ISSN 0002-306X. Изв. НАН РА и ГИУА. Сер. ТН. 2000. Т. LIII, № 3.

УДК 621.7/9.002:519.24; 621.762 МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

Ш.Г. ТУМАСЯН, А.А. АЛАЯН, А.Н. КАЗАРЯН, В.Л. КАСЬЯН

МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И МИКРОСТРУКТУРА ЭКСТРУДИРОВАННОГО ЖЕЛЕЗА

Обосновывается целесообразность получения металлокерамических материалов путем горячей экструзии. Сущность технологии заключается в следующем: из шихты порошков железа и графита изготовляют заготовки, затем их нагревают и подвергают горячей экструзии. Структура экструдированных образцов более мелкозернистая, а механические свойства достаточно высокие.

Ключевые слова: структура, свойство, графит, железо.

Одной из первостепенных задач в порошковой металлургии является получение материалов и изделий из них с беспористой структурой. Надо отметить, что пористость резко снижает механические свойства материала, особенно ударную вязкость, а также вызывает ускоренную коррозию. Поэтому детали машин со структурной пористостью неработоспособны в условиях тяжелого нагружения. Кроме того, они не обладают достаточной надежностью, что сдерживает их применение в ответственных конструкциях, особенно в транспортной технике.

К способам компактирования порошковых материалов, обеспечивающих получение беспористых (бездефектных) структур, относятся: статическое горячее прессование, динамическое горячее прессование (горячая штамповка), газостатическое прессование и др. Среди них особое место занимает горячая экструзия, которая позволяет получать длинномерные изделия практически любого профиля (сплошного или полого сечения) [3-7].

Целью настоящей работы является изучение процессов формирования структуры и свойств порошковых материалов на железной основе при горячей экструзии.

Для исследования процессов экструзии была принята технологическая схема, включающая предварительное формование заготовок, нагрев и экструзию. Исследуемыми факторами являлись продолжительность нагрева (τ = 30…90 *мин*), коэффициент вытяжки (λ = 2…6), исходная пористость (θ = 10…30 %). В качестве материала был использован железный порошок марки ПЖРЗ (ТУ 14-1-3882-85) крупностью-160 *мкм*. Железный порошок смешивали с графитом (0,2 %) и прессовали в заготовки, которые затем нагревали при температуре 1150 ± 20°С в среде водорода и подвергали экструзии на прессе типа П474А.

По результатам предварительных экспериментов была принята математическая модель планирования эксперимента, которая позволяет избежать полного перебора состояний объекта и тем самым уменьшить количество опытов, необходимых для отыскания оптимума [2]:

$$\sigma_в = c\theta^x\lambda^y\tau^z, \qquad (1)$$

где $\sigma_в$ - предел прочности на разрыв, *МПа*; c, x, y, z - неизвестные параметры.

Прологарифмировав уравнение (1), получим

$$Ln\sigma_в = Lnc + xLn\theta + yLn\lambda + zLn\tau. \qquad (2)$$

Выражение (2) можно записать в следующем виде:

$$k = в_0 + в_1X_1 + в_2X_2 + в_3X_3, \qquad (3)$$

где k - изменение предела прочности в логарифмическом масштабе; $в_0$, $в_1$, $в_2$, $в_3$ – коэффициенты, подлежащие определению; X_1, X_2, X_3 - соответственно логарифмы θ, λ, τ.

Для решения уравнения (3) использован полный факторный эксперимент (ПФЭ) типа 2^3. В табл. 1 приведены матрица планирования эксперимента и средние значения прочности на разрыв, а в табл. 2 – прочностные свойства образцов.

Таблица 1

План эксперимента 2^3 и средние значения прочности на разрыв экструдированных образцов

Номер опыта	Порядок реализации опытов	Кодовый масштаб			Логарифмический масштаб			Средние значения	$k_{ср}$
		X_1	X_2	X_3	X_1, Ln θ (θ, %)	X_2, Ln λ (λ)	X_3, Ln τ (τ, *мин*)	$\sigma_{вср}$, *МПа*	($Ln\sigma_{вср}$)
1	1;16	-	-	-	2,3 (10)	3,4 (30)	0,69 (2)	220,0	5,39
2	2;15	+	-	-	3,4 (30)	3,4 (30)	0,69 (2)	232,5	5,45
3	3;14	-	+	-	2,3 (10)	3,4 (30)	1,79 (6)	367,5	5,91
4	4;13	+	+	-	3,4 (30)	3,4 (30)	1,79 (6)	416,5	6,03
5	5;12	-	-	+	2,3 (10)	4,5 (90)	0,69 (2)	265,0	5,58
6	6;11	+	-	+	3,4 (30)	4,5 (90)	0,69 (2)	287,5	5,66
7	7;10	-	+	+	2,3 (10)	4,5 (90)	1,79 (6)	442,5	6,09
8	8; 9	+	+	+	3,4 (30)	4,5 (90)	1,79 (6)	445,0	6,10

С помощью ЭВМ по данным табл. 1 определены неизвестные параметры модели (1):

$$\sigma_в = e^{в_0}X_1^{в_1}X_2^{в_2}X_3^{в_3},$$
$$\sigma_в = e^{4,598}\theta^{0,083}\lambda^{0,477}\tau^{0,088}, \qquad (4)$$
$$\sigma_в = 99,25\theta^{0,083}\lambda^{0,477}\tau^{0,088}.$$

В целях уменьшения ошибки каждый эксперимент матрицы планирования повторяли дважды. Построение дисперсии по результатам двух экспериментов в каждой точке факторного пространства определяли по формуле

$$S_r^2 = \sum_{i=1}^{r}(Y_i - Y_{ср})^2/(r-1),$$

где Y_i , $Y_{ср}$ - значение предела прочности материала в каждом из двух опытов и средний предел прочности по результатам двух опытов соответственно; r - количество повторных опытов в каждой точке плана эксперимента [2].

Таблица 2

Прочностные свойства экструдированных образцов

Номер опыта	Порядок реализации опытов	Предел прочности $\sigma_в$, *МПа*	Относительное удлинение δ, %	Относительное сужение ψ, %
1	1	230	13,3	3,96
3	3	360	36,7	61,56
	14	375	35,0	61,56
4	4	425	35,0	64,00
	13	408	40,0	59,98
5	5	270	33,3	62,52
	12	260	36,0	64,00
6	6	300	33,3	58,91
	11	275	35,4	60,94
7	7	450	30,0	64,00
	10	435	38,3	68,64
8	8	470	33,3	66,36
	9	420	36,7	67,67

Усредненная дисперсия параметра оптимизации (предел прочности материала после экструзии) $S_{(y)}^2$ есть среднее арифметическое из дисперсий всех различных вариантов опытов (N = 8). Следовательно, дисперсия параметра оптимизации $S_{(y)}^2$ определяется по формуле

$$S_{(y)}^2 = \frac{\sum_{j=1}^{r} S_r^2}{N} = \frac{\sum_{j=1}^{N}\sum_{i=1}^{r}(Y_i - Y_{ср})^2}{N(r-1)}.$$

Все указанные параметры, найденные при определении неизвестных параметров модели (1), приведены в табл. 3.

Из табл. 3 имеем $\sum_{j=1}^{N} S_r^2 = 349{,}31$.

При равном числе дублирующих опытов (r = 2) дисперсия адекватности определяется по формуле

$$S_{ад}^{\ 2} = r\sum_{j=1}^{N}(Y_{ср} - Y_{теор})^2 \Big/ (N-m),$$

где m - число членов аппроксимируемого полинома (включая свободный член).

Таблица 3

Значения параметров эксперимента

№	Y_1, *МПа*	Y_2, *МПа*	$Y_{ср}$, *МПа*	S_r^2	$Y_{теор}$, *МПа*	$(Y_{ср} - Y_{теор})^2$
1	230	210	220,0	200,0	225,73	32,83
2	250	215	232,5	612,5	247,20	216,09
3	360	375	367,5	112,5	381,27	189,61
4	425	408	416,5	144,5	417,55	1,10
5	270	260	265,0	50,0	248,73	264,71
6	300	275	287,5	312,5	272,39	228,31
7	450	435	442,5	112,5	420,13	500,42
8	470	420	445,0	1250,0	460,10	228,01

В нашем случае из табл. 3 имеем

$$\sum_{j=1}^{N}(Y_{ñð} - Y_{òåîð})^2 = 830{,}54.$$

Проверка производится с помощью различных статистических критериев. Простейшим из них является критерий Фишера (F - критерий), предназначенный для сравнения двух дисперсий. Критерий Фишера представляет собой отношение большей дисперсии к меньшей. Полученная величина сравнивается с табличной величиной F - критерия.

Так как $S_{ад}^2 > S_y^2$, то адекватность полученной модели проверяли с использованием критерия Фишера: $F = S_{ад}^2 / S_y^2 = 2{,}38$.

Табличное значение определяется для уровня значимости 0,05 при $f_{ад} = N - m = 4$ и $f_E = N (r - 1) = 8$ [1]. Степень свободы $F_{кр} = 3{,}84$. Так как $F_{кр} > F$, то полученное уравнение (4) адекватно. Поэтому с помощью (4) мы можем построить графики предела прочности от исходной пористости, коэффициента вытяжки и продолжительности нагрева (рис. 1 - 3).

Результаты микроструктурного анализа экструдированных образцов из железа представлены в табл. 4.

Таблица 4

Экспериментальные данные микроструктурного анализа железных образцов

Номер образца	Среднее кол-во зерен на 1,0 *мм²*, m =2 (g/100)2 x n250	Средняя площадь зерна *a*, *мм²*, *a* =1/ m	Средний диаметр d_m, *мм*, $d_m = 1/\sqrt{m}$	Номер зерна, G
13	57292	0,000017	0,0042	13
14	47708	0,000021	0,0046	12
9	85208	0,000012	0,0034	13
10	52917	0,000019	0,0044	13
17	60625	0,000017	0,0040	13
5	1087	0,000920	0,0300	7
1	32708	0,000031	0,0056	12

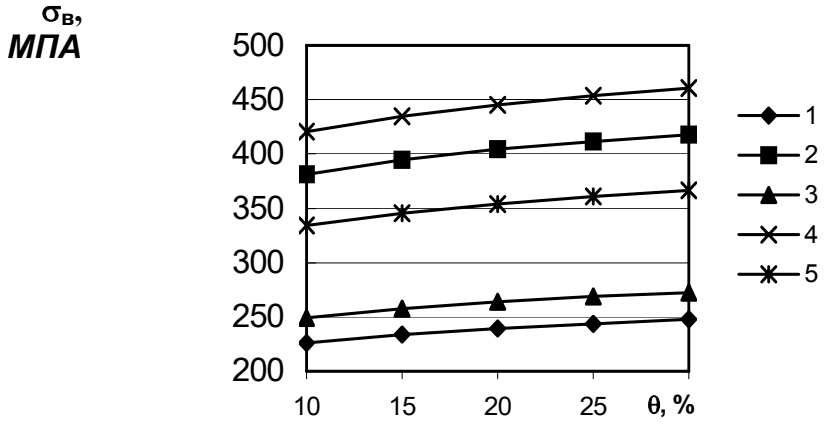

Рис.1. Зависимость предела прочности $\sigma_в$ от исходной пористости образца θ.
1 - $\tau = 30$*мин*, $\lambda = 2$; 2 - $\tau = 30$*мин*, $\lambda = 6$; 3 - $\tau = 90$*мин*, $\lambda = 2$;
4 - $\tau = 90$*мин*, $\lambda = 6$; 5 - $\tau = 60$*мин*, $\lambda = 4$

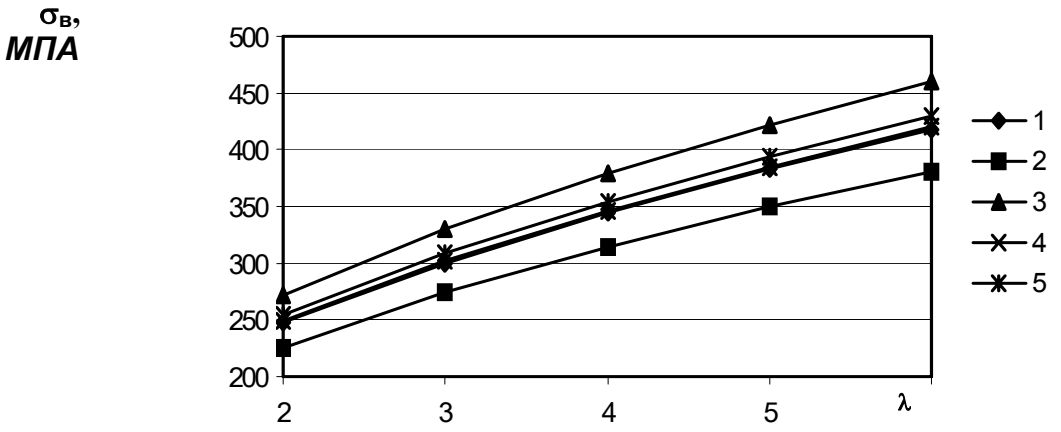

Рис. 2. Зависимость предела прочности $\sigma_в$ от коэффициента вытяжки λ. Рис.
1–τ = 30*мин* , θ = 30%; 2 – τ = 30*мин* , θ = 10%; 3 – τ = 90*мин* , θ = 30%; 4 – τ = 90*мин* , θ = 10% , 5 – τ = 60*мин* , θ = 20%

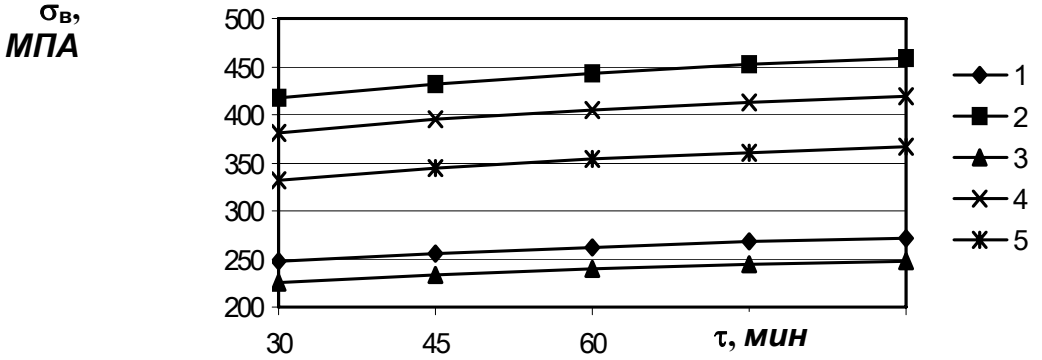

Рис. 3. Зависимость предела прочности $\sigma_в$ от продолжительности нагрева τ.
1 - θ = 30%, λ = 2; 2 - θ = 30%, λ = 6; 3 - θ = 10%, λ = 2; 4 - θ = 10%, λ = 6; 5 - θ = 20%, λ = 4

Анализ результатов экспериментов (рис. 1-3) показал, что при температуре экструзии $T_э$ = 1100…1150 °С и коэффициенте вытяжки $4 \le \lambda_э \le 6$ практически обеспечивается беспористая структура образцов из железного порошка. По полученным данным наблюдается четкая закономерность, а именно, с увеличением исходной пористости образцов (10…30%) механические свойства возрастают (табл. 2). Аналогичное влияние оказывают температура и коэффициент вытяжки, что и следовало ожидать. Что же касается столь неожиданного влияния пористости (θ),то это можно объяснить следующим образом. Дело в том, что железные порошки промышленного производства частично окисленные (~ 0,3% O). Поэтому исходный порошок смешивали с 0,2 % графитом, а нагрев образцов под экструзию производили в среде водорода. Таким образом, комбинированное восстановление ($C + H_2$, $CO + H_2$) позволило полностью удалить кислород из железного порошка, а следовательно, получить достаточно высокие механические свойства, в

том числе и пластичность. Образцы с исходной пористостью 20 и 30% имеют степень раскрытости значительно большую, чем с пористостью 10%, что и предопределило их степень восстановления.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Новик Ф.С., Арсов Я.Б.** Оптимизация процессов технологии металлов методами планирования экспериментов. - М.: Машиностроение; София: Техника,1980. - 304 с.
2. **Адлер Ю.П., Маркова Е.В., Гриновский Ю.В.** Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. - М.: Наука, 1976. - 279 с.
3. **Вязников Н.Ф., Ермаков С.С.** Металлокерамические материалы и изделия. - Л.: Машиностроение, 1966. - 224 с.
4. **Манукян Н.В.** Технология порошковой металлургии. – Ереван: Айастан, 1986. – 232 с.
5. **Устинов В.С., Олесов Ю.Г. и др.** Порошковая металлургия титана. – М.: Металлургия, 1981. - 248 с.
6. **Федорченко И.М., Пугина Л.И., Филатова Н.А., Юрченко А.Г.** Структура металлокерамических материалов на основе железа. – М.: Металлургия, 1968. – 140 с.
7. **Кипарисов С.С., Либенсон Г.А.** Порошковая металлургия. - М.: Металлургия, 1972. – 528 с.

ГИУА. Материал поступил в редакцию 22.09.1999.

Շ.Գ. ԹՈՒՄԱՍՅԱՆ, Ա Ա. ԱԼԱՅԱՆ, Ա.Ն. ՂԱԶԱՐՅԱՆ, Վ.Լ. ԿԱՍՅԱՆ

ԱՐՏԱՄՂՎԱԾ ԵՐԿԱԹԻ ՄԻԿՐՈԿԱՌՈՒՑՎԱԾՔԸ ԵՎ ՄԵԽԱՆԻԿԱԿԱՆ ՀԱՏԿՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԸ

Հիմնավորվում է տաք արտամղմամբ մետաղակերամիկական նյութերի ստացման նպատակահարմարությունը: Երկաթի և գրաֆիտի փոշենյութերի խառնուրդից պատրաստված նախապատրաստվածքները տաքացնում են և ենթարկում տաք արտամղման: Արտամղված նմուշների կառուցվածքն ավելի մանրահատիկ է, իսկ մեխանիկական հատկությունները՝ համեմատաբար բարձր:

SH.G. TUMASSYAN, A.A. ALAYAN, A.N. GHAZARYAN, V.L. KASSYAN

MECHANICAL PROPERTIES AND MICROSTRUCTURE OF EXTRUDED IRON

The expedience of obtaining ceramets by hot extrusion is studied.The essence of technology is that blanks are made of iron and carbon powder mixture, then they are heated and subjected to hot extrusion. The structure of extruded samples is more fine-grained and the mechanical properties are sufficiently high.