

НАНОСТРУКТУРИРОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ МЕТАЛЛОКЕРАМИЧЕСКОГО СПЛАВА ПРИ ЭЛЕКТРОННО-ПУЧКОВОМ ОБЛУЧЕНИИ В АЗОТСОДЕРЖАЩЕЙ ПЛАЗМЕ ГАЗОВОГО РАЗРЯДА

В.Е. Овчаренко^{1,2)}, А.А. Моховиков²⁾, Н.Н. Коваль³⁾

¹⁾Институт физики прочности и материаловедения СО РАН,
пр. Академический, 2/4, 634021, Томск, тел. (3822)492771, ove45@mail.ru
²⁾Технологического института Томского политехнического университета,
ул. Ленинградская, 26, 65205, Юрга, тел. (3845)64708, maa@rambler.ru
³⁾Институт сильноточной электроники СО РАН,
пр. Академический, 2/3, 634021, Томск, тел. (3822)491713, yufi@mail2000.ru

Представлены результаты экспериментального исследования влияния азота на фазовый состав, микроструктуру, микротвердость и износостойкость в режиме резания стали металлокерамического сплава, подвергнутого электронно-пучковому облучению в азотсодержащей плазме газового разряда.

Введение

Высокоинтенсивная электронно-пучковая обработка режущей кромки, вследствие формирования неравновесного структурно-фазового состояния в поверхностном слое, является эффективным способом повышения эксплуатационных характеристик металлокерамического инструмента [1-3]. В настоящий момент задача состоит в повышении термической стабильности неравновесного структурно-фазового состояния поверхностного слоя и сохранении при повышенных температурах его функциональных свойств. Достижение поставленной цели возможно путем дополнительного образования на внутрифазных границах раздела поверхностного слоя наноразмерных частиц тугоплавких соединений. Например, при импульсном электронно-пучковом облучении металлокерамического сплава в реакционно-способной атмосфере.

Целью настоящей работы является анализ закономерностей эволюции структуры и свойств, характера разрушения поверхностного слоя металлокерамического сплава TiC-50(Ni-Cr), обработанного высокоинтенсивным электронным пучком в азотсодержащей плазме газового разряда.

Материал и методика исследования

Образцы для исследований были изготовлены из металлокерамического сплава TiC-50(Ni-Cr) в виде четырехгранных пластинок размером 10x10x4 мм³. Режущие поверхности образцов облучали электронным пучком на установке «СОЛО» с заданными значениями длительности импульса воздействия, плотности энергии электронов в импульсе и частоты следования импульсов облучения. Давление атомарного азота в вакуумной камере установки $2 \cdot 10^{-2}$ Па. Микроструктуру поверхности образцов после электронно-пучковой обработки и поверхности разрушения металлокерамического сплава исследовали на сканирующем электронном микроскопе SEM-515 «Philips». Элементный анализ участков поверхности металлокерамического сплава до и после электронно-пучкового облучения проводили с помощью приставки EDAX ECON IV к электрон-

ному сканирующему микроскопу SEM-515 «Philips». Фазовый состав и дефектную субструктуру металлокерамики анализировали на дифракционном электронном микроскопе ЭМ-125. Микротвердость поверхности облучения определяли на твердомере ПМТ-3. Исследование влияния электронно-пучкового облучения в азотсодержащей атмосфере на стойкость металлокерамического сплава осуществляли в условиях резания металла на токарном станке, оснащенном оборудованием для измерения износа на передней и задней поверхностях режущей пластины в режиме реального времени. Измерения износа режущей пластины из металлокерамического сплава при резании стальной заготовки проводили при следующих параметрах резания: скорость резания $V = 80$ м/мин, глубина резания $t = 1$ мм, подача $s = 0,1$ мм/об.

Результаты исследования и их обсуждение

В работе [4] путем численных расчетов было показано, что за время одиночного импульса в поверхностном слое металлокерамического сплава возможно образование диффузионной зоны с концентрацией азота в ней 1,5-2,0 ат. %. С увеличением плотности энергии в электронном пучке и давления азота в камере содержание азота в поверхностном слое металлокерамического сплава за время одиночного импульса облучения увеличивается и тем в большей степени, чем больше плотность энергии в электронном пучке и чем больше давление азота в камере. Продемонстрирована возможность азотирования металлического связующего поверхностного слоя металлокерамического сплава TiC-(Ni-Cr) на глубину до 5 мкм при содержании азота в поверхностном слое до 1,5 – 2,0 ат. %.

Согласно проведенным численным оценкам [4], образцы металлокерамического сплава облучали электронным пучком импульсами длительностью 50...200 мкс при плотности энергии в электронном пучке 20...60 Дж/см² при остаточном давлении аргона или азота в плазме газового разряда $\sim 10^{-2}$ Па. Толщина расплава металлического

связующего в поверхностном слое металлокерамики при этом достигала 10 мкм. Скорость охлаждения расплава по окончании импульса облучения составляла 10^6 К/с.

Результаты исследования микротвердости поверхности металлокерамического сплава после электронно-пучкового облучения в азотсодержащей плазме газового разряда приведены на рис. 1 а, б (кривые 1). Для сравнения на рис. 1 а, б (кривые 2) приведены зависимости значений микротвердости поверхности металлокерамического сплава после облучения в аргонсодержащей газовой среде.

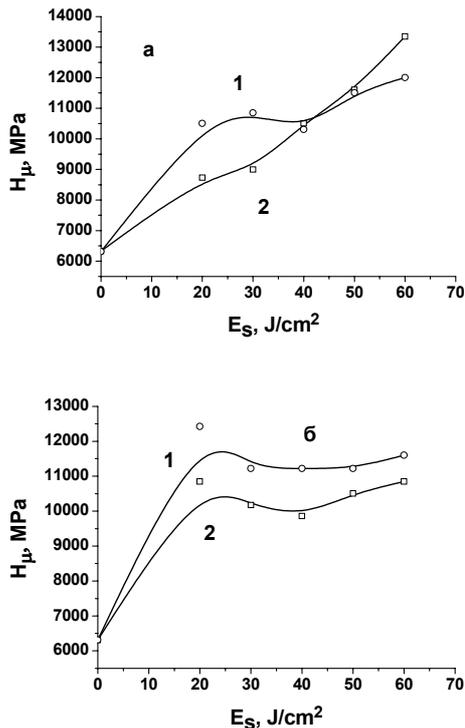


Рис. 1. Зависимости микротвердости поверхности образцов металлокерамического сплава после электронно-пучкового облучения импульсами длительностью 150 мкс (а) и 200 мкс (б) в азотсодержащей (кривые 1) и аргонсодержащей (кривые 2) атмосферах в рабочей камере установки от плотности энергии в электронном пучке.

Анализируя представленные на рис. 1 зависимости можно отметить, что при длительности импульсов пучка электронов 150 мкс облучение при малых и средних значениях плотности энергии пучка электронов ($20...30$ Дж/см²) в азотсодержащей плазме приводит к более значительному упрочнению поверхностного слоя, по сравнению с облучением в аргонсодержащей плазме. При длительности импульсов пучка электронов 200 мкс интервал облучения, при котором наблюдается значительное упрочнение поверхностного слоя, существенно расширяется ($20...60$ Дж/см²). При малых значениях плотности энергии пучка электронов это различие достигает величины в 1500 МПа и постепенно снижается с ростом плотности энергии в электронном пучке.

Очевидно, что наиболее вероятными причинами выявленного увеличения твердости поверхностного слоя металлокерамики являются насыщение поверхностного слоя азотом (формирование твердого раствора азота в связующем сплаве) и образование частиц нитридной фазы. Анализ фазового состава поверхности облучения осуществляли методами электронной дифракционной микроскопии тонких фольг. На рис. 2 приведены микроструктуры металлокерамического сплава после электронно-пучкового облучения в азотсодержащей плазме. Анализ микроэлектроннограмм, полученных с фольг, дает основание говорить, что в металлическом связующем (Ni-Cr-Al) металлокерамического сплава формируются выделения нитридной фазы. Электронно-пучковое облучение в азотсодержащей плазме приводит к образованию частиц нитридов титана и алюминия (рис. 2). Частицы нитрида титана имеют преимущественно округлую форму; размеры их изменяются в пределах $50...100$ нм. Частицы нитрида алюминия имеют пластинчатую форму; размеры их изменяются в пределах $30...80$ нм.

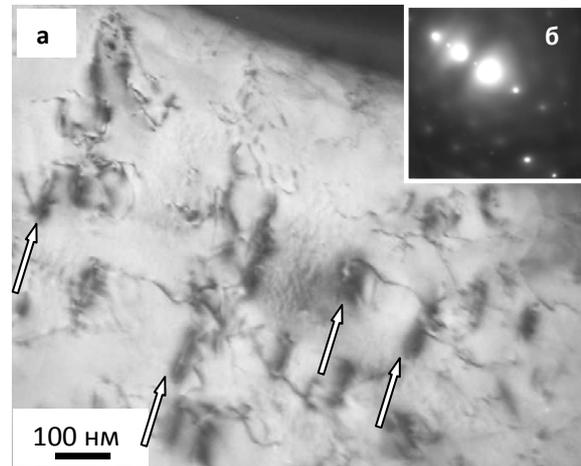


Рис. 2. Электронно-микроскопическое изображение микроструктуры поверхностного слоя металлокерамического сплава после электронно-пучкового облучения в азотсодержащей плазме газового разряда: а – светлое поле (стрелкой указаны частицы AlN); б – микроэлектроннограмма.

Насыщение поверхностного слоя металлокерамического сплава азотом сопровождается повышением стойкости режущей кромки инструмента при резании металла. Результаты испытаний в виде зависимостей времени резания стали резцом из металлокерамического сплава до заданной степени износа его режущей кромки от длительности импульса электронно-пучкового облучения при различной плотности энергии в электронном пучке представлены на рис. 3. Можно констатировать, что электронно-пучковое облучение поверхности металлокерамического сплава в азотсодержащей атмосфере при повышении плотности энергии в электронном пучке до $50...60$ Дж/см² при 15 импульсах облучения приводит к увеличению срока службы металлокерами-

ческой режущей пластины при точении стали 45 (Fe-0,45 вес. % С) в 4-5 раз.

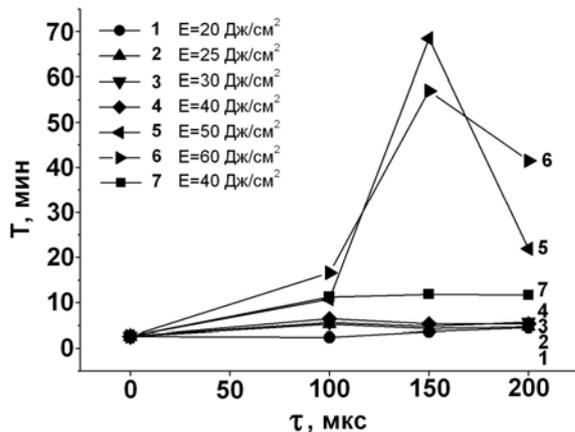


Рис. 3. Зависимости времени резания стали резцом из металлокерамического сплава до заданной степени износа его режущей кромки от длительности импульса электронно-пучкового облучения в азотсодержащей среде при различной плотности энергии в электронном пучке E_s , Дж/см²: 1 – 20; 2 – 25; 3 – 30; 4 – 40; 5 – 50; 6 – 60; 7 – 70.

Методами сканирующей электронной микроскопии выполнены исследования поверхности режущих кромок резцов из металлокерамического сплава после стойкостных испытаний в условиях резания металла. Показано, что режущая кромка необработанной пластины имеет овальную форму, поверхность содержит выбоины. Обработка режущей кромки электронным пучком в среде азота приводит к равномерному износу материала, выбоин твердого сплава не наблюдается. Выявлено присутствие металла (сталь 45) на режущей кромке необработанного резца. Подобных налипаниям стали на поверхность режущей кромки резца, обработанного электронным пучком в сре-

де азота, не наблюдается. Последнее означает, что электронно-пучковая обработка режущей кромки твердого сплава в оптимальном режиме (плотность энергии пучка электронов $E_s = 50$ Дж/см²; длительность импульса воздействия пучка электронов $\tau = 150$ мкс; число импульсов воздействия пучка электронов $N = 15$ имп.; частота следования импульсов $f = 0,3$ Гц) приводит, наряду с увеличением износостойкости, к снижению коэффициента трения твердого сплава по стали.

Заключение

Установлено, что электронно-пучковое облучение металлокерамического сплава в азотсодержащей плазме газового разряда, приводя к образованию на внутренних поверхностях раздела модифицированной структуры поверхностного слоя наноразмерных частиц тугоплавких нитридов, стабилизирующих неравновесные структурно-фазовые состояния поверхностного слоя при повышенных температурах, многократно повышает стойкость металлокерамического сплава при резании металла (в 4...5 раз).

Работа выполнена в рамках Интеграционного проекта Сибирского отделения РАН №43.

Список литературы

1. Овчаренко В.Е., Иванов Ю.Ф. // Металловедение и термическая обработка металлов. - 2008. - 7(637). - С. 48-52.
2. Иванов Ю.Ф., Колубаева Ю.А., Григорьев С.В., Овчаренко В.Е., Коваль Н.Н. // Известия Томского политехнического университета. - 2008. - Т.31. - 2. - С. 110-113.
3. Овчаренко В.Е., Иванов Ю.Ф. // Известия Томского политехнического университета. - 2008. - Т. 313. - 2. - С. 114-118.
4. Овчаренко В.Е., Букрина Н.В., Иванов Ю.Ф., Моховиков А.А., Ван Джинчен, Ю. Баохай. // Известия Томского политехнического университета. - 2011. - Т. 318. - 2. Математика и механика. Физика. - С. 110-115.

NANOSTRUCTURIZATION OF SURFACE LAYER OF THE METAL-CERAMIC ALLOY AT AN IRRADIATION A PULSE ELECTRON BEAM IN NITROGEN CONTAIN GAZ DISCHARGE PLASMA

V.E. Ovcharenko^{1,3}, Y.F. Ivanov², A.A. Mohovikov³

¹Institute of Strength Physics and Materials Science RAS SB,
2/4, Academicheskii pr., 634021, Tomsk, Russia, (3822)492771, ove45@mail.ru

²Institute of Heave-Current Electronics RAS SB,
2/3, Academicheskii pr., 634021, Tomsk, Russia, (3822)491713, yufi@mail2000.ru

³Yurga Technological Institute of Tomsk Polytechnic University, (3845)64708, maa@rambler.ru
26, Leningradskaya st., 652050, Yurga, Russia, (3845)64708, maa@rambler.ru

The results of experimental investigation nitrogen influence on phase composition, microstructure, microhardness, wear resistance while cutting metal-ceramic alloy under electron beam treatment in a chamber with nitrogen atmosphere.