

**СТРУКТУРА ИНТЕРМЕТАЛЛИЧЕСКИХ КАРБОНИТРИДОВ НА ПОВЕРХНОСТИ  
ПОРИСТОГО БИОСОВМЕСТИМОГО НИКЕЛИДА ТИТАНА, ПОЛУЧЕННОГО МЕТОДОМ  
СВС**

А.А. Арямкин, Н.В. Артюхова

Научный руководитель: к.ф.-м.н., Ю.Ф. Ясенчук

Национальный исследовательский Томский государственный университет,

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 36, 634050

E-mail: [gearbox.v360@gmail.ru](mailto:gearbox.v360@gmail.ru)

**THE STRUCTURE OF INTERMETALLIC CARBONITRIDES ON THE SURFACE OF POROUS  
BIOCOMPATIBLE TITANIUM NICKELIDE OBTAINED BY THE SHS METHOD**

A.A. Aryamkin, N.V. Artyukhova

Scientific Supervisor: PhD. Yu.F. Yashenchuk

Tomsk State University, Russia, Tomsk, Lenin str., 36, 634050

E-mail: [gearbox.v360@gmail.ru](mailto:gearbox.v360@gmail.ru)

***Abstract.** The surface layers and fracture surfaces of porous titanium nickelide obtained by self-propagating high temperature synthesis (SHS) in a flow reactor in an argon atmosphere are studied by SEM and energy dispersive analysis. It is alleged that primary pores 5–15  $\mu$  in size and the related granular layer are formed due to segregation and capillary force effect during peritectic crystallization of some porous alloy areas. Carbon and oxygen impurities present in the reaction gases and the protective atmosphere penetrate into the melt film on the pore surface to form strong and corrosion-resistant nanostructured layers of intermetallic carbides, nitrides and oxides.*

**Введение.** Работа посвящена исследованию поверхностного слоя пористого никелида титана, полученного самораспространяющимся высокотемпературным синтезом (СВС) в атмосфере проточного аргона под влиянием реакционных газов. В работах проводившихся ранее этому аспекту уделялось недостаточное внимание [1-3]. Утверждается, что первичные поры размером 5–15 мкм и связанный с ними зернистый слой образуются благодаря ликвации и действию капиллярных сил в ходе перитектической кристаллизации некоторых участков пористого сплава. Дальнейшее формоизменение и миграция пор связаны с действием реакционных газов. На поверхности пористого никелида титана обнаружены нанокристаллические интерметаллические оксикарбонитриды, имеющие сложную структуру, существование которых обусловлено наличием примесей кислорода, азота и углерода в защитных инертных и реакционных газах [4].

**Материалы и методы исследования.** В данной работе с помощью Philips SEM 515 и микроанализатора EDAX ECON IV исследованы поверхностные слои и поверхности разрушения пористого никелида титана.

Образцы для исследования были приготовлены из порошков титана восстановленного ПТОМ-2 и никеля карбонильного ПНК-ОТ4. Содержание примесей в порошках титана и никеля соответствует техническим условиям. СВС проводили в защитной газовой среде аргона, который, фильтруясь через

шихту и продукты реакции под небольшим избыточным давлением 0,01–0,05 МПа, вытеснял атмосферный воздух, таким образом, защищая шихту и продукт реакции от окисления.

Исследование поверхностей разрушения проводили на гранулах, полученных дезинтеграцией пористого никелида титана. Дезинтеграция сводилась к разрушению наиболее крупных межпоровых перегородок. При разрушении перегородок вскрылось множество тупиковых и закрытых пор с размерами от 5 до 100 мкм.

**Результаты.** Все исследованные поры были разделены на четыре типа: 1 – тупиковые многоугольные поры с поперечным сечением 5–15 мкм; 2 – тупиковые сглаженные поры в виде каналов с поперечным сечением 20–100 мкм имеют выход в поры 3-го типа – открытые сглаженные макропоры в виде каналов с поперечным сечением 200–500 мкм и более; 4 – закрытые сферические поры 5–50 мкм (рис. 1). Причиной возникновения многоугольных пор является недостаток питающего расплава на участках перитектической кристаллизации. Дефицит расплава благодаря действию капиллярных сил приводит к образованию зазоров между вязкими округлыми зернами TiNi. В результате, в скоплениях округлых зерен образуются многоугольные поры размером 5–15 мкм, часть которых являются закрытыми, а часть тупиковыми. Избыточное давление реакционных газов вызывает рост подвижных закрытых микропор от 5 до 50 мкм и придает им сферическую форму.

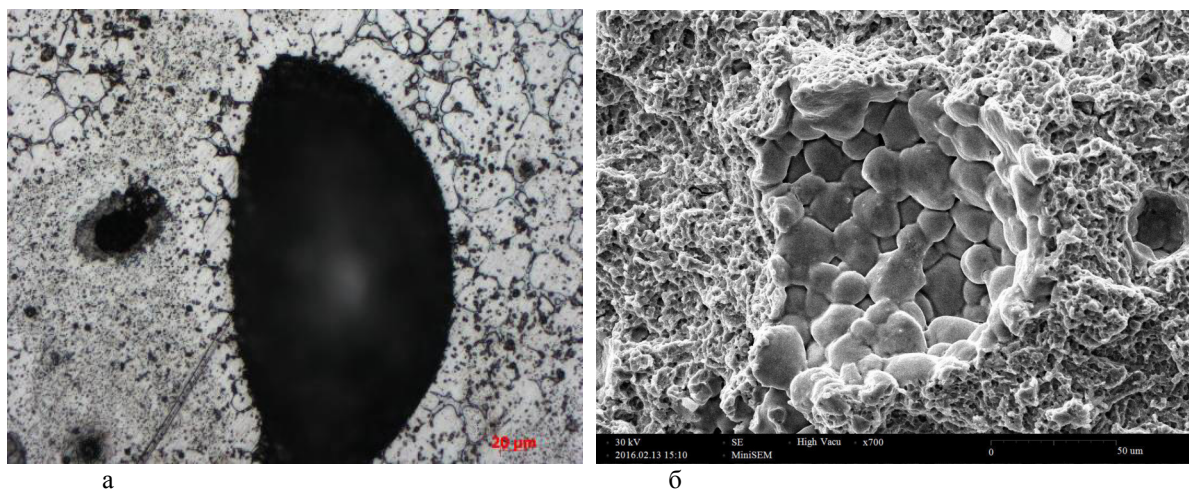


Рис. 1. Зернистые зоны СВС-никелида титана близки макропор: а – оптическая микроскопия шлифа; б – SEM, поверхность вязкого транскристаллитного разрыва, включая зернистые слои закрытых сферических пор

В разрушении межпоровых перегородок следует особенно отметить разрушение поверхностного слоя, которое носит хрупкий характер в отличие вязкого разрушения основного массива перегородки (рис. 2, а).

В эксперименте обнаружено, что задержка пористого сплава в твердожидком состоянии на стадии кристаллизации на доли секунды приводит к существенному развитию процесса слияния пор и усилению процессов дендритной микросегрегации. Причиной этого является перенос тепла проточными газами из реакционной зоны в зону структурирования.

При СВС пористого никелида титана агентами теплопереноса являются и расплав, и газы, оказывая взаимное влияние (рис. 2, б). Проточные реакционные газы, покидая реакционную зону,

захватывают часть расплава с поверхности мелких пор, переносят его в более крупные поры, формируя в них рыхлые наслоения. Состав этого расплава близок к стехиометрии интерметаллида  $Ti_2Ni$ .

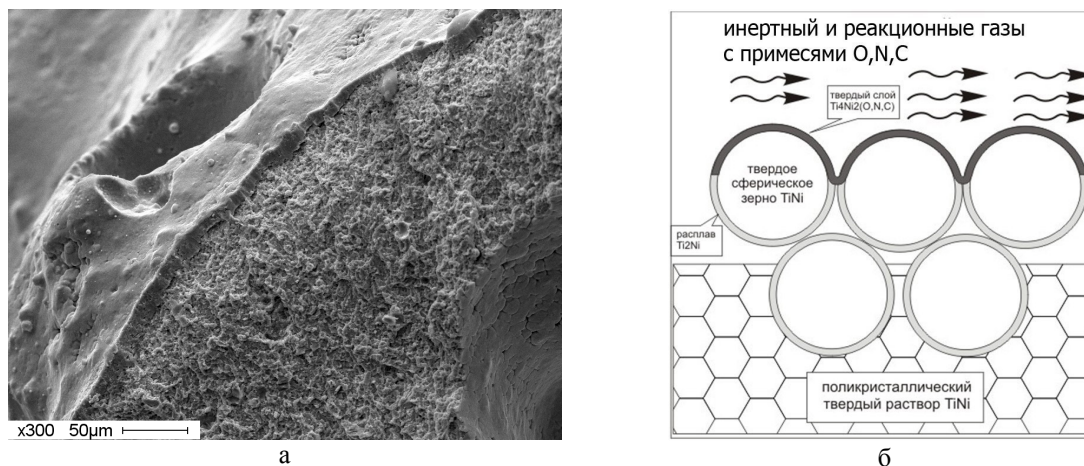


Рис. 2. Поверхностный слой, упрочненный примесями внедрения:

*а* – внешний вид скола; *б* – схема формирования

В процессе захвата расплав насыщается примесями кислорода, азота, углерода и водорода, в результате закристаллизовавшиеся наслоения представляют собой интерметаллические оксикарбонитриды.

**Выводы.** Причиной возникновения пор и связанного с ними зернистого слоя является ликвация в зонах перитектической кристаллизации сплава, образование и сохранение расплава между зернами. Избыточное давление реакционных газов в закрытых микропорах способствует их росту и слиянию в макропоры. Реакционные газы, содержащие примеси углерода, азота и водорода, захватывая часть расплава фазы  $Ti_2Ni$  в мелких порах, переносят его в крупные поры, создавая на их поверхности прочные и коррозионностойкие слои интерметаллических оксикарбонитридов, которые обеспечивают требуемую биохимическую совместимость пористому никелиду титана с живыми тканями организмов [5].

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Итин В. И., Найбороденко Ю. С. Высокотемпературный синтез интерметаллических соединений. – Томск: Изд-во Том. ун-та, 1989. – 214 с.
2. Итин В.И., Братчиков А.Д., Доронин В.Н. и др. Формирование продуктов самораспространяющегося высокотемпературного синтеза в системах Ti-Ni и Ti-Co // Изв. вузов. Физика. – 1981. – № 12. – С. 75–78.
3. Касымов М.К., Колобов Ю.Р., Итин В.И. и др. Структура и механические свойства никелида титана, полученного синтезом в режиме горения // Изв. вузов. Физика. – 1986. – № 12. – С. 49–54.
4. Merzhanov A. G., Rogachev A. S. Structural macrokinetics of SHS processes / Pure & Appl. Chem. – 1992. – Vol. 64. – No. 7. – pp. 941–953.
5. Gunther V.E., Dambaev G.Ts., Sysoliatin P.G. Delay Law and New Class of Materials and Implants in Medicine. – MA: STT, Northampton, 2000. – p. 432.