

### Выводы

Представленные данные свидетельствуют о сильно выраженном влиянии активности газовой среды (ее количественная мера – концентрация свободных радикалов) на эффективность абразивного диспергирования обрабатываемого материала. Следует отметить, что вопрос об избирательности действия активных газовых сред на материалы различной физико-химической природы в настоящее время остается открытым. Обнаружение групп материалов, обладающих различной восприимчивостью к действию активных газовых сред, формируемых полимерабразивными композитами в зоне резания, и раскрытие физико-химических механизмов, лежащих в основе возможного сходства или различия их поведения, требует дальнейших исследований.

### Литература

1. Сверхтвердые материалы. Получение и применение: В 6 т. / Под ред. Н. В. Новикова. – Т. 3. Композиционных инструментальные материалы / А.Е. Шило, Е.К. Бондарев, Е.А. Пащенко и др. – Киев: ИСМ им. В.Н. Бакуля, ИПЦ «АЛКОН» НАНУ, 2005. – 280 с.
2. Агранович В.М., Галанин М.Д. Перенос энергии электронного возбуждения в конденсированных средах. – М.: Наука, 1978. – 384 с.

Поступила 22.05.09

УДК 621.762.4

**В. В. Ивженко**, канд. техн. наук

*Институт сверхтвердых материалов им. В. Н. Бакуля НАН Украины, г. Киев*

### **ВЛИЯНИЕ ДОБАВОК TiN, Mo, Ni НА ЭЛЕКТРОСОПРОТИВЛЕНИЕ И ПРОЧНОСТЬ ГОРЯЧЕПРЕССОВАННОГО НИТРИДА КРЕМНИЯ**

*The influence of TiN, Mo, Ni additions on resistivity and strength of hot pressed silicon nitride has been investigated. Dense material based on silicon nitride with additives up to 30 % TiN and 1,7 % Mo (volume percents) was prepared. It has bending strength 450–500 MPa and specific resistivity  $\sim 10^{-2} \Omega \cdot m$ . The behavior of material permits to manufacture of complex shape parts by spark cutting. The nickel addition has negative affect on strength of hot pressed silicon nitride.*

### Введение

Нитрид кремния все шире используется в различных областях техники благодаря высокой химической термо-, износостойкости и прочности. В связи с ковалентным характером связей в нитриде кремния, его значительной диссоциацией при температурах выше 1600 °С для уплотнения материала используют оксиды магния, алюминия, иттрия. При температурах спекания оксиды взаимодействуют с нитридом кремния, образуя жидкую фазу. Применение технологии горячего прессования позволяет получать практически беспористые материалы на основе нитрида кремния. Для получения керамических горячепрессованных деталей сложных форм используют различные способы обработки материалов: механические, химические, оптические, электрофизические.

Нитрид кремния является диэлектриком с высоким удельным электросопротивлением ( $\rho > 10^{13}$  Ом·м при температуре 20 °С) [1]. В работах [2–4] рассмотрены возможности элек-

троискровой обработки нитридкремниевых материалов и отмечается, что для такой обработки наиболее перспективны материалы системы  $\text{Si}_3\text{N}_4\text{--TiN}$  благодаря тому, что при содержании  $\text{TiN} > 15$  мас. % обладают высокой электропроводностью. При этом к важным параметрам материалов относится характер распределения в нитридкремниевой матрице включений нитрида титана. Исследованиями [5–7] установлено, что в горячепрессованных материалах на основе нитридов кремния и титана максимальная прочность достигается при концентрации нитрида титана 5–10 мас. % (3–6 об. %). При более высоком содержании  $\text{TiN}$  предел прочности при изгибе снижается.

Цель настоящей работы состояла в исследовании влияния добавок  $\text{TiN}$ ,  $\text{Mo}$ ,  $\text{Ni}$  на электросопротивление и прочность горячепрессованного нитрида кремния.

#### Методика эксперимента

В работе использовали порошок  $\text{Si}_3\text{N}_4$ , полученный в Макеевском филиале ОКБ ИПМ НАН Украины самораспространяющимся высокотемпературным синтезом и содержащий около 100 %  $\beta$  –  $\text{Si}_3\text{N}_4$ . Исходный порошок размалывали на вибромельнице М10 в спирте. Площадь удельной поверхности порошка после диспергирования составила  $6,2 \text{ м}^2/\text{г}$ . В качестве уплотняющей добавки использовали порошок оксида магния (ГОСТ 4526-75), в качестве электропроводящих добавок – порошки нитрида титана печного синтеза (ТУ 6-09-112-75), нитрида титана плазмохимического синтеза производства ИНХ АН Латвии, гидрида титана (ТУ 48-10-5-76), молибдена (ТУ 48-19-69-92), никеля (ГОСТ 9722-97). Горячее прессование образцов проводили в графитовых пресс-формах при температуре 1700–1800 °С. Предел прочности материалов определяли методом трехточечного изгиба образцов размером  $5 \times 5 \times 35$  мм при расстоянии между опорами 30 мм и скорости нагружения  $3 \cdot 10^{-4}$  м/с. Удельное электросопротивление образцов материалов измеряли четырехточечным методом при постоянном токе [8]. При этом ошибка измерений не превышала 10 %.

#### Результаты

Результаты исследования зависимости удельного электросопротивления образцов горячепрессованных материалов системы  $\text{Si}_3\text{N}_4\text{--MgO--TiN}$  от концентрации электропроводящей добавки в исходной шихте. При этом в качестве добавки использовали нитрид титана печного синтеза со средним размером частиц около 10 мкм, нитрид титана плазмохимического синтеза со средним размером агломерированных образований 5 мкм и гидрид титана со средним размером частиц 8 мкм.

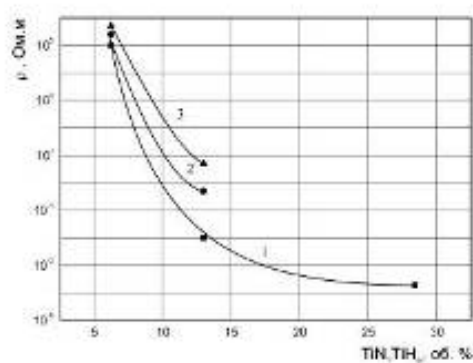


Рис. 1. Зависимости удельного электросопротивления горячепрессованных материалов системы  $\text{Si}_3\text{N}_4\text{--MgO--TiN}$  от концентрации электропроводящей добавки в исходной шихте: 1 – нитрид титана печного синтеза; 2 – нитрид титана плазмохимического синтеза; 3 – гидрид титана

Результаты исследования показали, что достаточная для электроискровой обработки электропроводность материалов достигается при концентрации нитрида титана в исходной шихте 12 об. %. Материалы, полученные из композиций с нитридом титана плазмохимического синтеза и гидридом титана, имеют более низкую электропроводность.

Для обеспечения необходимой электропроводности горячепрессованного нитрида кремния при малых концентрациях электропроводной фазы в исходную шихту, содержащую 3 об. % TiN плазмохимического синтеза, вводили 1–3 об. % Mo и Ni. При этом порошок нитрида титана предварительно смешивали с металлами в воздушной среде.

Как показали исследования удельного электросопротивления (рис. 2) и предела прочности при изгибе (рис. 3) полученных материалов, оптимальное соотношение свойств (высокая прочность и электропроводность) наблюдается в материале, полученном из шихты с содержанием 1,5–1,7 об. % Mo. При более высоких концентрациях Mo прочность материала снижается. Введение в шихту добавки Ni также позволяет достичь необходимой для электроискровой обработки электропроводности материала при малых концентрациях (до 3 об. %). Однако при этом предел прочности при изгибе горячепрессованного нитрида кремния, содержащего Ni, снижается.

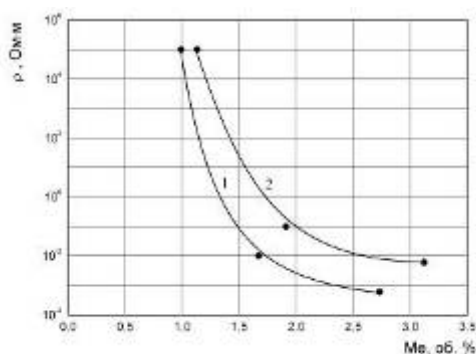


Рис. 2. Зависимости влияния добавок Mo (1) и Ni (2) на удельное электросопротивление материала, содержащего 97 об. % ( $Si_3N_4 - MgO$ ) – 3 об. % TiN

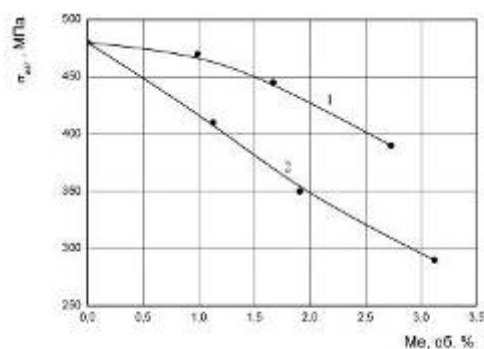


Рис. 3. Зависимости влияния добавок Mo (1) и Ni (2) на предел прочности при изгибе материала, содержащего 97 об. % ( $Si_3N_4 - MgO$ ) – 3 об. % TiN

### Выводы

Горячим прессованием получен плотный керамический материал на основе нитрида кремния, содержащий до 3 об. % TiN и до 1,7 об. % Mo. Материал представляет собой гетерофазную систему из непроводящей матрицы  $Si_3N_4$  и включений электропроводной фазы TiN – Mo. Предел прочности материала при изгибе – 450–500 МПа при удельном электросопротивлении около  $10^{-2}$  Ом·м, что обеспечивает возможность применения электроискровой обработки. Добавки никеля в исходную шихту негативно влияют на прочность горячепрессованного нитрида кремния.

### Литература

1. Андриевский Р.А., Спивак И.И. Нитрид кремния и материалы на его основе. – М.: Металлургия, 1984. – 136 с.

2. Эйдзи К. Керамические материалы, обрабатываемые электроимпульсным методом // Оё кикай когаку. – 1983. – 24. – № 13. – С. 178–183.
3. Курамацу А. Технология обработки керамики. Шлифование и электроимпульсная обработка // Когё дзайрё, Eng. Mater. – 1983. – 31. – № 12. – С. 66–72.
4. Microstructure and electrical properties of  $\text{Si}_3\text{N}_4$ -TiN composites sintered by hot pressing and spark plasma sintering / Z. Guo, G. Blugan, R. Kirchner et al // Ceramics International. – 2007. – V. 33. – N 7. – P. 1223–1229.
5. Ивженко В.В. Жаропрочные сплавы нитрид кремния – нитрид титана // Неорганические жаростойкие материалы, их применение и внедрение в народное хозяйство: – Кемерово: Изд-во КГУ, 1982. – ч. 1. – С. 147–148.
6. Ивженко В.В., Кузенкова М.А., Примак Л.П. Влияние добавок гидрида титана на структуру и прочность керамики на основе нитрида кремния // Химия гидридов: Тез. докл. 4 Всесоюз. Совещ. Душанбе, 17–18 ноября, 1987. – Душанбе, 1987. – С. 118.
7. Structure and properties of silicon and titanium nitrides – base materials / V. Ivzhenko, M. Kuzenkova, A. Svirid, S. Dub // Proc. of Second Int. Symp. on brittle matrix composites (BCM-2). – Cedzuma, 1988. – P. 31–32.
8. Глазов В.М., Охотин А.С. Методы исследования термоэлектрических свойств полупроводников. – М.: Атомиздат, 1969. – 174 с.

Поступила 27.05.09

УДК 621.913:621.833

**А. В. Кривошея<sup>1</sup>**, канд. техн. наук, **В. Е. Мельник<sup>1</sup>**; **С. И. Сташкевич<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Институт сверхтвердых материалов им. В. Н. Бакуля НАН Украины, г. Киев

<sup>2</sup>Национальный технический университет Украины «КПИ», г. Киев

### **СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ОБОБЩЕННОЙ СТРУКТУРНОЙ СХЕМЫ ТЕОРЕТИЧЕСКОГО ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ПЛОСКИХ КОНТУРОВ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС С РАЗЛИЧНЫМ ПРОФИЛЕМ**

*The problem of theoretical shape forming of cylindrical gears with different profiles is considered in the papers.*

Цилиндрические зубчатые передачи как составляющие большинства машин и механизмов широко используются в автомобиле-, тракторо-, редукторо-, станко-, самолетостроении- механизмах рудоразмольных мельниц и других машинах и механизмах.

По современным представлениям синтез зубчатых передач необходимо осуществлять с учетом всего их жизненного цикла, т. е. в единой технической системе, которая включает взаимосвязанные подсистемы теоретического и технологического (реального) формообразования звеньев такой технической системы [1].

Вопросы теоретического задания, или формообразования, и математического описания цилиндрических зубчатых передач с произвольным, но постоянным вдоль оси зубчатого колеса профилем можно решить в рамках обобщенной плоской подсистемы теоретического формообразования зубчатых зацеплений.

Результаты анализа существующих способов и методик теоретического синтеза цилиндрических зубчатых передач с произвольным, но постоянным вдоль оси зубчатого колеса