

ОПРЕДЕЛЕНИЯ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА «МЕДЬ-НИКЕЛЬ» НА ОСНОВЕ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОРОШКОВ

Л.С. КОХАН, *д-р техн. наук, профессор*

А.В. ШУЛЬГИН, *канд. техн. наук*

И.С. НОВОЖИЛОВА, *аспирант*

Московский государственный вечерний металлургический институт

11250, Москва, Лефортовский вал, т. 8(495)361-14-80, shulgin00@mail.ru

В статье изложен метод определения физико-механических свойств композиционного материала «медь-никель» на основе металлических порошков «композиционный методом».

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: металлические порошки, относительная плотность, композиционные материалы.

Широкое применение при производстве различных изделий получили методы порошковой металлургии. Производство металлических порошков в мире превысило один миллион тонн в год. Большое значение при изготовлении деталей и заготовок для электротехнической, автомобильной, строительной промышленности имеет получение композиционных материалов на основе различных металлических порошков с заданными характеристиками, сочетающими в себе свойства входящих в композит материалов.

Для улучшения характеристик композитных материалов на основе металлических порошков предложена расчетная модель определения физико-механических свойств данных материалов.

Существующий метод определения физико-механических свойств «метод смеси» дает значительную ошибку по сравнению с экспериментальными данными. Поэтому был предложен «композиционный метод» определения физико-механических свойств.

Исследования проводились на композитном материале «медь-никель» из металлических порошков для процессов холодной деформации с параметрами каждого элемента:

$$\sigma_{T_{Cu}} = 280 \text{ МПа}, n_{Cu} = 2, \sigma_{T_{Ni}} = 200 \text{ МПа} \text{ и } n_{Ni} = 2,3$$

при концентрации $k_{Cu} = 0,8$, $k_{Ni} = 0,2$.

Из уравнения совместности

$$\sigma_{T_{Ni}} \cdot \rho_{Ni}^{n_{Ni}} = \sigma_{T_{Cu}} \cdot \rho_{Cu}^{n_{Cu}}$$

где $\sigma_{T_{Ni}}$ и $\sigma_{T_{Cu}}$ – сопротивления пластической деформации соответственно, для железной и медной металлической основы; n_{Fe} и n_{Cu} – показатели пористости каждого из компонентов.

После его преобразования получим:

$$\rho_{Ni} = \rho_{Cu}^{0,8695} \cdot 1,157.$$

Проведем линеаризацию, используя связи плотностей:

$$\rho_{Cu} = 0,5; 0,6; 0,8; 0,85, \rho_{Ni} = 0,633; 0,742; 0,953; 1,00.$$

Откуда указанным выше способом получим:

$$\rho_{Ni} = 1,0486 \cdot \rho_{Cu} + 0,1087.$$

Для заданной плотности композита ρ устанавливается связь:

$$\rho = \rho_{Cu} \cdot k_{Cu} + (1,0486 \cdot \rho_{Cu} + 0,1087) \cdot k_{Ni},$$

которая после преобразований устанавливает плотность

$$\text{меди } \rho_{Cu} = \frac{\rho - 0,01087k_{Ni}}{k_{Cu} + 1,0486 \cdot k_{Ni}} \text{ и никеля } \rho_{Ni} = 1,0486 \cdot \rho_{Cu} + 0,1087.$$

Так по плотности композита $\rho = 0,84$ устанавливаем плотности:

$$\rho_{Cu} = 0,811 \text{ и } \rho_{Ni} = 0,958.$$

Проверяем: $\rho = 0,811 \cdot 0,8 + 0,958 \cdot 0,2 = 0,8404 \cong 0,84$.

При осуществлении деформации каждый из входящих порошков упрочняется. Для медной составляющей коэффициент упрочнения

$$k_{\text{упр}Cu} = 1 + 1,5\varepsilon^{0,73}$$

и для никелевой составляющей

$$k_{\text{упр}Ni} = 1 + 1,2\varepsilon^{0,8}.$$

В этих формулах величина обжатия ε определяется необходимым процессом обработки металлов давлением. Так, при закрытой осадке в штампе

$\varepsilon = \frac{\rho - \rho_0}{\rho}$, где начальная плотность ρ_0 является плотностью заготовки для получения конечного изделия. Следует отметить, что по исследованиям Целикова А.И., деформационный процесс определяется скоростью деформации U .

Для меди скоростной коэффициент $k_{иCu} = 0,154 \cdot U + 0,684$ и для никеля $k_{иNi} = 0,0714 \cdot U + 0,586$. Скорость деформации определяется по зависимости

$$U = \frac{V(1-\varepsilon)}{H_K}.$$

У используемых нами при исследованиях гидравлических машин скорость прессования V не превышает 20 мм/с, конечная высота изделия H_K составляет 40 мм. Тогда при диаметре изделия $D = 30$ мм, плотности заготовки $\rho_0 = 0,55$ и конечной плотности $\rho = 0,84$ величина обжатия составит

$$\varepsilon = \frac{0,84 - 0,55}{0,84} = 0,345,$$

что определяет скорость деформации

$$U = \frac{20 \cdot (1 - 0,345)}{40} = 0,3275 \text{ 1/с}.$$

Соответственно коэффициенты упрочнения и скоростные коэффициенты составят:

$$k_{\text{упр}Cu} = 1 + 1,5 \cdot 0,345^{0,730} = 1,69; \quad k_{иCu} = 0,154 \cdot 0,3275 + 0,684 = 0,735;$$

$$k_{\text{упр}Ni} = 1 + 1,2 \cdot 0,345^{0,8} = 1,517; \quad k_{иNi} = 0,0714 \cdot 0,3275 + 0,586 = 0,609.$$

С полученными данными по модели «смеси»:

$$\begin{aligned} \sigma_{T \text{ смеси}} &= \sigma_{T_{Cu}} \cdot k_{Cu} \cdot k_{иCu} \cdot k_{\text{упр}Cu} + \sigma_{T_{Ni}} \cdot k_{Ni} \cdot k_{иNi} \cdot k_{\text{упр}Ni} = \\ &= 280 \cdot 0,8 \cdot 0,735 \cdot 1,69 + 200 \cdot 0,2 \cdot 0,609 \cdot 1,517 = 315,19 \text{ МПа}. \end{aligned}$$

По композиционной модели:

$$\begin{aligned}\sigma_{T\text{ком}} &= \sigma_{T_{Cu}} \cdot k_{Cu} \cdot k_{иCu} \cdot k_{упрCu} \cdot \rho_{Cu}^{n_{Cu}} + \sigma_{T_{Ni}} \cdot k_{Ni} \cdot k_{иNi} \cdot k_{упрNi} \cdot \rho_{Ni}^{n_{Ni}} = \\ &= 280 \cdot 0,8 \cdot 0,735 \cdot 1,69 \cdot 0,811^2 + 200 \cdot 0,2 \cdot 0,609 \cdot 1,517 \cdot 0,958^{2,3} = 216,48 \text{ МПа.}\end{aligned}$$

Экспериментальные исследования сопротивления пластической деформации проводились в закрытом штампе, для которого, по нашему исследованию, деформационно-напряженное состояние оценивалось величиной относительно го давления осадки:

$$\bar{\sigma}_{\Pi} = \rho \cdot \left[\left(\ln \frac{1}{1-\varepsilon} \right) / \varepsilon \right] + 4 \cdot f \cdot \frac{H_K \cdot (a_{1Cu} \cdot k_{Cu} + a_{1Ni} \cdot k_{Ni})}{(1-\varepsilon) \sqrt{1-\varepsilon} \cdot D_K} = 1,72,$$

где $a_{1Cu} = 0,708$, $a_{1Ni} = 0,605$ – коэффициенты условия пластичности.

При испытании образцов на гидравлической машине среднее усилие осадки составило 268 000 МН. Откуда среднее давление процесса:

$$\sigma_{\Pi} = \frac{268000}{\frac{\pi}{4} \cdot 30^2} = 379,30 \text{ МПа.}$$

С учетом полученного значения $\bar{\sigma}_{\Pi}$ определяется сопротивление пластической деформации данного композита:

$$\sigma_{T\text{ком}} = \frac{\sigma_{\Pi}}{\bar{\sigma}_{\Pi}} = \frac{379,30}{1,720} = 220,54 \text{ МПа.}$$

Сравнение результатов показывает, что по модели «смеси» устанавливается сопротивление пластической деформации выше на 30 %. При применении композиционной модели ошибка составляет:

$$\Delta = \frac{220,54 - 216,48}{220,54} \cdot 100\% = 1,4 \%$$

Данной расчетная модель была апробирована при оптимизации технологических режимов изготовления электроконтактных изделий на ОАО «Краснопахарский завод композиционных изделий из металлических порошков» («КИМПОР»), и ООО «Наномет» г. Йошкар-Ола.

Л и т е р а т у р а

1. Лантев А. М., Подлесный С. В., Малюцкий В. Л. Расчет давлений при изостатическом прессовании порошковых материалов// Известия вузов. Черная металлургия. – М.: МИСиС, 1987, №1. – С. 88–90.
2. Кохан Л. С., Шульгин А. В., Семенова Л. М. Физико-механические свойства композита железо–медь–цинк// Металлург. – М.: Металлургиздат, 2010, № 7. – С. 30–32.
3. Кохан Л.С., Шульгин А.В. Новое в теории формообразования композиционных порошковых материалов. – М.: МГВМИ, 2011. – 20 с.

DETERMINATION OF MECHANICAL PROPERTIES OF COMPOSITE MATERIAL "COPPER-NICKEL" BASED ON METAL POWDERS

L.S. Kohan, A.V. Shulgin, I.S. Novozhilova

In this paper, a method of determining physical and mechanical properties of composite materials "copper-nickel" on the basis of metal powders "compositional method" was presented.

KEY WORDS: metal powder, relative density, composite materials.