

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕЛИЧИНЫ УСАДКИ ПРИ СПЕКАНИИ ПОРИСТЫХ МЕТАЛЛОКЕРАМИЧЕСКИХ ТЕЛ

Е.А.Дорожкевич, Г.М.Жданович, О.В.Роман

Процесс спекания пористых металлокерамических тел, как правило, сопровождается усадкой, т.е. уменьшением линейных и объемных размеров. Знание указанных величин весьма важно при расчете размеров формообразующих деталей прессформ с целью получения более точных изделий.

Как показали результаты исследований, опубликованных в работах /1,2/, величина и скорость усадки (рис.1) изменяются в зависимости от температуры, времени спекания, субструктуры материала брикетов и т.д.

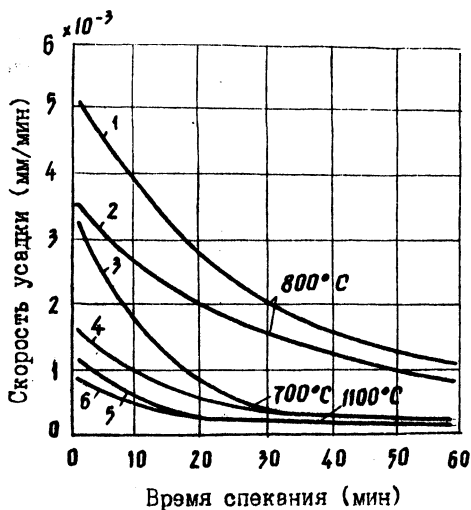


Рис. 1.

Изменение скорости усадки в зависимости от времени выдержки: кривые 1,3,5 соответствуют образцам из карбонильного железного порошка, спрессованным при скоростном нагружении; 2,4,6 — образцам, спрессованным на прессе.

Из рис. I видно, что приведенное семейство кривых удовлетворительно описывается политропическим уравнением вида

$$U_u = \frac{dU}{d\tau} = \frac{A}{(1+B\tau)^m}, \quad (1)$$

где  $U_k$  - скорость усадки в момент времени  $\tau$ ,  $\text{мин}^{-1}$ ;  
 $\tau$  - время изотермической выдержки,  $\text{мин}$ ;  
 $U$  - усадка в момент времени  $\tau$ ;  
 $A, B, m$  - некоторые постоянные.

В начальный момент изотермической выдержки, т.е. при  $\tau=0, U_k=U_0$ , значение  $A=U_0$ .

Подставив вместо  $A$  его значение, равенство (1) запишем в следующем виде:

$$dU = \frac{U_0 d\tau}{(1+B\tau)^m}. \quad (2)$$

Проинтегрировав выражение (2), получим

$$U = -\frac{U_0}{(m-1)B} \cdot \frac{1}{(1+B\tau)^{m-1}} + C. \quad (3)$$

При быстром нагреве до заданной температуры опекания (в наших экспериментах время нагрева не превышало 2-3 мин) усадка брикетов в начальный момент изотермической выдержки практически отсутствовала, т.е. при  $\tau=0, U=0$ .

Подставив краевое условие (4) в выражение (3), находим значение постоянной интегрирования:

$$C = \frac{U_0}{(m-1)B}. \quad (5)$$

Подставив значение постоянной интегрирования (5) в выражение (3), получим

$$U = -\frac{U_0}{(m-1)B} \cdot \frac{1}{(1+B\tau)^{m-1}} + \frac{U_0}{(m-1)B}, \quad (6)$$

или 
$$U = \frac{U_0}{(m-1)B} \left[ 1 - \frac{1}{(1+B\tau)^{m-1}} \right]. \quad (7)$$

Краевое условие нашей задачи имеет следующий вид. При  $\tau=\infty$

$$U = U_n, \quad (8)$$

где  $U_n$  - критическая величина усадки, соответствующая усадке образца по достижению стопроцентной плотности, которая, согласно выражению (7), равна:

$$(9)$$

Подставив в выражение (7) условие (8), получим:

$$U = U_K [1 - (1 + B\tau)^{-m}] \quad (10)$$

Вычисленные на основании экспериментальных данных значения  $B$  и  $m$  приведены в таблице I.

Т а б л и ц а I  
Значения коэффициентов  $B$  и  $m$  для исследуемых порошков, спрессованных на испытательной машине и скоростной установке и слеченных в атмосфере аргона при различных температурах

Материал	Метод прессования	Температура спекания $T, ^\circ\text{K}$	$B$	$m$
Карбонильный порошок В-3	Статический	1073	0,03	1,48
	Динамический	1073	0,035	1,48
ПЖМ довосстановленный	Статический	1373	0,008	2
	Динамический	1373	0,014	2
ПЖМ в состоянии поставки	Статический	1373	0,03	2
	Динамический	1373	0,06	2

Значения  $B$  и  $m$  вычислялись по кинетическим кривым усадки  $U/U_0$ . Для двух близлежащих значений  $\tau$  составлялась система уравнений вида

$$\begin{aligned} U_1 &= U_K [1 - (1 + B\tau_1)^{-m}] \\ U_2 &= U_K [1 - (1 + B\tau_2)^{-m}] \end{aligned} \quad (11)$$

Затем путем несложных математических преобразований указанные уравнения приводились к виду

$$\lg \left( \frac{U_1 - U_K}{U_K} \right) = (1 - m) \lg(1 + B\tau_1), \quad (12)$$

$$\lg \left( \frac{U_2 - U_K}{U_K} \right) = (1 - m) \lg(1 + B\tau_2).$$

Разделив первое уравнение на второе и прологарифмировав частное, получим

$$(1 - B\tau_2)^{-d} = (1 - B\tau_1), \quad (13)$$

где

$$d = \frac{\lg \left( \frac{U_1 - U_K}{U_K} \right)}{\lg \left( \frac{U_2 - U_K}{U_K} \right)}.$$

Разложив левую часть уравнения (13) в биномиальный ряд, находим с достаточной степенью точности значение  $B$  и, подставив

последнее в одно из уравнений (12), определяем  $m$ .

Выражение (10) хорошо описывает процесс усадки при изотермическом спекании железных порошков в атмосфере аргона. Различия данных относительной усадки, рассчитанных по формуле (10) и полученных экспериментальным путем, для отдельных образцов не превышало 10-13%, а для остальных не более 2-5%. При этом максимальная разность указанных величин составляла 0,001+0,0015 (0,1+0,15%).

Как видно из таблицы I, значение коэффициента  $B$ , имеющего размерности скорости усадки ( $\text{мин}^{-1}$ ), зависит от физико-химических свойств порошков. Наклеп поверхностного слоя частиц, их окисленность, а также дефектность кристаллической структуры увеличивает значение  $B$ . Необходимо отметить некоторое непостоянство значения  $B$  в интервале исследуемых изотермических выдержек. Указанный коэффициент имеет тенденцию к повышению на начальной стадии спекания (5-30 мин) для всех исследуемых порошков. Коэффициент  $m$  изменяется с изменением температуры: повышение температуры спекания влечет за собой и увеличение значения  $m$ .

Предложенная формула (10) позволяет с достаточной для практики точностью заранее рассчитать усадку брикетов при спекании при наличии данных  $m$  и  $B$ , которые могут быть предварительно экспериментально определены для различных порошков и различных режимов спекания.

Величина  $U_k$  легко определяется, если использовать известное соотношение между относительными объемной и линейной усадками:

$$\frac{\Delta V}{V} \sim 3 \frac{\Delta L}{L}$$

#### Л и т е р а т у р а

1. Роман О.В., Дорошкевич Е.А. Спекание металлокерамических изделий, спрессованных импульсными нагрузками. "Порошковая металлургия", № 6, 1966.

2. Роман О.В., Дорошкевич Е.А. Исследование спекания брикетов из карбонильного железа, спрессованных импульсными нагрузками. Труды II Международной конференции по порошковой металлургии, СССР, 1966 г.