

doi: 10.32620/oikit.2018.81.11

УДК 621.865.6

* Г. И. Костюк, **О. О. Бруяка

О влиянии доли карбида титана на образование наноструктур в твердых сплавах (Al_2O_3 и TiC) при разном их соотношении

**Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского
«Харьковский авиационный институт»*

***Национальный авиационный университет*

На примере исследования влияния доли компонент в твердом сплаве, содержащем Al_2O_3 и TiC при разных соотношениях доли компонент, определены объемы наноструктур, которые реализуются при действии ряда ионов (бор, азот, цирконий, гафний). Получены условия (соотношения компонент), при которых реализуются минимальные размеры зерна, т. е. поверхность твердого сплава имеет наилучшие физико-механические характеристики при $50\text{Al}_2\text{O}_3$ и 50TiC . Показано, что при обработке чистого Al_2O_3 и TiC можно получить и довольно низкие значения размера зерна. При соотношениях компонент 20-80 и 80-20 реализованы большие значения размера зерна, чем в предыдущих случаях. Неравновесные состояния тоже можно использовать после исследования физико-механических характеристик твердых сплавов. Показано, что при действии легких ионов (азот) температурные напряжения не достигают необходимых значений для образования наноструктур, а при действии тяжелых ионов (гафний) существует большая вероятность реализации наноструктур при энергии 20кэВ и незначительная – при действии ионов с энергией 200эВ.

Ключевые слова: твердый сплав, карбид титана, оксид алюминия, соотношения компонент образования наноструктур, температурные напряжения.

Введение

В настоящее время проектирование материала твердого сплава проводится без учёта возможности повышения его свойств за счёт образования наноструктур, упрочнённых различными методами, включая и образования наноструктур твердых сплавов, которые будут отличаться от твердых сплавов в основном состоянии и, очевидно, необходимо при проектировании состава твердого сплава учитывать конечный результат – возможности режущего инструмента с упрочнённым слоем, тогда эффективность режущего инструмента будет выше.

1. Состояние вопроса

Существует достаточное количество теоретических работ по расчету размера зерна [1 - 2], с учётом различных факторов и процессов при действии потоков ионов или ионизированного излучения. Но сравнения результатов расчётов размеров зерна в твердых сплавах после воздействия фемтолазера нет. Проведём такое сравнение для двух сплавов – T12A и T23A (производство Японии), причём у первого имеем $0,83\text{TiN}+0,12\text{TaN}$ сравнение результатов по объёмам зерна наноразмеров свидетельствует о перспективности использования того или иного твердого сплава, а значит, определяет влияние доли нитрида тантала на физико-технические характеристики и работоспособность твердого сплава. Поэтому исследование влияния доли компонент в сплавах $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiC}$ на эффективность образования наноструктур позволит конструировать новые твердые сплавы с учетом образования наноструктурных слоев.

2. Постановка задачи

На основе решения совместной задачи теплопроводности и термоупругости, в которой учтены не только основные источники и стоки тепла, но и энергия кристаллизации, и использование теплофизических и термомеханических характеристик материала РИ, рассчитанных квантово-механическим методом. получены основные характеристики наноструктур – это прежде всего объем зерна, а также технологические параметры обработки.

Проведено исследование влияния доли карбида титана в твердых сплавах, содержащих Al_2O_3 и TiC, на характер образования наноструктур в поверхностном слое, рассчитан объем наноструктуры, температурное напряжение, температуры и скорость их роста. По критериям: требуемый диапазон температур 500...1500 К и скорости роста температур более чем 10^7 К/с, определяет зону, где эти критерии выполняются и рассчитывали ее объем. Кроме того, вычисляем температурные напряжения, которые при превышении значения 10^{10} Па могут приводить к появлению наноструктур.

3. Результаты расчета и их обсуждения

Рассматриваются такие соотношения между Al_2O_3 и TiC: 0-100, 20-80, 50-50, 80-90, 100-0. Для случая действия ионов бора влияние доли карбида титана на объем наноструктуры показано на рис. 1. Видно, что минимальные объемы наноструктуры реализуются при соотношении 50-50, т. е. при равном количестве Al_2O_3 и TiC. Несколько большие значения реализуются при соотношениях 0-100 и 100-0, где один карбид титана или оксида алюминия. Причем такой характер сохраняется для всех энергий ионов 200, 2000 и 20000 В, а также при разных зарядовых числах ионов - 1, 2, 3. Очевидно, это связано с тем, что при равном соотношении компонентов образуется твердый раствор и зерно измельчается. Менее интенсивно образуются наноструктуры в случае действия иона бора на чистый Al_2O_3 и TiC. Соотношение 20-80 и 80-20 между компонентами приводят к возникновению неравновесных состояний, которые не дают образовываться компактным наноструктурам, поэтому растет размер зерна, а соответственно и их объем (рис. 1).

При действии ионов азота на твердые сплавы с предлагаемыми соотношениями компонент показало, что значения объема ниже и реализуются условия; при которых объем наноструктуры уменьшается, хотя характер влияния доли компонент остается прежним (рис. 2).

В этом случае минимальный объем наноструктуры реализуется при соотношении компонент 50-50, несколько большие значения реализуются при соотношении компонент 0-100 и 100-0, а самые большие значения реализуются для соотношений 20-80 и 80-20. В этом случае, очевидно, так же влияет процесс неравновесного образования наноструктуры, при котором неупорядоченная наноструктура приводит к росту объема.

В случае действия иона циркония характер изменения объема от доли компонент сохраняется, но значения существенно уменьшаются. При этом так же минимальный объем наноструктуры реализуется при соотношении компонент 50-50, несколько большие значения при соотношении компонент 0-100 и 100-0, а максимальные значения реализуются для соотношений 20-80 и 80-20. Использование тяжелых ионов приводит к существенному уменьшению размера зерна, причем вероятность получения наноструктур увеличивается (рис. 3).

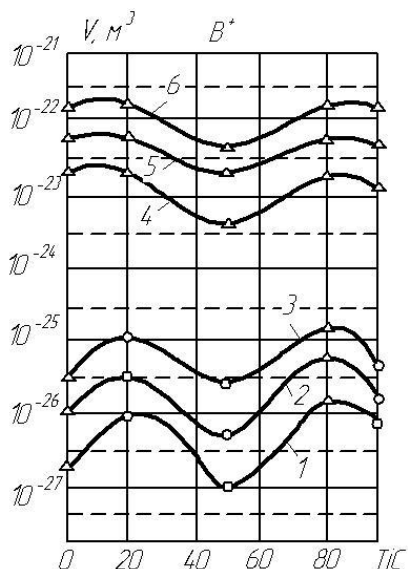


Рис. 1. Зависимость объема НС при действии ионов бора на твердые сплавы группы $Al_2O_3 + TiC$ от соотношения компонент

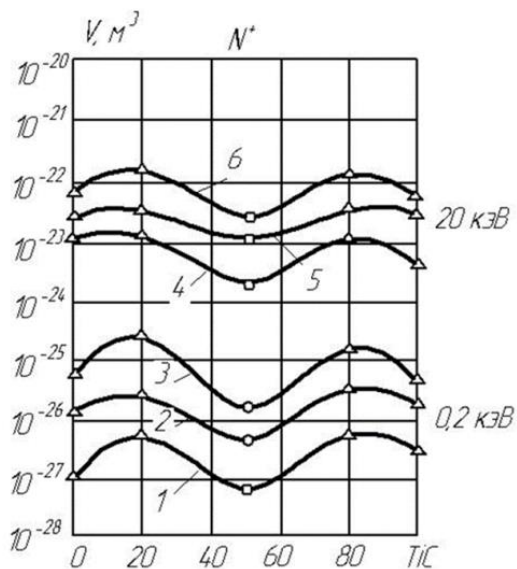


Рис. 2. Зависимость объема НС при действии ионов азота на твердые сплавы группы $Al_2O_3 + TiC$ от соотношения компонент

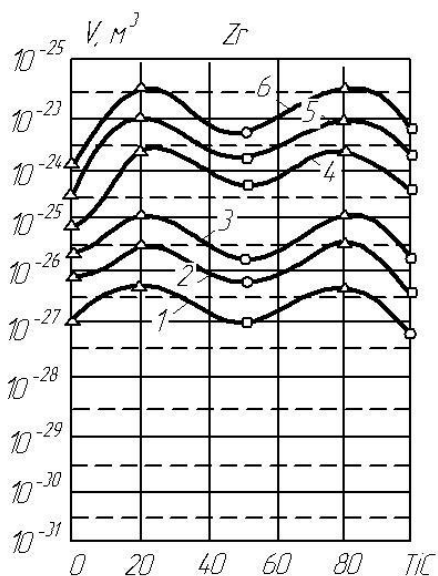


Рис. 3. Зависимость объема НС при действии ионов циркония на твердые сплавы группы $Al_2O_3 + TiC$ от соотношения компонент

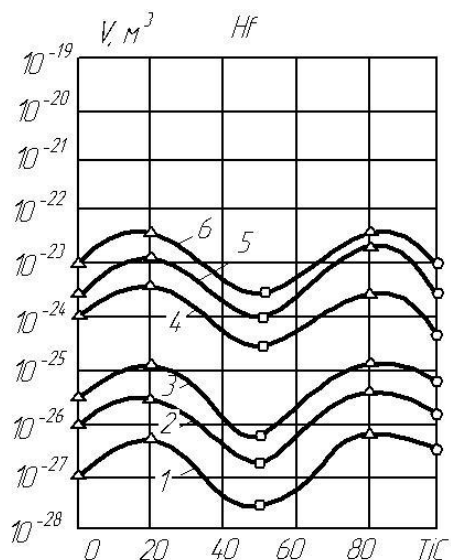


Рис. 4. Зависимость объема НС при действии ионов гафния на твердые сплавы группы $Al_2O_3 + TiC$ от соотношения компонент

Воздействие иона гафния на исследуемые твердые сплавы приводит к существенному росту температуры, но зона образования наноструктур уменьшается. Характер влияния доли компонентов на объем зерна сохраняется. Минимальный объем наноструктуры реализуется при соотношении компонент 50-50, несколько большие значения при соотношении компонент 0-100 и 100-0, а максимальные значения реализуются для соотношений компонент 20-80 и 80-20. Что тоже, очевидно, связано с появлением неравновесных структур, которые влияют

на размер зерна за счет неупорядоченности структур, а значит, и их твердый раствор является неравномерным, что может ухудшить их характеристики (рис. 4).

Для реализации очередного критерия – достижения значений необходимых температурных напряжений было исследовано влияние доли компонентов на величины температурных напряжений при действии ионов азота (рис. 5). Величины температурных напряжений с ростом доли TiC до 80 процентов растут, а после (100-0) падают до значений даже меньших, чем при соотношении компонент 0-100. В этом случае максимальные температурные напряжения не достигают необходимых значений для реализации наноструктур даже при энергии 20000 еВ. В этом случае критерий получения наноструктур под действием температурных напряжений не выполняется.

При действии ионов гафния картина резко изменилась (рис. 6). Для высоких энергий (20 кВ) практически для всех зарядовых чисел ($z=1,2,3$) реализуются условия для образования наноструктур и даже при энергии 200 В есть небольшая зона вблизи отсутствия TiC (0-20), есть возможность образования наноструктур, т. е. в этом случае ионы гафния позволяют реализовать наноструктуры под действием температурных напряжений в широком диапазоне соотношений компонент и даже при малых энергиях.

Максимальные значения температурных напряжений при энергии иона гафния 20кВ реализуются при значении соотношения компонент 50-50, а при малых энергиях (200 еВ) один из максимумов так же реализуется при соотношении 50-50, но наиболее высокие значения реализуются при соотношении 0-100, то есть когда в твердом сплаве находится только Al_2O_3 .

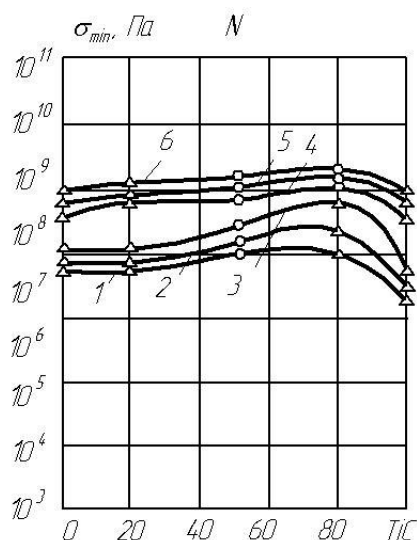


Рис. 5. Зависимость температурных напряжений от соотношения компонент твердого сплава при действии ионов азота

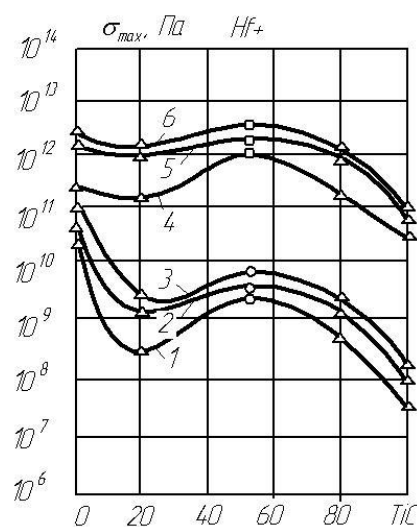


Рис. 6. Зависимость температурных напряжений от соотношения компонент твердого сплава при действии ионов гафния

Выводы

Образование наноструктур по критерию – требуемый диапазон температур 500...1500K и скорости нарастания температуры 10^7 K/c – обеспечивает минимальный размер зерна при соотношении компонент 50-50. Незначительные размеры зерна также реализуются при соотношении компонент 0-100 и 100-0. Максимальные размеры реализуются при соотношении зерна 20-80 и 80-20. Последнее объясняется неравновесностью структур и сложностью образования стабильных твердых растворов, которые обеспечили бы получение нанозерна.

При действии иона азота на твердый сплав максимальные напряжения реализуются при соотношении 80 % TiC $20\text{Al}_2\text{O}_3$. Минимальные же значения напряжений реализуются при 100 % TiC, несколько большие значения при 100 процентом Al_2O_3 , что, очевидно, тоже связано со структурой TiC и Al_2O_3 .

Проведенные исследования показывают, что расчетным путем можно найти наиболее выгодное соотношение компонент, при котором будут реализовываться наноструктуры с наименьшим размером и вероятность их образования будет максимальной. Видно, что определяющее влияние на объем нанокластера оказывает энергия иона и его заряд, в то же время влияет и масса иона, правда, не так существенно.

Список литературы

1. Костюк, Г.И. Эффективный инструмент с нанопокровками и наноструктурными модификационными слоями [Текст]: моногр.-справ.: в 2 кн. / Г.И. Костюк. – Харьков: Изд-во. Планета-принт. Кн. 1. Плазменно-ионные и ионно-лучевые технологии, 2016. – 735 с.
2. Костюк, Г.И. Эффективный инструмент с нанопокровками и наноструктурными модификационными слоями [Текст]: моногр.-справ.: в 2 кн. / Г.И. Костюк. – Харьков: Изд-во. Планета-принт. Кн. 2. Лазерные технологии, 2017. – 507 с.

Поступила в редакцию 28.09.2018

Про вплив частки карбиду титану на утворення наноструктур у твердих сплавах (Al_2O_3 і TiC) при різному їх співвідношенні

На прикладі дослідження впливу частки компонент у твердому сплаві, що містить Al_2O_3 і TiC при їх різних співвідношеннях частки компонент, визначено обсяги наноструктур, які реалізуються при дії ряду іонів (бор, азот, цирконій, гафній). Отримано умови (співвідношення компонент), при яких реалізуються мінімальні розміри зерна, тобто поверхня твердого сплаву має найкращі фізико-механічні характеристики при 50 Al_2O_3 і 50TiC. Показано, що при обробленні чистого Al_2O_3 і TiC так само можна отримати досить низькі значення розміру зерна. При співвідношеннях компонент 20-80 і 80-20 реалізуються великі значення розміру зерна, ніж у попередніх випадках. Нерівноважні стану теж можна використовувати після дослі-

дження фізико-механічних характеристик твердих сплавів. Показано, що при дії легких іонів (азот), температурні напруги не досягають необхідних значень для утворення наноструктур, а при дії важких іонів (гафній) є висока ймовірність реалізації наноструктур при енергії 20 кеВ і незначна – при дії іонів з енергією 200 еВ.

Ключові слова: твердий сплав, карбід титану, оксид алюмінію, співвідношення компонент утворення наноструктур, температурні напруги.

On the influence of the proportion of titanium carbide on the formation of solid nanostructures in hard alloys (Al₂O₃ and TiC) at different ratios

The volume of nanostructures that are realized under the action of a number of ions (boron, nitrogen, zirconium, hafnium) is determined using the example of studying the influence of the fraction of components in a solid alloy containing Al₂O₃ and TiC at their different ratio of the fraction of components. Conditions (component ratios) are obtained for which the minimum grain sizes are realized, i.e., the hard alloy surface has the best physical-mechanical characteristics at 50Al₂O₃ and 50TiC. It is shown that when processing pure Al₂O₃ and TiC, it is also possible to obtain rather low grain size values. At the ratios of components 20-80 and 80-20, larger grain sizes are realized than in the previous cases. Nonequilibrium states can also be used after studying the physical and mechanical characteristics of hard alloys. It is shown that under the action of light ions (nitrogen), the temperature stresses do not reach the necessary values for the formation of nanostructures, and under the action of heavy ions (hafnium) there is a high probability of realization of nanostructures at an energy of 20 keV and insignificant under the action of ions with an energy of 200 eV.

Key words: hard alloy, titanium carbide, aluminum oxide, components of the formation of nanostructures, temperature stresses.

Сведения об авторах:

Костюк Геннадий Игоревич – профессор, доктор техн. наук, профессор кафедры теоретической механики, машиноведения и роботомеханических систем Национального аэрокосмического университета им. Н. Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт», г. Харьков, Украина.

Бруяка Ольга Олеговна – доцент, канд. техн. наук, зав. отделом довузовской подготовки Национальный авиационный университет, г. Киев, Украина.