

*Абдрасилова Ж.Х., Болатбаева Т.А.*

**РАЗРАБОТКА ПОРОШКОВЫХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ С ПОВЫШЕННЫМИ ДЕМПФИРУЮЩИМИ СВОЙСТВАМИ**

*Zh.Kh. Abdrasilova, T.A. Bolatbaeva*

**DEVELOPMENT OF POWDER METAL MATERIALS HIGH DAMPING PROPERTIES**

УДК: 628.517.2:669 (043)

*Исследованы демпфирующие свойства порошковых металлических материалов.*

*Are investigated демпфирующие properties of powder metal materials.*

Используя основные операции порошковой технологии, можно получать из хорошо уплотняемых, нелегированных порошков железа спеченные детали с остаточной пористостью  $\approx 5\%$ , пределом прочности при растяжении  $\approx 300\text{МН/м}^2$  и удлинением  $\approx 25\%$ . Такие детали пригодны для небольших механических нагрузок и, в частности, для магнитно-мягких материалов, используемых в поле постоянного тока. В таблице 1 представлены некоторые магнитные характеристики спеченного железа, которые можно несколько повысить за счет более продолжительного отжига. По проницаемости и коэрцитивной силе магниты из порошкового железа уступают соответствующим сортам литого технически чистого железа. Все остальные порошковые материалы на основе железа получают в виде сплавов. Для получения таких сплавов обычно применяют три способа легирования, различающиеся некоторыми особенностями.

Согласно первому способу смеси получают из порошков отдельных элементов; сплав образуется либо в процессе восстановительного отжига (до прессования), либо во время спекания; отжиг порошков обеспечивает лучшие свойства материала. По второму способу получают смеси из порошков железа и соответствующих лигатур с дальнейшей их обработкой, как указано выше. Согласно третьему способу применяют полностью легированные порошки железа, к которым в случае необходимости добавляют лишь углерод (обычно графит).

Таблица 2 дает представление о механических свойствах различным образом легированных спеченных материалов. В отношении порошковой стали с прочностью  $\leq 500\text{МН/м}^2$  прежде всего нужно отметить, что медь и никель (часто с добавлением углерода) – предпочтительные легирующие элементы, хотя известно, что некоторые другие элементы значительно сильнее влияют на прокаляемость растворов железа (стали).

Предпочтение, отдаваемое меди и никелю, объясняется легкой восстановимостью их оксидов, что позволяет наиболее просто проводить спекание. Для легированного углеродом порошкового железа важно, используя соответствующий защитный газ, добиться равномерного распределения углерода. В настоящее время большое значение придается

железоуглеродистым сплавам либо из порошков железа и графита, либо из белого чугуна, содержащего  $\approx 3\%$  углерода. В этом случае можно получить надлежащий защитный газ непосредственно в печи для спекания. Кроме того, этот дешевый легирующий элемент можно полностью использовать, применяя спекание порошка под давлением с последующей закалкой.

*Таблица 1.*

**Свойства магнитно-мягкого порошкового железа [157].**

$\rho$ , г/см <sup>3</sup>	$\sigma_b$ , Н/мм <sup>2</sup>	$B_{max}$ , Т (при $H=24\text{ А/см}$ )	$B_r$ , Т	$H_c$ , А/см	$\mu_{max}$
5,8-6,2	106	>0,80	>0,45	<59,0	<700
6,2-6,6	140	>0,90	>0,50	<19,7	<1500
6,9-7,1	162	>1,20	>0,60	<15,8	<2000
7,4-7,6	280	>1,50	>0,75	<9,9	<4000

Пожалуй, наиболее часто получают легированную порошковую сталь, добавляя 1-10 % (по массе) меди к порошку железа. Медь – один из самых важных в порошковой металлургии легирующих элементов – играет в производстве литой стали второстепенную роль. Это выразительно демонстрируют разные цели, преследуемые легированием в обычной и в порошковой металлургии. Наряду с упрочняющим действием меди в процессе спекания происходит увеличение параметров решетки железа соответственно объему протифундировавшей в него меди. Это позволяет компенсировать усадку железа при спекании и изготавливать из порошков, содержащих  $\approx 2\%$  меди, однократным прессованием и спеканием детали весьма точных размеров. Повышенное содержание меди приводит к увеличению объема спеченных тел, достигающего в зависимости от размера частиц порошка железа максимума при 8-10 % Cu. Если температура спекания превысит температуру плавления меди, то при образовании жидкой фазы и последующим выделением железа из меди возникает усадка, конкурирующая с увеличением объема.

*Таблица 2.*

**Легированные порошковые стали, получаемые однократным прессованием и спеканием.**

Содержание легирующих элементов, % (на массе)	$\sigma_b$ , Н/мм <sup>2</sup>	$\delta$ , %	примечание
1	2	3	4
Без термических обработок			
3Cu	324	1	Спекание 1 ч в вакууме при 1300°C
5Ni, 2Cu	441	4.5	
2,5Ni, 2 Mo, 0.85C	647	3	
2 Ni, $\leq 0.5$ Mo, 0.5 C	392-461	2	Легирован-

6 Cr, 4Cu	686	3	ный порошок Электролитическое Присадка Cu-Mn, - - -
2.13Cu, 2.5 Ni, 0.87 Mn,	539	9	
2.25Cu, 0.25 Mo, 0.32 Si,	677	2-2,5	
4Si, 1 Al	504	2,5	
0.9P(в виде лигатуры Fe)	588	7	
0.3P 5,3 Ni (лигатура)	637	5	-
0.9P, 19,6 Cu (лигатура)	559	11	-
0.6P, 4 Cr (лигатура Fe-P)	569	21	-
0.6 P, 12Cr, 10.7 Ni	686	6	Лигатура Ni- P
0.9 P, 12Cr, 11,1 Cu	588	8	Cu- P
2.5Cu, 2.5 Cu <sub>3</sub> P	353	6,5	-
0.4P, 0.3C (спекание 1120°)		5,5	Лигатура Fe-P
<i>С заключительной термической обработкой деталей</i>			
5Ni, 2 Mo 0,02B	1206	1	Спекание в вакууме
5Ni, ≤0,05Mo, 0,5C	735-883	2	Готовый легированный порошок
1Ni, 0,4 Mn, 2,25 Cu,	772	1	-
12Ni, 2 Mo, 2Cu, 1,5 Si	951	0.9	Карбонильное железо
15Ni, 7Co, 5 Mo, 2 Ti	1294	3.8	Спекание в вакууме

Применяя другие добавки, можно повлиять на ход процесса в ту или другую сторону; например, присадка углерода будет способствовать усадке, а присадки никеля и оксида вольфрама – ограничивать растворимость меди в железе и соответственно снижать увеличение объема. Таким путем можно получать порошковые сплавы с повышенной прочностью при удовлетворительном сохранении размеров деталей.

Высоколегированную медью (до 20%) порошковую сталь можно получать инфильтрацией предварительно спеченных каркасов железа или из его порошков, предварительно легированных до нужного содержания меди. Так как каркасы железа можно прессовать до нужных размеров, метод инфильтрации в данном случае позволяет получать порошковые детали высокой точности. Спеченная сталь после инфильтрации медью примерно удваивает свою прочность. После диффузионного отжига и отпуска (дисперсионного твердения) пропитанная порошковая сталь с 15% меди и 1% углерода имеет  $\sigma_b=1250$  МН/м<sup>2</sup> и  $\delta=4\div6\%$ .

Свойства легированной медью порошковой стали можно еще улучшить, добавляя к ней никель. Получаемый при этом прирост прочности превышает суммарный эффект действия каждого из элементов. В таблицах 3, 2 наряду с порошковой сталью, легированной медью и никелем приведен ряд других порошковых сплавов на основе железа, прочность которых превышает 500 МН/м<sup>2</sup>.

Применяя хорошо уплотняемые порошки железа, в случае оптимального соотношения меди и

никеля, можно повысить прочность при растяжении до 750 МН/м<sup>2</sup>, но по сравнению со сталью, легированной лишь никелем (при 5% Ni порошковая сталь характеризуется величиной  $\sigma \geq 16\%$ ), пластичность стали заметно падает; у наиболее прочных тройных спеченных сплавов удлинение при разрыве составляет лишь 4%. Были очень подробно исследованы: поведение при спекании промышленных медных и медноникелевых порошковых сталей, образование ими сплавов, контролировались также усадка и механические свойства этих материалов.

Таблица 3.

Составы легированной порошковой стали на разную прочность.

Легировующие добавки	Количество добавок, % (по массе), для достижения прочности $\sigma_b$		
	500 Н/мм <sup>2</sup>	600 Н/мм <sup>2</sup>	>650 Н/мм <sup>2</sup>
Cu - Ni	3 Cu, 2,5 Ni	3 Cu, 5 Ni	4.5 Cu, 5 Ni
Cu - Cr	6 Cr, 2 Cu	7 Cr, 2 Cu	9Cr, 4 Cu
Cr <sub>3</sub> C <sub>2</sub>	2,5 Cr <sub>3</sub> C <sub>2</sub>	3Cr <sub>3</sub> C <sub>2</sub>	3.5 Cr <sub>3</sub> C <sub>2</sub>
Mn	5 Mn	7 Mn	-
Mn - C	2 Mn, 0,4C	2 Mn, 0,8C	-
Mn- Cr	2 Mn, 3 Cr	2 Mn, 3 Cr	2 Mn, 6 Cr
Mn - Cr - C	2 Mn, 2Cr, 0,2 C	2 Mn, 2Cr, 0,4 C	2 Mn, 2Cr, 0,6 C
Mn - Cu - C	-	2 Mn, 1Cu, 0,8 C	2 Mn, 2Cu, 0,8 C
Лигатура Mn - Cr - Mo	1 Mn - Cr - Mo 0,5C	3Mn - Cr - Mo 0,4C	4Mn - Cr - Mo 0,3C

Названный уровень прочности тройных порошковых сплавов можно еще повысить, но за счет пластичности, если добавить к ним углерод. Это обуславливает применение очень точного по составу защитного газа или спекания в вакууме, что и даёт возможность контролировать содержание углерода, а также исключить неконтролируемую усадку. Порошковые детали из материала на основе железа, содержащего 7% Ni, 2,5% Co и 0,7% C при плотности 7,2% г/см<sup>3</sup>, характеризуются следующими свойствами:  $\sigma_b=640$  МН/м<sup>2</sup> и  $\sigma=3,5\%$  и твердость HRB 90; после закладки прочность возрастает до 1060 МН/м<sup>2</sup>, а твердость составляет HRC 44; удлинение снижается до 1 – 2 %.

Углерод важен при изготовлении прецизионных деталей из прочной, улучшаемой и хорошо прокаливающейся стали, содержащей  $\leq 5\%Ni$  и  $\leq 2\%Mo$ . Оба эти элемента относятся к наиболее эффективным легирующим компонентам, способствующим прокаливаемости. Еще раньше были разработаны (для двукратного прессования) высокопрочные порошковые стали, содержащие  $\sim 7\%Ni$  и 0,8% C, с пределом прочности при растяжении  $\sigma_b=900$  МН/м<sup>2</sup>. Однако усадка этих сталей составила  $\geq 2\%$ , так что для прецизионных деталей они были непригодны. Когда научились управлять усадкой и компенсировать её легированием и калибровкой, никельмолибден углеродным

порошковым сталям нашли промышленное применение.

В принципе подобные материалы можно получать из смесей порошков компонентов или из легированных порошков, получаемых распылением с присадкой к ним графита. Как в спеченном состоянии, так и после закладки и отпуска порошковые стали из легированного 2% Ni, 0,5% Mo и 0,4% C порошка имеют улучшенные свойства; например, при плотности 7,2 г/см<sup>3</sup> предел прочности при растяжении составил 470 МН/м<sup>2</sup>, а после отпуска – 900 МН/м<sup>2</sup>. Более благоприятными оказались также предел текучести и сопротивление знакопеременному изгибу. Удовлетворительного соблюдения размеров деталей можно достигнуть, если учесть упругость заготовок после прессования и частично компенсирующую её усадку при спекании (от – 0,7 до + 0,2%), а также применить калибровку при давлении, соответствующем пределу текучести материала. Отжигом для снятия напряжений и повторным калиброванием (до закладки) можно ещё улучшить соответствие деталей заданным размерам. Возможно также путём шлифования деталей ликвидировать превышение её размеров, возникающее вследствие внутренних напряжений. Выбор того или другого способа определяется соображениями экономии.

Были исследованы химический состав, механические и акустические свойства порошковых металлических материалов, а также состав и свойства конструкционных порошковых материалов после спекания и термической обработки.

Результаты исследования показали, что уровни звука исследованных порошковых металлических материалов изменяются от 91 дБА до 99 дБА. Минимальные значения уровней звука характерны для металлических порошковых материалов (МПМ) марок Т13П (90 дБА), Т14П (91 дБА), Т15П (92 дБА). Максимальные уровни звука наблюдаются у МПМ марок СП-30 (99 дБА), СП-90 (98 дБА). Здесь же приведены прочностные свойства МПМ, которые изменяются от 150 МПа до 191 МПа ( $\sigma_b$ ), ударная вязкость МПМ применяется от 15 Дж/см<sup>2</sup> до 35 Дж/см<sup>2</sup>. Пластические свойства изменяются от 5 до 12% ( $\sigma_s$ ), (2-10)%,  $\psi$ .

Демпфирующие свойства исследованных металлических порошковых материалов (МПМ) колеблются в диапазоне (2,4-28,4)·10<sup>-3</sup>.

Лучшими МПМ можно признать Т13П (91 дБА,  $\sigma_b=150$  МПа,  $\sigma_s=5\%$ ;  $\psi=4\%$ ;  $a_n=20$  Дж/см<sup>2</sup>;  $Q^{-1}=22,5 \cdot 10^{-3}$ ), Т14П (91 дБА,  $\sigma_b=158$  МПа;  $\psi=6\%$ ,  $a_n=15$  Дж/см<sup>2</sup>).

В работе удалось добиться эффективных результатов по созданию демпфирующих материалов за счет изменения плотности формирования металлического порошка.

Заключение: методом формирования получили демпфирующий порошковый материал. Исследованы демпфирующие свойства порошковых металлических материалов.

#### Литература:

1. Бальшин М.Ю., Кипарисов С.С. Основы порошковой металлургии. М.: Металлургия, 1978. – 184 с.

Рецензент: к.т.н. Бейшекеев К.К.