

УДК 621.762

Ш. М. Мухаммад, докторант
Азербайджанский Технический Университет, Азербайджан
Тел./Факс: +99412 5391321., E-mail: ariff-1947@mail.ru

ДЕФОРМАЦИОННОЕ УПРОЧНЕНИЕ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОРОШКОВ ПРИ ПРЕССОВАНИИ

В статье приведены результаты исследований уплотняемости и деформационного упрочнения металлических порошков и их смесей при прессовании. Исследованы порошки восстановленного железа. Проведено исследование уплотнения порошков и их смесей и установлена взаимосвязь средней квадратичной деформации матрицы и сдвигового напряжения текучести матрицы при холодном прессовании.

Ключевые слова: деформация, уплотнение, порошок, напряжение, сдвиг, матрица, прессование

Введение. Для получения полной информации об уплотнении порошкового тела и упрочнении материала его частиц необходима непрерывная запись кривой уплотнения. Такая запись может быть реализована с помощью машин для механических испытаний материалов. Поэтому нами исследовано уплотнение порошка железа восстановленного в цилиндрических пресс-формах с непрерывной записью усилия прессования и изменения высоты порошкового брикета в машине для механических испытаний материалов.

Материалы и методики исследований. Для исследования были взяты порошки восстановленного железа (табл.1).

Для исследования использовали две пресс-формы, диаметры которых были измерены с точностью 10^{-3} мм и составляли 11,3 мм (неразборная) и 15,0 мм (разборная триклинная). Условия прессования соответствовали стандартной методике определения уплотняемости. Стенки пресс-формы, контактирующие с порошком, смазывали взвесью стеариновоокислого цинка в ацетоне (100 г на 800 мл). Применяли предварительную подпрессовку до давления 50 МПа, а затем двухстороннее прессование. Скорость перемещения траверсы универсальной машины для механических испытаний составляла 2,5 мм/мин. Запись силы F_4 пройденного траверсой пути x производилось на диаграммную бумагу. После сканирования полученные диаграммы с помощью компьютерной программы «Win Dig» переводили в массив числовых данных для последующих расчетов.

В качестве примера на рис.1 показана диаграмма нагружения-загружения машины с пресс-формой, заполненной порошком железа. Кривая 1 соответствует нагружению, кривая 2-загружению системы машина - деформируемое тело. Пройденной траверсой путь, соответствующий кривой 1, включает необратимое изменение высоты порошкового тела в пресс-форме и упругое сжатие рабочих органов машины и деформируемого тела. Кривая разгрузки 2 соответствует снижению упругого сжатия рабочих органов машины и порошкового тела. Потому необратимое сжатие порошкового тела соответствует кривой 3, полученной путем вычета кривой 2 из кривой 1. Кривые 2 для различных порошков очень мало отличаются друг от друга и также мало отличаются от кривой разгрузки машины с пресс-формой без порошка. Тем самым подтверждается, что определяющий вклад в упругое сжатие всей системы вносит упругое сжатие рабочих органов машин. А наибольшее различие между кривыми 2 для разных порошков

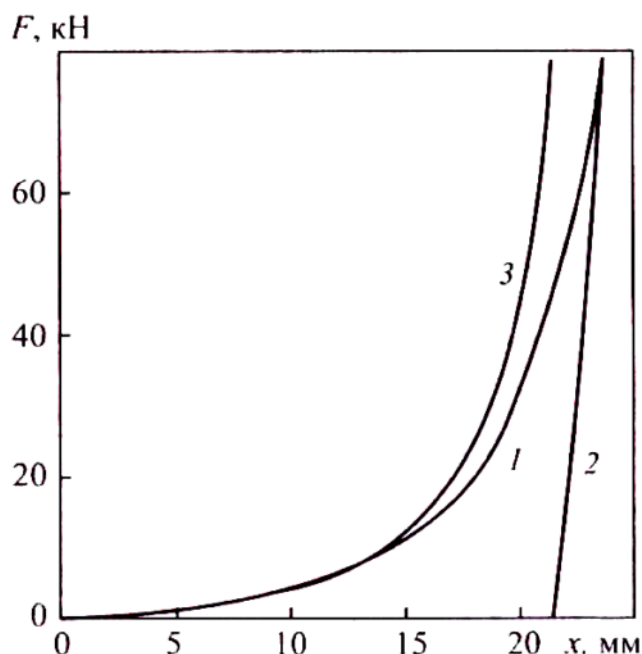


Рис. 1. Зависимость силы F от перемещения траверсы машины x при прессовании порошка железа в жесткой матрице диаметром 11,3мм: 1,2 - соответственно нагружение и разгрузку машины с пресс-формой, заполненной порошком; 3-сила, соответствующая необратимому изменению высоты порошкового тела в пресс-форме в процессе прессования

формулы находили объем и конечную относительную плотность порошкового тела в пресс-форме, а затем начальную относительную плотность, которая наряду с начальной высотой этого тела необходима для последующего компьютерного определения массы значений текущей относительной плотности в зависимости от текущих значений давления.

Таблица 1. Состав исходных порошков

Порошок	Пикнометрическая плотность, г/см ³	Относительная насыпная плотность	Относительная плотность утряски	Средней размер частиц, мкм.	содержание O ₂ , %(масс.)
Железо восстановленное	7,85	0,260	0,322	140	0,25

Текущие значения сдвигового напряжения текучести матрицы, образующей порошковое тело, в процессе его уплотнения в цилиндрической пресс-форме рассчитывали по формуле [1].

связано с различием упругих постоянных материалов и, соответственно, упругих жестких образующих из них деформируемых тел.

Исходя из равенства массы порошка и порошкового тела в пресс-форме и после выпрессовки из нее, по данным о конечной плотности и объеме порошкового тела определяли его относительную плотность. Оцененное упругое расширение внутренней полости контейнера пресс-формы под действием бокового давления при прессовании составляло величину, не превышающую ошибки измерения. Поэтому величину упругого радиального последствия определяли как отношение разности диаметров выпрессованной из пресс-формы заготовки и самой пресс-формы к ее диаметру. Эта величина была необходима для оценки высоты порошкового тела в пресс-форме, поскольку ее измерение не представлялось возможным. По этим данным с использованием общеизвестных

$$\tau_s = P \sqrt{\frac{2(1 - \rho^{2/\rho})}{\rho^{2.5/\rho} (2 - \rho^{2/\rho})}}, \quad (1)$$

где P -осевое давление, ρ – относительная плотность. Текущие значения средней квадратичной деформации матрицы пористого тела в процессе прессования в той же пресс-форме вычисляли по формуле [1]:

$$\langle \varepsilon_m \rangle = \int_{\rho_0}^{\rho} \rho^{(2,5-4\rho)/2\rho} \left[\frac{2 - \rho^{2/\rho}}{2(1 - \rho^{2/\rho})} \right]^{1/2} dS. \quad (2)$$

Для расчетов использовали тот же пакет программ, что и в работе [1].

Анализ деформационного упрочнения матрицы порошкового тела. Результаты измерения параметров прессовок и их прочности при осевом сжатии приведены в табл.3. Для железного порошка наблюдается, что когда относительная плотность прессовки при минимальном измеренном давлении несколько ниже плотности утряски исходного порошка. Для этого порошка она составляет – 5%, то есть чем меньше относительная насыпная плотность порошка, тем больше эта разница. Это связано со случайной упаковки частиц, зависящей от их формы, шероховатости и статического распределения частиц по размерам [2].

Поле извлечения прессовки из пресс-формы ее диаметр увеличился на 0,407%. Аналогичная картина наблюдается и с плотностью прессовок. Согласно расчетом плотности прессовок порошков Fe, она увеличилась на 1,2%. На упругое последствие прессовки влияет конструкция пресс-формы. При выпрессовки из неразборной пресс-формы наблюдается явление, аналогичное калиброванного, что уменьшает величину упругого последствия. При использовании разборной пресс-формы явление калибрования отсутствует, что обуславливает повышенную величину упругого последствия. Влияние газа, зажатого в порах прессовки [3] в этом случае играет второстепенную роль.

Уплотнение восстановленного железного порошка происходит более интенсивно (рис.2). При низких давлениях темп уплотнения железного порошка сильно изменяется, что связано с внутричастичной пористостью его частиц [4]. В то же время с ростом давления прессования до 800МПа кривая уплотнения имеет пологий вид.

Зависимость сдвигового напряжения текучести матрицы пористого тела τ_s , от ее средней квадратичной сдвиговой деформации $\langle \varepsilon_m \rangle$ носит немонотонной характер (рис.2, б). Для порошкового железа при средней квадратичной деформации матрицы $\langle \varepsilon_m \rangle$, превышающей 0,5, наблюдается тенденция к понижению сдвигового напряжения текучести матрицы τ_s . В отличие от уплотнения смесей порошки пластичных металлов для уплотнения порошка железа характерно слабое деформационное упрочнение.

Из приведенного графика (рис.2, б) зависимости сдвигового напряжения текучести матрицы от ее средней квадратичной деформации виден зуб текучести.

Полученные результаты позволяют заключить, что характер уплотнения и достижение конечной плотности прессовок определяется величинами сдвигового напряжения текучести матрицы, образующей порошковое тело, и его повышением в процессе уплотнения под внешним давлением вследствие деформационного упрочнения матрицы.

Таблиця 2. Параметри пресовок и результаты измерения их прочности на осевое сжатие

Порошок (смесь), %(мас.)	Плотность, г/см ²	Давление пресования, МПа	Характеристики пресовки		
			Высота, мм	Диаметр, мм	Масса, г
Железо	7,86	900	11,08	11,35	7,8
Порошок (смесь), %(мас.)	Конечная относительная плотность в пресс-форме	Относительная плотность пресовки	Отношение плотности в пресс-форме к плотности пресовки	Прочность пресовки при осевом сжатии, МПа	
Железо	0,895	0,885	1,012	693	

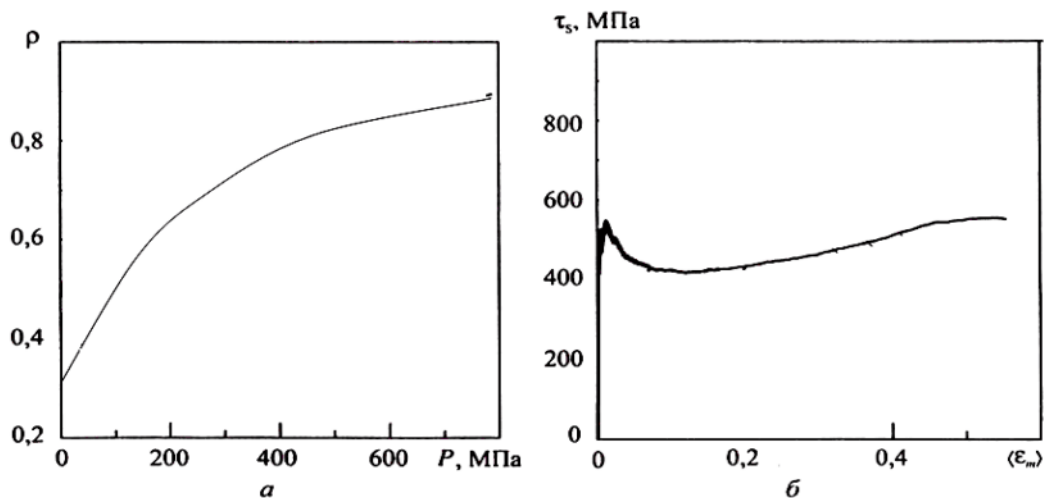


Рис. 2. Относительная плотность ρ железного порошка (а) а также соответствующие зависимости сдвигового напряжения текучести матрицы τ , от ее средней квадратичной деформации $\langle \varepsilon_m \rangle$ (б)

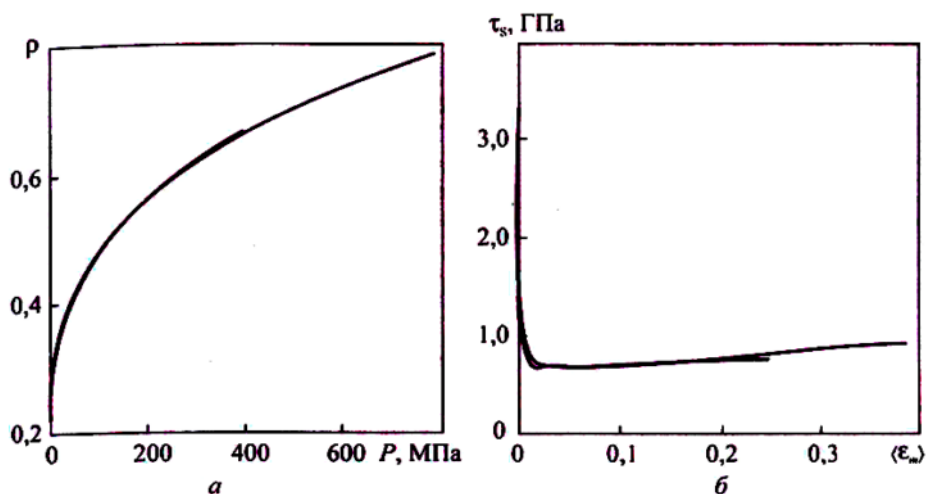


Рис. 3. Зависимости относительной плотности ρ восстановленного порошка железа от давления пресования P в пресс-формах диаметром 11,3 (длинная кривая) и 15,0мм (короткая кривая) (а), а также соответствующие им зависимости сдвигового напряжения текучести матрицы τ_s от ее средней квадратичной деформации $\langle \varepsilon_m \rangle$ (б)

Однако следует заметить, что сдвиговое напряжение текучести матрицы можно регулировать введением в состав шихты скользящих компонентов, которые могут играть и существенную роль при формировании структуры спеченного материала.

Заключення

1. Проведено исследование уплотнения порошков железа, в условиях прессования в цилиндрической пресс-форме с непрерывной записью изменения высоты порошковой заготовки в машине для механических испытаний материалов.

2. Установлена взаимосвязь средней квадратичной деформации матрицы $\langle \varepsilon_m \rangle$ и сдвигового напряжения текучести матрицы τ_s при холодном прессовании порошков железа. Показано, что в отличие от уплотнения смесей порошков пластичных металлов для уплотнения порошка железа характерно слабое деформационное упрочнение.

Список литературы:

1. Ковалченко М.С. Деформационное упрочнение порошкового тела при прессовании / М.С. Ковалченко // Порошковая металлургия. – 2009. - №3/4. - С. 13-27.

2. German R/M/ Particle Packing Characteristics. - Princeton: Metal Powder Industries Federation, 1989. – 443 p.

3. Мамедов А.Т. Разработка технологий прессования изделий повышенной плотности с применением методов дренажирования газов. 1. Математический анализ дренажирования газов из пресс-формы и их внутривпорового давления в прессовках / А.Т. Мамедов // Порошковая металлургия. – 1994. - №5/6. - С. 34-39.

Надійшла до редакції 05.12.2012 .

Ш. М. Мухаммад ДЕФОРМАЦІЙНЕ ЗМІЦНЕННЯ МЕТАЛЕВИХ ПОРОШКІВ ПРИ ПРЕСУВАННІ

У статті приведені результати досліджень ущільнюваності та деформаційного зміцнення металевих порошків і їх сумішей при пресуванні. Досліджені порошки відновленого заліза. Проведено дослідження ущільнення порошків і їх сумішей і встановлений взаємозв'язок середньої квадратичної деформації матриці і зсувної напруги текучості матриці при холодному пресуванні.

Ключові слова: деформація, ущільнення порошку, напруга, зсуву матриці стиснення

Sh.M.Muhammad STRAIN HARDENING OF METAL POWDERS FOR PRESSING

This paper presents the results of research and compactibility hardening of metal powders and their mixtures when pressed. Reduced iron powders are investigated. We studied powder densification and the interrelation of the mean square deformation of the matrix and shear yield stress of the matrix during cold pressing.

Key words: deformation, compaction, powder, tension, shear, matrix compression.