

УДК 621.762.4:539.32

## ВЛИЯНИЕ ПОРИСТОСТИ НА УПРУГИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТВЕРДЫХ СПЛАВОВ TiC–TiNi

В. В. Акимов, М. В. Акимов, М. С. Корытов, М. В. Пластинина

Сибирская государственная автомобильно-дорожная академия, 644080 Омск  
E-mail: kms142@mail.ru

Выявлено существенное влияние пористости на упругие свойства твердых сплавов TiC–TiNi. Показано, что сочетание таких свойств, как высокая прочность, твердость, сопротивление износу, стойкость к окислению и термоудару, обуславливает использование этих материалов в узлах и устройствах современной техники.

**Ключевые слова:** безвольфрамовые твердые сплавы, пористость, прочность, твердость, износостойкость.

В зависимости от способа получения материалов на основе карбида титана с цементующей связующей фазой TiNi их пористость может оказывать значительное влияние на упругие характеристики, такие как твердость и прочность. Известно, что для твердых сплавов увеличение пористости наблюдается при отклонении температуры прессования и спекания от оптимальной [1]. Зависимость упругих свойств твердых сплавов TiC–TiNi от состава композиции описана в работе [2]. Данные о влиянии пористости на характеристики упругости данного класса материалов в литературе отсутствуют.

В настоящей работе изучается влияние пористости на упругие характеристики (модуль Юнга  $E$ , модули сдвига  $G$  и объемной деформации  $K$ , коэффициент Пуассона  $\mu$ ) и пластичность твердого сплава  $q = K/G$  [3].

Образцы изготавливались стандартными методами порошковой металлургии. Порошки карбида титана TiC и никелида титана TiNi смешивались в механической мешалке в течение 24 ч. В хорошо перемешанную смесь порошков 50 % TiC — 50 % TiNi добавлялся 6 %-й раствор пластификатора (каучука) в чистом бензине. Вновь перемешанная смесь подвергалась сушке в течение 24 ч при температуре  $t = 20$  °С, после чего просеивалась через сито с размером ячеек 800 мкм. Образцы были получены методом холодного прессования под давлением  $p = 100 \div 200$  МПа в специальной пресс-форме, после чего спекались в вакуумной лабораторной печи.

Спекание велось при температуре  $t = 1350$  °С в течение 10 мин с последующим быстрым охлаждением вместе с печью [4]. Образцам придавалась форма цилиндров диаметром 18 мм и высотой  $8 \div 10$  мм.

Для исследования на ультразвуковой установке использовались образцы композиционного твердого сплава 50 % TiC — 50 % TiNi с параллельными гранями (отклонение не превышало  $10^{-3}$  рад) с разной пористостью после спекания. Шероховатость обработки поверхности образцов  $Ra = 1,25 \div 0,63$ . Образцы измерялись ультразвуковым резонансным методом на установке, аналогичной описанной в работе [2]. Погрешность определения модуля Юнга, модуля сдвига, коэффициента Пуассона, модуля объемной деформации при доверительной вероятности 0,95 не превышала 1–3 %.

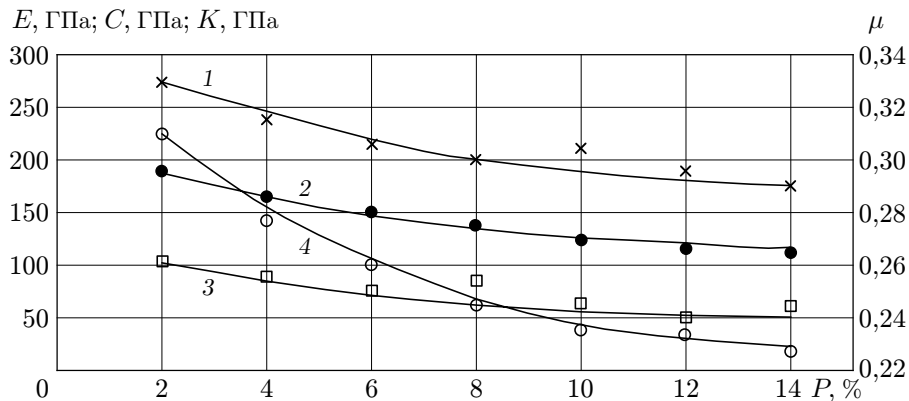


Рис. 1. Зависимость характеристик упругости  $E$  (1),  $K$  (2),  $G$  (3),  $\mu$  (4) материала 50 % TiC — 50 % TiNi от пористости

Существенное влияние на упругие свойства твердых сплавов TiC–TiNi оказывает пористость (рис. 1). Увеличение ее от значения  $P = 0$  до значения  $P = 15$  % приводит к уменьшению модулей упругости на 30–50 ГПа, а коэффициента Пуассона — на 0,08.

По-видимому, при увеличении пористости упругие и механические характеристики твердых сплавов уменьшаются за счет уменьшения прочности межчастичных контактов, а также возникающих вокруг пор концентраций напряжений, которые определяются их размером, формой, ориентацией [5]. Влияние пор как концентраторов напряжений трудно оценить количественно, что не позволяет получить теоретические соотношения, связывающие упругие свойства данного материала с пористостью.

Результаты экстраполяции значений модуля Юнга для твердого сплава 50 % TiC — 50 % TiNi, рассчитанных по формулам, полученным в [2], хорошо согласуются с результатами теоретического расчета по формуле

$$E = (E_{\text{TiC}}v_{\text{TiC}} + E_{\text{TiNi}}v_{\text{TiNi}})/v, \quad (1)$$

где  $E_{\text{TiC}}$ ,  $E_{\text{TiNi}}$  — модули Юнга карбида и никелида титана;  $v_{\text{TiC}}$ ,  $v_{\text{TiNi}}$  — объемные доли карбида титана и никелида титана в сплаве (рис. 2).

Кроме того, несмотря на различие фазового состава образцов, а также технологий изготовления материалов, значения упругих модулей твердых сплавов TiC–TiNi, вычисленные по формуле (1), и экспериментальные данные практически совпадают.

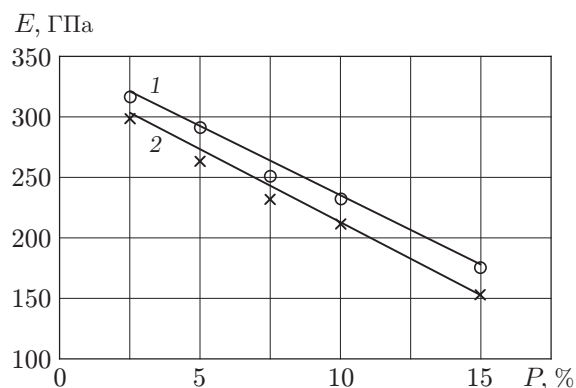


Рис. 2. Экспериментальная (1) и расчетная (2) зависимости модуля Юнга твердого сплава 50 % TiC — 50 % TiNi от пористости

Таким образом, полученные результаты исследований подтверждают предположение о том, что пористость материала оказывает влияние на изменение модулей упругости при нормальных условиях.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. **Самсонов Г. В.** Тугоплавкие соединения: Справ. / Г. В. Самсонов, И. М. Виноцкий. М.: Металлургия, 1976.
2. **Акимов В. В., Иванов Н. А.** Применение ультразвукового резонансного метода для определения упругих и пластических характеристик сплавов TiC–TiNi // ПМТФ. 2002. Т. 43, № 2. С. 203–207.
3. **Иванов Н. А.** Упругие и теплофизические свойства карбонитридов и оксикарбидов титана, циркония и ниобия: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. Свердловск, 1975.
4. **Акимов В. В.** Механизм жидкофазного спекания твердосплавных композитов TiC–TiNi // Изв. вузов. Чер. металлургия. 2006. № 6. С. 33–35.
5. **Вейл Н.** Влияние переменных параметров на механические свойства керамических материалов // Исследование при высоких температурах. М.: Наука, 1967. С. 212–258.

*Поступила в редакцию 4/VI 2008 г.*

---