

ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

Т. Н. ЗНАТОВА и В. И. ЛИХТМАН

О ЗАКОНОМЕРНОСТЯХ ПРЕССОВАНИЯ МЕТАЛЛОКЕРАМИЧЕСКОЙ КОМПОЗИЦИИ МЕДЬ — ГРАФИТ

(Представлено академиком П. А. Ребиндером 20 II 1954)

Металлокерамическая композиция медь — графит находит широкое применение в промышленности как антифрикционный и электрощеточный материал. Однако, основные закономерности прессования и спекания таких композиций выяснены еще с недостаточной полнотой. В данной работе приводятся результаты исследований прессуемости указанной композиции, выполненных с электролитическим медным порошком (насыпной вес 1,61—1,65 г/см³) с удельной поверхностью 0,3 м²/г и натуральным тайгинским графитом.

1. Присутствие графита в шихте резко снижает коэффициент трения порошка о стенки прессформы, а также «внутреннее трение» между частицами в процессе прессования. Кроме того легкая деформируемость частиц графита обеспечивает плотную упаковку смеси медь — графит без сколько-нибудь значительной деформации частиц меди даже в области сравнительно высоких давлений прессования. Следовательно, для системы медь — графит в процессе прессования может быть принят простейший дифференциальный закон убыли пористости с ростом давления прессования:

$$-d\Pi = k\Pi dP,$$

где Π — относительная пористость, P — давление прессования.

В интегральной форме закон прессуемости системы медь — графит будет:

$$\ln \Pi = \ln \Pi_0 - kP;$$

здесь Π_0 — пористость, отвечающая $P = 0$. Экспериментально с достаточной степенью точности Π_0 может быть определена как пористость, соответствующая свободной насыпке смеси медь — графит. В табл. 1 приведены значения Π_0 , полученные нами для различных по составу смесей медь — графит.

Если давление прессования P измерять в кг/мм², то расчетная формула для определения пористости принимает вид $\lg \Pi = \lg \Pi_0 - 1,34 \cdot 10^{-2} \cdot P$. Коэффициент $k = 1,34 \cdot 10^{-2}$ оказался практически одинаковым для всех составов исследованных смесей медь — графит.

На рис. 1 А и Б приведены диаграммы прессования композиций медь — графит в обычной и полулогарифмической форме. Как видно из этих графиков, между $\lg \Pi$ и P действительно имеет место линейная зависимость в довольно широком интервале давлений прессова-

Таблица 1

Состав смеси в %		Π_0 , %
С	Си	
5	95	45
10	90	41
15	85	38
25	75	30

ний. Аналогичный результат был получен Конопицким (1) для системы железо — графит.

2. В табл. 2 приведены данные по прочности прессовок композиций медь — графит после прессования при разных давлениях.

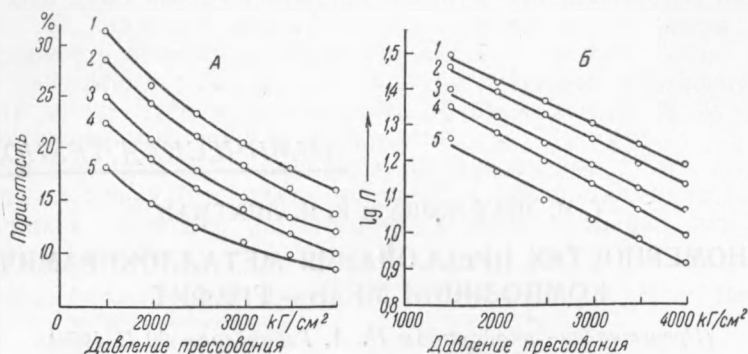


Рис. 1. 1 — 2% С, 98% Си; 2 — 5% С, 95% Си; 3 — 10% С, 90% Си; 4 — 15% С, 85% Си; 5 — 25% С, 75% Си

Существенное значение для прочности прессовок медь — графит имеет дисперсность графита. На рис. 2 представлены значения прочности прессовок для системы 5% С, 95% Си в зависимости от давления прессования при разной дисперсности графита. Здесь был использован тайгинский графит

Таблица 2

Давление прессования, кг/см²	Состав смеси			
	5% С, 95% Си	10% С, 90% Си	15% С, 85% Си	25% С, 75% Си
	Разрушающее напряжение при сжатии в кг/см²			
1500	800	580	350	210
2000	950	620	400	240
2500	1100	650	430	270
3000	1250	700	450	310
3500	1350	740	475	340
4000	1450	780	450	400

Здесь был использован тайгинский графит двух фракций: крупный графит — удельная поверхность 0,5 м²/г, насыпной вес 0,41 г/см³; мелкий графит — удельная поверхность 1,5 м²/г, насыпной вес 1,34 г/см³. Из рис. 2 следует, что при прессовании медно-графитовых композиций прочность прессовок определяется не абсолютными значениями размеров частиц графита и меди, а их относительными разме-

рами. Частицы графита, более мелкие чем медь (что имело место для использованного нами мелкого графита), заполняют промежутки между частицами меди и не оказывают вредного, разъединяющего влияния на прочность прессовок. Впервые в качественной форме на это обстоятельство было указано М. Ю. Балышным (2).

3. Распределение контактных участков между однородными и разнородными частицами в медно-графитовых смесях может быть оценено при помощи измерений электропроводности. Эти измерения проводились нами в цилиндрической текстолитовой матрице диаметром 11,6 мм при постоянном давлении 100 кг/см². Состав медно-графитовых смесей изменялся от 0 до 100% каждого компонента с интервалами в 5—10%.

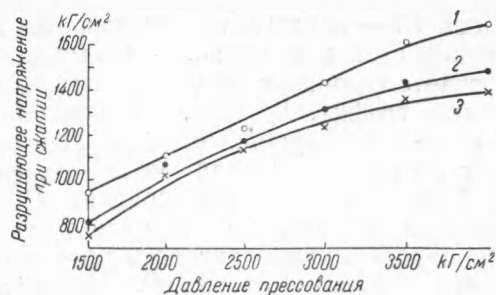


Рис. 2. 1 — мелкий графит, 2 — смесь мелкого и крупного графита, 3 — крупный графит

Оказалось, что характер изменения электрического сопротивления с изменением состава смеси зависит от состояния медного порошка — степени его окисленности. В связи с этим нами были исследованы медно-графитовые смеси, содержащие медный порошок четырех сортов (см. рис. 3).

Сопротивление смесей, содержащих свежевосстановленный медный порошок, непрерывно возрастает с повышением содержания графита в смеси вплоть до 100% графита. Совсем иная картина наблюдается в случае окисленных медных порошков. Электросопротивление медно-графитовых смесей, содержащих окисленный медный порошок, обнаруживает при определенном содержании графита в смеси максимум тем более смещенный в сторону медного конца диаграммы, чем более окислен порошок. Сильно окисленный медный порошок (~0,8% кислорода) обладает электросопротивлением (в указанных выше условиях опыта), на 9 порядков превосходящим сопротивление свежевосстановленного порошка меди, но при добавлении графита оно довольно резко падает и примерно при 40–50% графита в смеси уже не отличается от сопротивления смесей, содержащих менее окисленный медный порошок.

Электросопротивление медно-графитовой порошковой смеси в условиях наших опытов определяется, главным образом, сопротивлением контактных участков между однородными и разнородными частицами. Значительную роль при этом играют окисные пленки на частицах меди, так как они создают переходное сопротивление между этими частицами, а также между частицами меди и графита.

При небольшом содержании кислорода (0,3 и 0,5%) окисные пленки непрочны и частично разрушаются в местах контакта медных частиц при сдавливании; поэтому сопротивление такого медного порошка без графита сравнительно не очень велико (хотя все же сопротивление медного порошка с 0,5% кислорода уже в 2–3 раза выше сопротивления чистого порошка графита). При добавлении графита появляются контактные участки между частицами меди и графита, сопротивление которых целиком определяется сопротивлением окисных пленок, не разрушающихся здесь благодаря малой твердости и высокой пластичности графита. С увеличением процентного содержания графита (в весовых процен-

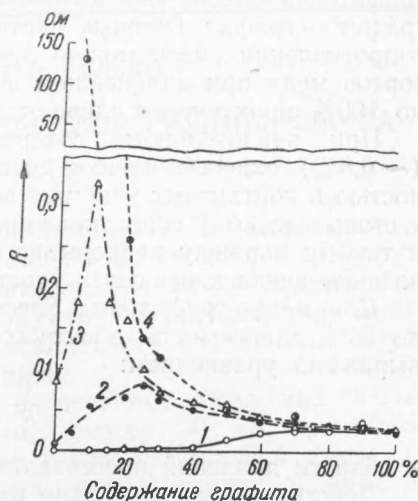


Рис. 3. 1 — медный порошок свежевосстановленный, 2 — с содержанием кислорода около 0,3%, 3 — с содержанием кислорода ~0,5%, 4 — с содержанием кислорода ~0,8%

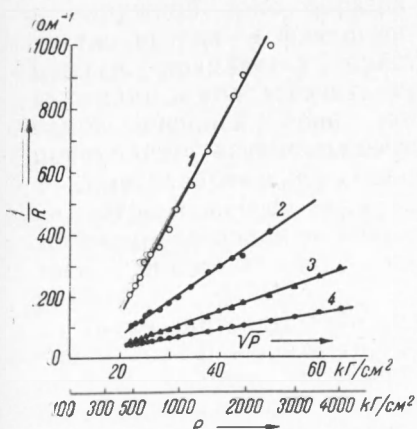


Рис. 4. 1 — 2% C, 98% Cu; 2 — 10% C, 90% Cu; 3 — 15% C, 85% Cu; 4 — 25% C, 75% Cu

тах) число таких контактов быстро растет и соответственно возрастает сопротивление смеси. Но вместе с тем растет и число контактов между частицами графита, сопротивление в которых значительно ниже, чем в

контактах окисная пленка — графит. Наличие двух этих факторов — роста числа контактов между частицами меди, покрытых окисной пленкой, и графитом, увеличивающее электросопротивление смеси, и роста числа контактов между частицами графита, уменьшающее сопротивление смеси, — определяет возникновение максимума на диаграмме сопротивления — состав смеси.

Начиная с 40—50 вес. % графита электросопротивление медно-графитовой смеси уже целиком определяется контактными участками графит — графит (медные частицы разрознены, и их долей в общем сопротивлении смеси можно пренебречь), и кривые для всех четырех сортов меди при дальнейшем повышении содержания графита в смесях до 100% практически сливаются.

При значительном содержании кислорода в медном порошке (~0,8%) окисные пленки достаточно прочны и не разрушаются полностью в контактных участках под давлением 100 кГ/см², что и приводит к столь высокому сопротивлению медного порошка. Добавление графита к такому порошку непрерывно снижает его сопротивление в результате возникновения контактных участков между частицами графита.

Для медно-графитовых смесей в пределах содержания графита от 2 до 25% зависимость электросопротивления от давления может быть выражена уравнением:

$$\frac{1}{R} = a \sqrt{P} + b$$

в области давлений прессования $500 \text{ кГ} \cdot \text{см}^{-2} \leq P \leq 3000 \text{ кГ} \cdot \text{см}^{-2}$.

Действительно, как видно из рис. 4, на котором представлены полученные нами результаты, между $1/R$ и $\sqrt{P}$ имеет место линейная зависимость, причем коэффициенты a и b уменьшаются с увеличением содержания графита.

Институт физической химии
Академии наук СССР

Поступило
11 II 1954

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ К. Конопіcky, First Intern. Powder Metall. Conference, Graz, 1948. ² М. Ю. Балышин, Порошковое металловедение, 1948.