевидно, что интенсивность пластификации поверхностных слоев прессовки зависит от размера пор, и она тем выше, чем больше этот размер. С повышением относительной плотности  $\nu$  размер пор уменьшается. Таким образом, для описания процесса пластификации необходимо задать зависимость между текущим давлением прессования и размером пор.

Определим коэффициент уплотнения прессовки  $q$  через сближение центров сферических частиц:

$$q = d / d' , \quad (2)$$

где  $d$  – диаметр сферической частицы,  $d'$  – расстояние между центрами уплотненных сферических частиц, причем  $d' < d$  (рис. 1).

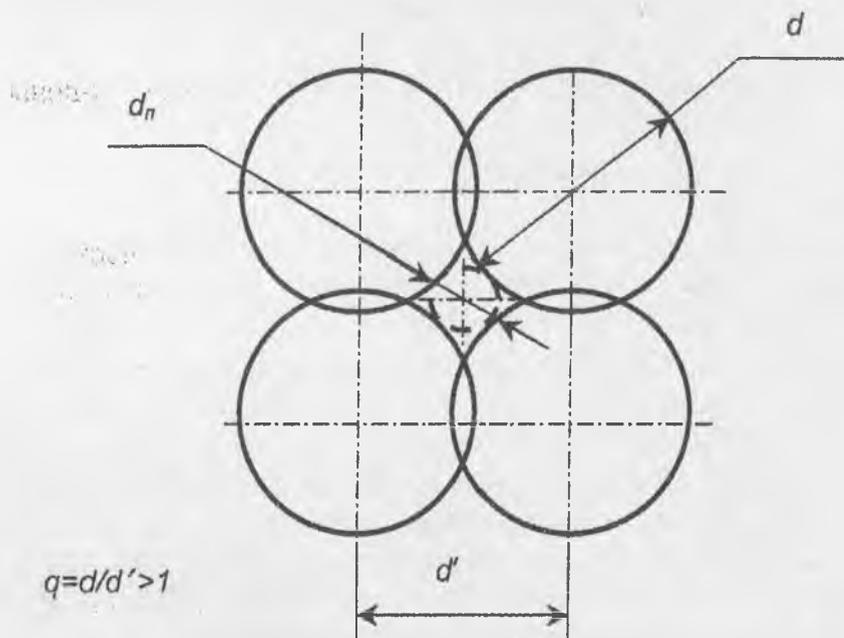


Рисунок 1 - К определению коэффициента уплотнения и диаметра поры

Рассматривая элемент прессовки в форме куба, содержащего в себе 8 частиц, и определяя объемы частиц и объемы пор, нетрудно найти следующую связь коэффициента уплотнения прессовки с ее относительной плотностью:

$$\nu = \frac{1}{12}(9q^2 - 4q^3 - 3). \quad (3)$$

Данная зависимость имеет физический смысл от  $q_0 = 1$  (при этом  $\nu_0 \approx 0,524$ ) до момента закрытия поры, когда  $q = \sqrt{2} \approx 1,41$  (при этом  $\nu \approx 0,965$ ).

С целью упрощения дальнейших выкладок целесообразно аппроксимировать выражение (3) степенной функцией вида

$$\nu = (Aq)^B, \quad (4)$$

где  $A$  и  $B$  – коэффициенты. Практическое значение имеет диапазон изменения относительной плотности  $\nu$  от 0,5 до 0,85. Аппроксимация методом наименьших квадратов зависимости (3) степенной функцией (4) в указанном диапазоне дает следующие значения коэффициентов:

$$A = 0,71, \quad B = 1,64. \quad (5)$$

Вычисления показывают, что расхождение результатов расчета по формулам (3) и (4) при подстановке коэффициентов  $A$  и  $B$  из (5) составляет не более 3%. Для железного порошка ПЖ2М3 в начальный момент прессования  $\nu = 0,45$ , в конце прессования  $\nu = 0,80$ . Этим значениям соответствуют  $q = 0,95$  и  $q = 1,21$ , при этом коэффициент линейной усадки составляет  $1,21/0,95 = 1,27$ , что хорошо согласуется с экспериментальными данными прессования железного порошка (наблюдаемая усадка составляет для данного случая в среднем 1,25).

Приравняем зависимость (4) и уравнение прессования (1):

$$(Aq)^B = \left( \frac{p}{p_{max}} \right)^{\frac{1}{m}} \quad (6)$$

Преобразуем выражение (6) к виду

$$q = \frac{1}{A} \left( \frac{1}{p_{max}} \right)^{\frac{1}{mB}} p^{\frac{1}{mB}} \quad (7)$$

и введем обозначения:

$$a = \frac{1}{A} \left( \frac{1}{p_{max}} \right)^{\frac{1}{mB}}, \quad b = \frac{1}{mB} \quad (8)$$

Диаметр поры связан с диаметром частицы соотношением

$$d_n = d \left( \frac{2}{q} - 1 \right),$$

или, учитывая (7) и (8),

$$d_n = d \left( \frac{2}{ap} - 1 \right). \quad (9)$$

Данная зависимость связывает средний диаметр поры прессовки с текущим давлением прессования и физико-механическими свойствами порошка. Далее необходимо сформулировать условие, при котором наблюдается течение пластификатора по порам прессовки. Течение пластификаторов, входящих в состав передающих сред, таких, как парафины, стеарины и им подобные материалы, можно описать моделью линейной вязкой жидкости. В соответствии с данной моделью, для начала движения жидкости по капилляру к ней необходимо приложить некоторое давление  $p_0$ . Задавшись определенным давлением  $p$ , приложенным к передающей среде, из условия  $p = p_0$  можно найти предельное значение длины капилляра  $l$ , выше которой движение жидкости при данном давлении и диаметре капилляра невозможно:

$$l = \frac{d_n p}{4 p_k} \quad (10)$$

где  $p_k$  – условный динамический предел текучести;  $l$  – длина капилляра (поры).

Уравнение (10) описывает связь между давлением прессования и толщиной пластифицированного слоя при условии постоянства диаметра поры. Для более точного определения толщины слоя необходимо учесть ранее найденную зависимость между диаметром поры и давлением прессования. Рассматривая элементарный участок длины поры  $dl$ , с учетом (9) и (10) получаем

$$dl = \frac{d}{4p_k} \left( \frac{\sqrt{2}}{b} - 1 \right) dp. \quad (11)$$

Интегрирование (11) в граничных условиях  $l|_{p=0} = 0$  дает следующую зависимость между толщиной пластифицированного слоя и давлением прессования:

$$l(p) = \frac{d}{4a(b-1)p_k} (a - ab - \sqrt{2}p^{-b}) p, \quad (12)$$

где константы  $a$  и  $b$  определяются по (8).

Таким образом, выведена зависимость, связывающая толщину пластифицированного слоя цилиндрической прессовки с давлением прессования, а также начальными условиями, такими, как физико-механические характеристики порошка изделия и реологические характеристики пластификатора, входящего в состав передающей среды. Полученная зависимость позволяет:

1. Выполнять анализ и оптимизацию начальных условий и режимов квазиизостатического прессования с целью управления глубиной пластифицированного слоя прессовки.
2. Определять при данных начальных условиях и режимах прессования предельную толщину тонкой стенки изделия, которую можно получить без разрушения последнего, исходя из условия полного заполнения всего объема изделия пластификатором.

#### Список использованных источников

1. Голубев А.Н., Клименков С.С., Матвеев К.С. Прессование длинномерных изделий сложной формы из твердосплавных непластифицированных смесей // В сб.: Сборник статей XXXI научно-технической конференции. – Витебск: ВГТУ, 1998, с. 164-166.

#### Аннотация

В статье приводится зависимость толщины пластифицированного слоя прессовки, полученной квазиизостатическим прессованием, от давления прессования, физико-механических характеристик порошка и реологических характеристик передающей среды. Зависимость позволяет оптимизировать режимы способа квазиизостатического прессования.

#### Summary

In this article dependence of thickness of plasticized layer of preforms received by means of quasi-isostatic pressing, from pressure, physicomechanical characteristics of a powder and reological characteristics of the transmitting environment is given. It allows to optimize modes of a way of quasi-isostatic pressing.