



УДК 621.793.1:620.22

# МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА НАНОСТРУКТУРНЫХ КЕРМЕТОВ НА ОСНОВЕ $Al_2O_3$ , ПОЛУЧЕННЫХ СПОСОБОМ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОГО ОСАЖДЕНИЯ В ВАКУУМЕ

Я. А. Стельмах

Приведены результаты исследований микротвердости толстых (20... 60 мкм) керамико-металлических конденсатов систем  $Al_2O_3$ -Me (где Me — ниобий, молибден, титан, цирконий, кобальт) в зависимости от основных технологических параметров их синтеза — температуры подложки  $T_п$  и количества вводимой в матрицу  $Al_2O_3$  металлической добавки. Определены наиболее перспективные металлические добавки для получения керметов с высокой микротвердостью. Показано, что введение металлической составляющей в паровой поток  $Al_2O_3$  позволяет синтезировать стабильные конденсаты с микротвердостью до  $HV = 20... 22$  ГПа. Исследованиями ТЭМ установлено, что данные керметы находятся в наноструктурном состоянии. Показано, что применение ионной активации парового потока металлической добавки существенно повышает микротвердость керметов. Установлено, что термическая активация вносит дополнительный вклад в увеличение микротвердости керметов полученных электронно-лучевым осаждением.

Presented are the results of investigations of microhardness of thick (20... 60 m) ceramic-metallic condensates of system  $Al_2O_3$ -Me (where Me — Nb, Mo, Ti, Zr, Co) depending on main technological parameters of their synthesis: substrate temperature ( $T_s$ ) and amount of metallic addition, added to matrix  $Al_2O_3$ . The most challenging metallic additions are defined for producing cermets with high microhardness. It is shown that adding of a metallic component into a vapor stream of  $Al_2O_3$  allows producing the stable condensates with microhardness up to  $HV = 20... 22$  GPa. It was found by TEM examinations that the produced cermets are in a nanostructured state. It is shown that the application of ion activation of a vapor steam of metallic addition will greatly increase the microhardness of cermets. It was found that the thermal activation contributes significantly to the increase in microhardness of cermets produced by electron beam deposition.

**Ключевые слова:** керамико-металлические материалы; наноструктурные материалы; микротвердость; электронно-лучевое испарение; подложка с градиентом температуры; оксид алюминия; ниобий; молибден; ионная активация; термическая активация

Для решения различных технологических задач широко используют химические соединения с ионной или ковалентной связью, в частности тугоплавкие оксиды и керамико-металлические соединения на их основе, поскольку они характеризуются высокими значениями твердости, коррозионной стойкости в агрессивных средах, а также температурной стабильностью структурных, физических и механических свойств, предъявляемых к деталям и узлам машин. Указанные свойства в сочетании с невысокой стоимостью оксида алюминия вызывают постоянный интерес к нему со стороны исследователей.

Оксид алюминия востребован в порошковой металлургии, используется при газотермическом и плазменно-детонационном способах напыления. Керметы на основе  $Al_2O_3$  благодаря высокому уровню стойкости при температуре до 1200 °С продолжительное время применяют в ракетной технике

(вставки сопел, стабилизаторы пламени), металлургии (стержни для регулирования потока металла, желоба для разливки, защитные чехлы термопар), турбостроении (высокотемпературные уплотнения в газовых турбинах, работающие без смазки) [1]. Покрытия из материалов на основе  $Al_2O_3$ , нанесенные на детали насосов (валы, сальники, втулки, крыльчатки), обеспечивают высокие значения твердости, химической стойкости и низкий коэффициент трения [2].

Физическое осаждение из паровой фазы в вакууме предоставляет широкие возможности по варьированию состава, структуры и свойств керамико-металлических материалов. Находящиеся в паровой фазе вещества не подчиняются законам растворимости, поэтому при смешивании паров оксида алюминия и растворимых в нем металлов возможен синтез материалов, получение которых традиционными способами невозможно.

В данной работе конденсаты на основе  $Al_2O_3$  получали способом электронно-лучевого испарения с последующей конденсацией парового потока в



вакууме на подложку (ЕВ PVD). Физические процессы, положенные в основу данной технологии, бесспорно, дают возможность отнести ее к нанотехнологиям [3]. Существующее оборудование [4] позволяет производить синтез конденсатов и покрытий на поверхностях сложной формы при скоростях осаждения пара от нескольких до десятков микрометров в минуту.

При исследовании структуры толстых (20... 60 мкм) конденсатов чистого  $Al_2O_3$ , полученных способом электронно-лучевого испарения [5], обнаружено присутствие наноструктурной составляющей различных морфологии и фазового состава в интервале температур конденсации от 100 до 1000 °С, показано, что их свойства можно варьировать в широком диапазоне в зависимости от температуры формирования и последующей термической обработки. Однако имеющихся в литературе данных о структуре и свойствах керамики-металлических материалов на основе  $Al_2O_3$ , произведенных способом ЕВ PVD, недостаточно для оценки перспективности их практического применения. Поэтому представляет интерес как отработка приемов получения, так и исследование структуры и свойств наноструктурных композиций на основе  $Al_2O_3$ .

В данной работе изучали механические свойства толстых (20... 60 мкм) керамики-металлических конденсатов систем  $Al_2O_3$ -Me (Me — ниобий, молибден, титан, цирконий, кобальт) в зависимости от основных технологических параметров их синтеза — температуры подложки  $T_{п}$ , количества вводимой в матрицу  $Al_2O_3$  металлической добавки, а также энергии конденсирующихся атомов металлов (адатомов).

**Условия эксперимента, методы и объекты.** Керамики-металлические конденсаты систем  $Al_2O_3$ -Me для исследований получали по классической двухтигельной схеме электронно-лучевого испарения в вакууме [6]. При этом одним электронным пучком испаряли штапик  $Al_2O_3$ , выполненный способом холодного прессования из порошка оксида алюминия чистотой 99,6 %, другим — слитки ниобия, молибдена, титана, циркония, кобальта чистотой не менее 99,8 %, полученные с помощью электронно-лучевого перепада в вакууме. Применение испарения из двух источников позволило варьировать состав конденсатов путем изменения соотношения  $Al_2O_3$ /Me. Количество вводимой металлической добавки в матрицу  $Al_2O_3$  варьировали в интервале 2,5... 21,0 мас. %.

Одним из основных факторов, определяющих структуру и свойства конденсатов, является температура подложки  $T_{п}$  [7]. Методика осаждения конденсатов на подложку с заданным вдоль ее оси градиентом температуры [4] позволяет в одном эксперименте получать информацию о структуре и свойствах конденсированных материалов в заданном непрерывном интервале температур осаждения. Градиент температуры 200... 1000 °С вдоль подложки создавали путем закрепления ее одного конца в медный водоохлаждаемый держатель и нагрева элект-

ронным лучом противоположного конца. Измерение градиента температуры проводили с помощью пяти хромель-алюмелевых термопар с погрешностью  $\pm 10$  °С.

Скорость конденсации в экспериментах составляла в среднем 2... 3 мкм/мин, давление остаточных газов в рабочей камере во время процесса испарения —  $(1... 2) \cdot 10^{-2}$  Па, толщина полученных конденсатов — 20... 60 мкм.

Для оценки влияния энергии конденсирующихся атомов на механические свойства применяли ионную активацию (ионизацию атомов) парового потока металлической добавки в электростатическом поле, которую осуществляли дуговым разрядом (степень ионизации атомов составила примерно 15 %), электростатическое поле создавали посредством приложения к подложке напряжения смещения ( $U = -150$  В).

Для определения элементного состава полученных конденсатов использовали рентгеноспектральный микроанализатор (приставка EDX к микроскопу Sam Scan 4D) с использованием программы обработки результатов INCA-2000. Погрешность измерений составляла  $\pm 0,3$  %.

Микротвердость конденсатов по Виккерсу измеряли с помощью специальной приставки Micro Dugomat 4000E к оптическому микроскопу Polyvar Met в режиме автоматического нагружения при нагрузке на индентор 0,1... 0,2 Н.

Исследования тонкой структуры конденсатов оксида алюминия осуществляли методом трансмиссионной электронной микроскопии (ТЭМ) на приборе H-800 (Hitachi) при значениях энергии ускоренных электронов 150... 200 кэВ. Для исследований использовали тонкие участки, полученные отслоением от массивного конденсата.

**Результаты и их обсуждение.** Объектами исследований служили вакуумные конденсаты систем  $Al_2O_3$ -Me с металлическими компонентами — титаном, цирконием, ниобием, молибденом, кобальтом — представителями *d*-металлов соответственно IV6; V6; VI6; VIII6 периодических групп. Исследования проводили в несколько этапов.

С целью определения перспективных для повышения микротвердости  $Al_2O_3$  добавок на первом этапе изучали влияние небольших (2,5... 6,0 мас. %) количеств указанных металлов на микротвердость конденсатов, полученных в интервале температуры подложки 200... 950 °С (рис. 1). Как видно из представленных зависимостей, добавки кобальта и циркония расширяют температурный интервал синтеза твердых конденсатов относительно чистого  $Al_2O_3$  соответственно на 100 и 400 °С, обеспечивая микротвердость на уровне 2... 4 ГПа. Керметы системы  $Al_2O_3$ -5 мас. % Ti отличаются более высоким уровнем микротвердости HV 5... 7 ГПа, однако при  $T_{п} > 600$  °С микротвердость керметов  $Al_2O_3$ -4 мас. % Nb и  $Al_2O_3$ -5 мас. % Mo в 1,5 раза выше и составляет 7,0... 10,5 ГПа.

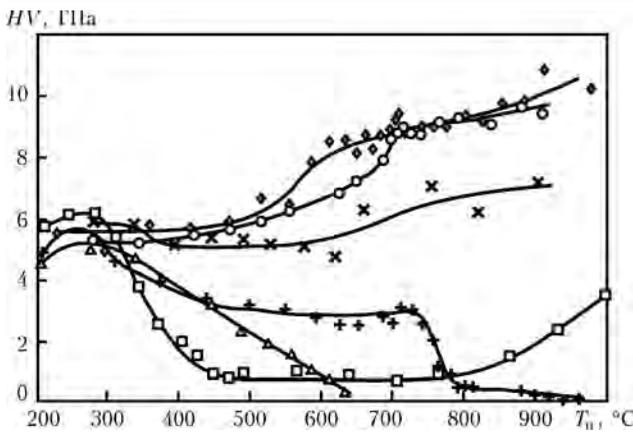


Рис. 1. Микротвердость конденсатов  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (□),  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -2,5 % Co (Δ),  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -6 % Zr (+),  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -5 % Ti (x),  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -4 % Nb (○),  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -5 % Mo (◇) в зависимости от температуры подложки  $T_n$

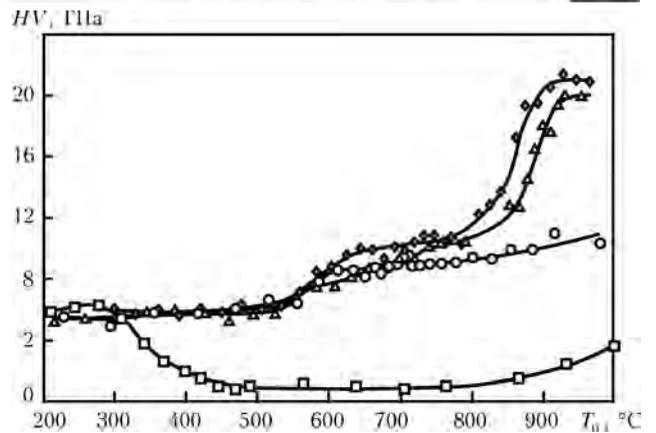


Рис. 2. Микротвердость конденсатов  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (□),  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -5 % Mo (○),  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -15 % Mo (Δ),  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -20 % Mo (◇) в зависимости от температуры подложки  $T_n$

Таким образом, наибольшие значения микротвердости  $HV$  5,5... 10,5 ГПа достигнуты для систем  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -4 мас. % Nb и  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -5 мас. % Mo, а следовательно, наиболее перспективными металлами для получения высокотвердых керметов являются молибден и ниобий. Поэтому дальнейшие исследования проводили с этими добавками.

Микроструктура однофазных конденсатов хорошо описывается зонной диаграммой, приведенной в работе [7]. Установлено, что фазовые превращения, присущие оксиду алюминия, незначительно влияют на формирование структурных зон, имеющих граничные температуры  $T_1 = 325$  и  $T_2 = 825$  °C [5]. Введение металлических добавок в матрицу  $\text{Al}_2\text{O}_3$  в температурной области формирования первой структурной зоны ( $200$  °C <  $T_n$  <  $325$  °C) несколько (примерно на 10... 15%) снижает микротвердость керметов относительно конденсатов чистого  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (рис. 1, в). Поскольку в первой структурной зоне  $\text{Al}_2\text{O}_3$  находится преимущественно в аморфном состоянии, а во второй, — в основном в  $\gamma$ -фазе [5], можно предположить, что повышение микротвердости базируется как на структурных аспектах, так и, возможно, на химическом взаимодействии металлической добавки с  $\gamma$ -фазой  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . При этом характер полученных зависимостей для  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -2,5 мас. % Co и  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -6 мас. % Zr (рис. 1), в которых по мере роста  $T_n$  отмечено снижение твердости до 0,5... 1,0 ГПа, свидетельствует о том, что в процессе увеличения размеров кристаллитов  $\gamma$ -фазы для поддержания постоянного уровня микро-твердости с повышением температуры подложки требуется большее количество металлического компонента. Таким образом, использование металлических добавок для повышения микротвердости целесообразно при  $T_n > 325$  °C, что соответствует второй и третьей структурным зонам формирования  $\text{Al}_2\text{O}_3$ .

На втором этапе исследовали влияние количества металлической добавки на микротвердость отобранных систем  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -Mo и  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -Nb. Результаты измерений микротвердости при различных концентрациях добавок ниобия и молибдена в интервале температуры подложки 250... 950 °C представлены

на рис. 2, 3. Полученные зависимости имеют сложный немонотонный характер, при их анализе отмечены следующие закономерности. В результате увеличения количества металлической добавки ниобия и молибдена до 15... 21 мас. % зафиксировано значительное повышение твердости исследуемых керметов до  $HV$  20... 21 ГПа с граничной температурой синтеза  $T_K$  примерно 725 °C для  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -Nb и 870 °C для  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -Mo. Микротвердость указанных керметов, синтезированных в интервале  $T_n < T_K$ , практически не зависит от количества металлической добавки в интервале 5... 20 мас. %.

Следует также отметить, что введение даже малых количеств ниобия (1,5 мас. %) достаточно для поддержания микротвердости кермета  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -Nb на уровне  $HV$  5,5 ГПа в интервале  $250$  °C <  $T_n$  <  $650$  °C. Уменьшение микротвердости при более высокой температуре подложки ( $T_n > 650$  °C), по-видимому, связано с интенсивным формированием кристаллитов пористой фазы  $\gamma$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Этот процесс является доминирующим, а малых количеств введенной металлической добавки недостаточно для формирования плотного кермета.

Для выявления особенностей структуры, лежащих в основе высокой микротвердости керметов  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -Nb, методом трансмиссионной электронной микроскопии

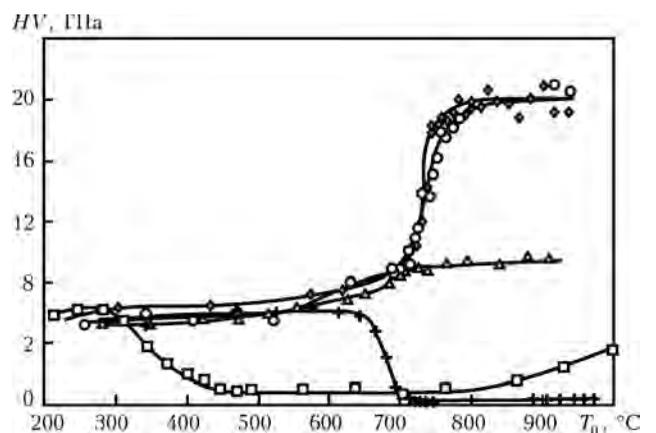


Рис. 3. Микротвердость конденсатов  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (□),  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -1,5 % Nb (+),  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -4 % Nb (Δ),  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -15 % Nb (○),  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -21 % Nb (◇) в зависимости от температуры подложки  $T_n$

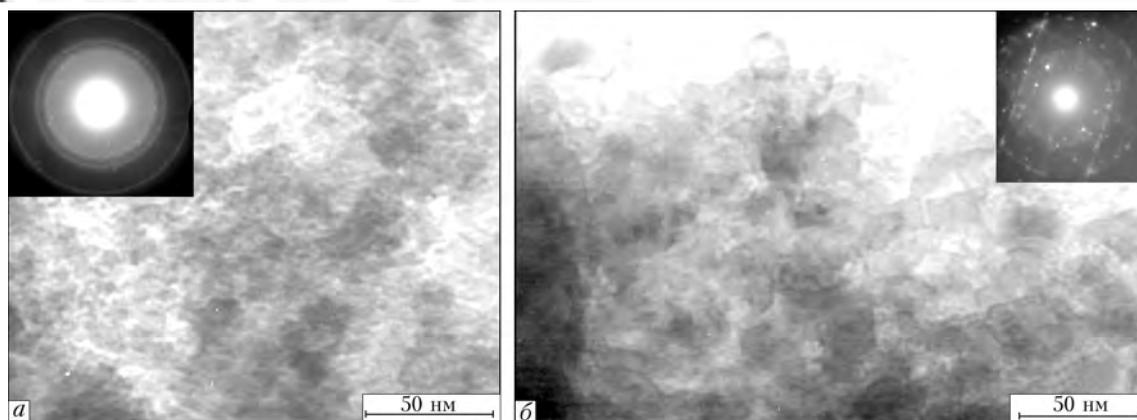


Рис. 4. Структура и электронограмма конденсатов  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -21 % Nb, осажденных при температурах подложки 900 (а) и 250 °С после отжига в вакууме при температуре 900 °С (б)

исследовали конденсаты, синтезированные в интервале температур  $250\text{ °С} < T_{\text{п}} < 900\text{ °С}$ .

Установлено (рис. 4, а), что конденсаты, полученные в первой структурной зоне  $250\text{ °С} < T_{\text{п}} < 325\text{ °С}$  отличаются ультрадисперсной структурой, о чем свидетельствуют характерные размытые гало на электронограммах (энергия ускоренных электронов 200 кэВ). Размерность структурных элементов исследуемых материалов, по нашим оценкам, составляет менее 1 нм. С повышением температуры подложки на электронограммах появляются линии и точечные рефлексы, что связано с увеличением размера кристаллитов. Так, при температуре на подложке 900 °С формируется поликристаллическая структура с размером структурных составляющих 5... 20 нм (рис. 4, а).

Из сопоставления результатов механических и структурных исследований следует, что увеличение микротвердости керметов на основе  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , по сравнению с чистым  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , сопровождается переходом масштаба их структурных составляющих из ультрадисперсной в наноструктурную область.

Существует несколько основных технологических подходов, применение которых позволяет акцентировать процессы структурообразования толстых конденсатов [6]. В основе формирования материалов способом ЕРVVD лежит контроль энергии молекул и атомов осаждаемых материалов. Влия-

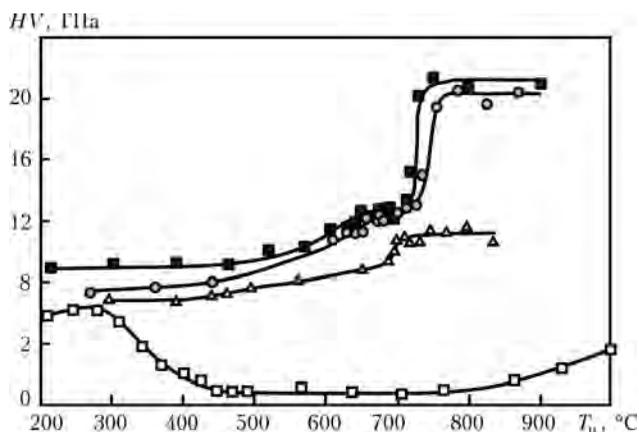


Рис. 5. Микротвердость конденсатов  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (□),  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -4 % Nb\* (Δ),  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -13 % Nb\* (○),  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -18 % Nb\* (■) в зависимости от температуры подложки  $T_{\text{п}}$

ние на их структурообразование можно осуществлять двумя способами: задавая энергию поверхности конденсации (температуру подложки) и изменяя энергию конденсирующихся атомов. Интерес вызывает вопрос эффективности повышения энергии конденсирующихся атомов для синтеза твердых материалов. Поэтому на третьем этапе данной работы исследовали микротвердость керметов  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -Nb\*, полученных с применением ионизации атомов металла добавки ниобия в электрическом поле (ионная активация).

Результаты измерений микротвердости конденсатов  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -Nb\* (рис. 5) подтверждают эффективность применения ионной активации парового потока металлической добавки. Максимальные значения микротвердости HV 21... 22 ГПа в интервале температур  $725\text{ °С} < T_{\text{п}} < 900\text{ °С}$  получены для керметов  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -(13... 18 мас. %) Nb и фактически совпадают с уровнем микротвердости керметов  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -(15... 21 мас. %) Nb, полученных ранее без применения ионизации. Однако в интервале температур  $200\text{ °С} < T_{\text{п}} < 725\text{ °С}$  уровень микротвердости керметов  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -Nb\* на 30... 60 % выше и составляет в зависимости от количества металлической добавки 7... 13 ГПа. Представленные зависимости микротвердости (рис. 5) в указанном интервале температур  $T_{\text{п}}$  имеют монотонный характер, однако, в отличие от конденсатов, выполненных без ионной активации (рис. 3), уровень микротвердости полученных материалов повышается с увеличением концентрации металлической добавки (ниобия). По-видимому, это результат вклада при синтезе материала активированных атомов, количество которых прямо пропорционально массовой доле вводимой металлической добавки. В данных экспериментах ионизация паровой фазы ниобия не превышала 20 %, т. е. фактически ионизировано 1,0; 2,5 и 4 % всего конденсирующегося материала, поэтому дальнейшее повышение степени ионизации металлической добавки представляет возможности для получения более твердых керметов  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -Nb.

Таким образом, показана эффективность применения ионной активации для повышения микротвердости керметов  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -Nb.

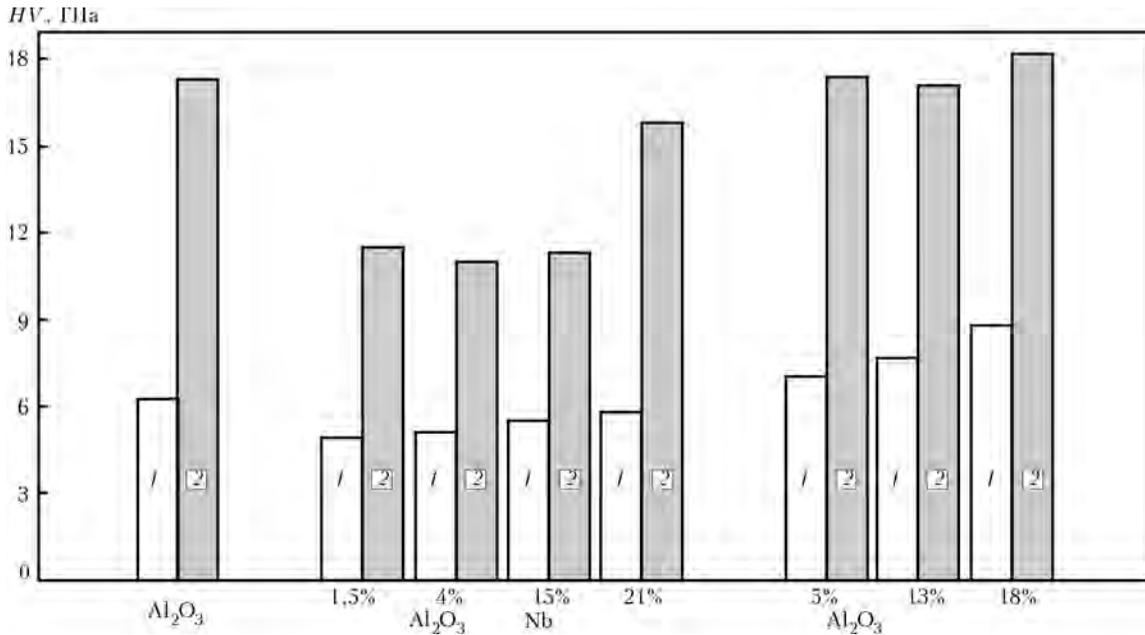


Рис. 6. Микротвердость конденсатов Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Nb, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Nb\*, полученных при T<sub>п</sub> = 250 °С до и после термической активации (T = 900 °С, 1 ч в вакууме P = 1,3·10<sup>-4</sup> Па): 1 – исходный; 2 – после термической активации

На четвертом этапе изучали влияние термической активации (отжиг в вакууме P = 1,3·10<sup>-4</sup> Па в течение 1 ч) на микротвердость керметов. Конденсаты систем Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Mo, Nb, Zr, Ti, полученные в первой структурной зоне формирования Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (250 °С < T<sub>п</sub> < 325 °С), после отжига при T = 1100 °С имели микротвердость на уровне 20... 21 ГПа, что, очевидно, связано с переходом γ-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> в α-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

Более подробно исследовали влияние термической активации при T = 900 °С на микротвердость конденсатов системы Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Nb в зависимости от концентрации добавки. Согласно диаграмме, приведенной на рис. 6, в результате отжига керметов Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-

(1,5... 15 %) Nb их микротвердость повышается до 11,5 ГПа. При этом наибольшим потенциалом для получения высокой микротвердости с помощью термической активации отличается система Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-21 % Nb – HV 16 ГПа. Микротвердость керметов, полученных с применением ионной активации паров ниобия в интервале доз 5... 18 мас. %, после отжига повышается до 17... 18 ГПа, что соответствует микротвердости отожженного Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Исследования термообработанных конденсатов Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-21 % Nb (T<sub>п</sub> = 250 °С) методом трансмиссионной электронной микроскопии показали (рис. 4, б), что в результате отжига происходит переход ультрадисперсной

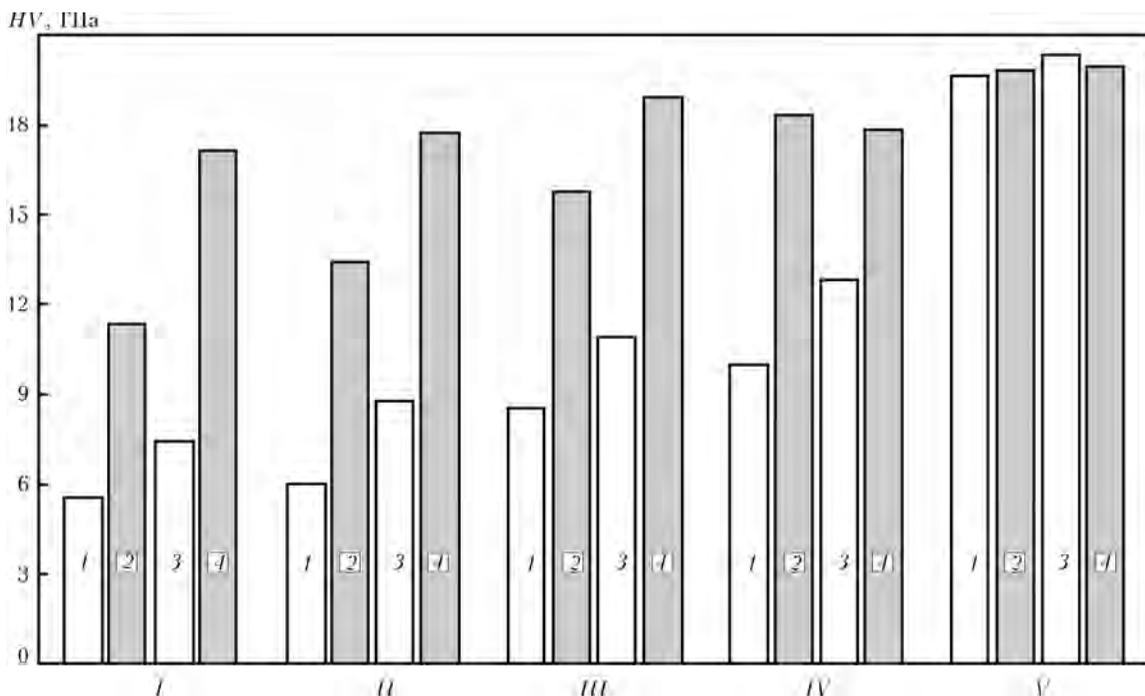


Рис. 7. Микротвердость конденсатов Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Nb, полученных в интервале 250 °С < T<sub>п</sub> < 840 °С, до и после термической активации (T = 900 °С, 1 ч в вакууме P = 1,3·10<sup>-4</sup> Па): 1 – Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-15 % Nb; 2 – Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-15 % Nb после термической активации; 3 – Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-13 % Nb\*; 4 – Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-13 % Nb\* после термической активации при T<sub>п</sub> = 300 (I), 475 (II), 650 (III), 710 (IV), 850 (V) °С



структуры в поликристаллическую с размером структурных элементов 10... 50 нм.

Дополнительные исследования, направленные на изучение эффективности термической активации для повышения твердости полученных материалов в зависимости от температуры подложки, были проведены для систем  $Al_2O_3-15\% Nb$  и  $Al_2O_3-13\% Nb^*$  (рис. 7). Установлено, что микротвердость керметов, полученных без применения ионной активации добавки, после отжига монотонно возрастает в интервале температур  $250\text{ }^\circ\text{C} < T_{\text{п}} < 725\text{ }^\circ\text{C}$ . Керметы, синтезированные с применением ионной активации после отжига, имеют постоянную микротвердость на уровне 16... 20 ГПа во всем интервале  $T_{\text{п}}$ .

### Выводы

1. Определены перспективные добавки для получения высокотвердых наноструктурных керметов на основе  $Al_2O_3$  способом EB PVD — тугоплавкие металлы молибден и ниобий.

2. Наибольшие значения микротвердости керамико-металлических конденсатов на основе  $Al_2O_3$  — 20... 22 ГПа — получены с использованием добавок ниобия и молибдена в количестве 15... 21 мас. % в интервале температуры подложки соответственно  $725\text{ }^\circ\text{C} < T_{\text{п}} < 950\text{ }^\circ\text{C}$  и  $850\text{ }^\circ\text{C} < T_{\text{п}} < 950\text{ }^\circ\text{C}$ .

3. Показано, что использование ионной активации парового потока добавки существенно (на 30... 60 %) повышает уровень микротвердости керметов  $Al_2O_3-Nb$  за счет подведения дополнительной энергии к поверхности конденсации.

4. Установлено, что термическая активация вносит дополнительный вклад в увеличение микротвердости керметов  $Al_2O_3-Nb$ .

5. Полученные способом электронно-лучевого испарения керметы  $Al_2O_3-Nb$  и  $Al_2O_3-Mo$  перспективны для применения в качестве конструкционных покрытий на изделиях из различных теплоустойчивых сталей, работающих в условиях повышенных температур.

1. *Керметы* / Под ред. Дж. Р. Тинкляпо, У. Б. Крендалла. — М.: Изд-во иностр. лит., 1962. — 367 с.
2. *Кречмар Э.* Напыление металлов, керамики и пластмасс. — М.: Изд-во Машиностроение, 1966. — 345 с.
3. *Мовчан Б. А.* Электронно-лучевая технология испарения и осаждения из паровой фазы неорганических материалов с аморфной нано- и микроструктурой // Наносистемы, наноматериалы, нанотехнології. — 2004. — 2, № 4. — С. 1103–1126.
4. *Яковчук К. Ю., Стельмах Я. А.* Лабораторная электронно-лучевая установка для осаждения из паровой фазы неорганических материалов с аморфной, нано- и микроразмерной структурой // Материалы конференции НАН-СИС-2004 (Киев, 12–14 окт., 2004). — Киев, 2004. — 387 с.
5. *Крушинская Л. А., Стельмах Я. А.* Структура и некоторые свойства толстых конденсатов оксида алюминия, получаемых электронно-лучевым испарением и осаждением паровой фазы в вакууме // Наносистемы, наноматериалы, нанотехнології. — 2010. — 8, № 4. — С. 1003–1014.
6. *Мовчан Б. А.* Электронно-лучевая гибридная нанотехнология осаждения неорганических материалов в вакууме // Актуальные пробл. современ. материаловед. — Киев: «Академперіодика», 2008. — С. 227–247.
7. *Мовчан Б. А., Демчишин А. В.* Исследования структуры и свойств толстых вакуумных вольфрамовых конденсатов никеля, титана, вольфрама, окиси алюминия и двуокиси циркония // Физика металлов и металловед. — 1969. — 28, вып. 4. — С. 653–660.

Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины

Поступила 20.03.2012

## НОВАЯ КНИГА

**Б. Є. Патон: 50 років на чолі Академії.** — К.: Академперіодика, 2012. — 776 с., 136 с. ил. (укр. и рус. языки).

В книге освещена 50-летняя деятельность выдающегося украинского ученого и организатора науки академика Б. Е. Патона на посту Президента Национальной академии наук Украины. Известные ученые, среди них академики А. П. Александров, Г. И. Марчук, Ю. С. Осипов, Н. М. Амосов, Ж. И. Алферов, Н. В. Багров, О. М. Белоцерковский, П. А. Витязь, Д. М. Гродзинский, Л. В. Губерский, И. М. Дзюба, М. З. Згуровский, Е. Н. Каблов, В. Г. Кадышевский, Н. Н. Кудрявцев, Ю. И. Кундиев, Н. П. Лаврев, Н. В. Новиков, Б. И. Олейник, В. В. Панасюк, Ю. Н. Пахомов, Е. М. Примаков, В. А. Садовничий, А. М. Сердюк, К. М. Сытник, В. В. Скороход, А. А. Созинов, В. И. Старостенко, Б. С. Стогний, В. Я. Таций, П. П. Толочко, делятся впечатлениями о личном общении с Б. Е. Патонем, его огромном вкладе в развитие науки и техники. Книга иллюстрирована многочисленными фотографиями.

Может быть полезна всем, кто интересуется историей науки.

