

Исследование влияния ионно–лучевой на механические свойства
безвольфрамовых твердых сплавов «TiC–NiTi»

А.М. Бадамшин, А.Е. Казанцева, А.Е. Тимонин, З.Ю. Руппель,

М.А. Бургонов, А.И. Глотов, Н.Н. Устинов

*Омский государственный технический университет, Россия, г. Омск, пр–
т Мира, д. 11*

Аннотация: в статье приведены результаты исследования влияния различных видов ионно–лучевой обработки (непрерывный и мощный ионный пучок) на микротвердость безвольфрамовых твердых сплавов системы «TiC–NiTi» с различным соотношением связующей и карбидной фаз.

Ключевые слова: безвольфрамовые твердые сплавы, карбид титана, никелид титана, ионно–лучевая обработка, мощный ионный пучок, непрерывный ионный пучок.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время в металлообрабатывающих производствах на смену твердым сплавам на основе карбида вольфрама и кобальта приходят безвольфрамовые твердые сплавы (БВТС) из менее редких и дорогостоящих компонентов. Наиболее распространенным аналогом карбида вольфрама (WC) при производстве металлорежущих пластин является карбид титана (TiC). БВТС на основе карбида титана обладают высокой твердостью и износостойкостью, которая сохраняется при высоких температурах резания. К недостаткам БВТС на основе карбида титана, существенно ограничивающих их область применения, можно отнести низкое значение ударной вязкости и предела прочности на изгиб. Так, например, металлорежущие пластины из сплава TN20 (TiC–Ni–Mo) обладают высокой стойкостью при непрерывной обработке резанием конструкционных и низколегированных сталей, но совершенно непригодны для обработки жаропрочных материалов и резания в условиях ударных нагрузок [1, 2].

Многочисленные исследования в области разработки состава и технологии изготовления БВТС с целью повышения их эксплуатационных характеристик привели к появлению твердых сплавов системы «TiC–NiTi». БВТС данной системы за счёт уникальных демпфирующих свойств связующей фазы и хорошей смачиваемости карбидных зёрен обладают удовлетворительной вязкостью, что может позволить осуществить их применение в области ремонта и изготовления узлов железнодорожного транспорта, в частности, при операции восстановления профиля железнодорожных колёс.

В настоящей работе приведены результаты исследования влияния непрерывного ионного пучка (НИП) и мощного ионного пучка (МИП) на изменения механических свойств БВТС системы «TiC–NiTi» с различным

соотношением карбидной и связующей фазы. Стоит отметить, что технология ионно–лучевой обработки (ИЛО) хорошо себя зарекомендовала в области повышения эксплуатационных характеристик традиционных твердых сплавов на основе карбида вольфрама. Так, например, в работе [3] приведены результаты в которых удалось повысить стойкость пластин из сплава ВК6 в 2–2,5 раза при обработке жаропрочного хромоникелевого сплава ХН62БМКТЮ. Влияние ионного облучения на свойства БВТС в настоящий момент изучено недостаточно и представляет большой научный и практический интерес.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Объектом исследования являлись БВТС системы «TiC–NiTi» с содержанием связующей фазы от 48 до 60 об. %. Исходным компонентом для изготовления образцов твердых сплавов являлась смесь спрессованных порошков карбида и никелида титана с добавлением 6% раствора каучука в чистом бензине. Размер частиц карбидных зёрен находился в диапазоне от 1 до 5 мкм, связующей фазы – от 5 до 50 мкм. Прессование порошкообразных компонентов проводилось при давлении 150 ± 10 МПа. Спекание образцов осуществлялось в печи СШВ 1,25/25 при остаточном давлении не выше $5 \cdot 10^{-5}$ Торр и температуре $1350 \pm 10^\circ\text{C}$.

Облучение БВТС непрерывным ионным пучком (Ar+Zr) проводилось с использованием установки для ионной имплантации (ОНЦ СО РАН, г. Омск) при давлении остаточного газа 10^{-4} Торр. Значение энергии ионов составляло ~ 20 кэВ при флюенсе $\sim 10^{17}$ ион/см².

Облучение мощным ионным пучком проводилось на ускорителе «Темп» (Омский государственный университет им. Ф. М. Достоевского) протон–углеродным пучком (30 % H⁺ и 70 % C⁺) с энергией частиц $E \approx 250$ кэВ. Длительность импульса облучения τ составляла 60 нс, плотность тока пучка 150 А/см².

Анализ структурных изменений поверхности БВТС проводился с использованием метода сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) на электронном микроскопе JEOL JSM 6610 LV в Омском региональном центре коллективного пользования ОНЦ СО РАН (ОмЦКП СО РАН, г. Омск). Микротвердость образцов определялась с использованием микротвердомера Shumadzu HNV–2 с нагрузкой на индентор 0.2 НВ.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В табл. 1 приведены данные значений микротвердости образцов с различным соотношением карбидной и связующей фазы в исходном состоянии и после облучения непрерывным ионным пучком. Воздействие импульсного ионного пучка исследовалось на образце 50% TiC – 50% NiTi. Как видно из данных таблицы, облучение непрерывным ионным пучком приводит к увеличению микротвердости БВТС ~ 10 –12%. Предположительно, основной причиной увеличения микротвердости является повышение дефектности

кристаллической решетки карбидной фазы в результате образования структуры с высокой плотностью дислокаций, что, в свою очередь, приводит к деформационному упрочнению карбидных зёрен.

Таблица 1

Микротвердость образцов

Состав сплава	Микротвердость исходных образцов, HV									
	μ_1	μ_2	μ_3	μ_4	μ_5	μ_6	μ_7	μ_8	μ_9	$\mu_{cp.}$
50 TiC – 49 NiTi – 1 В	142 1	1037	1321	138 2	110 2	116 0	128 5	135 2	137 1	127 0
50 TiC – 48 NiTi – 2 В	112 6	1413	1172	109 0	123 7	138 2	113 6	127 8	136 5	124 4
50TiC–50NiTi	102 7	1278	1351	135 1	103 1	103 7	112 1	125 6	103 1	116 5
40TiC – 60 NiTi	108 0	990	859	969	899	705	800	961	908	908
Состав сплава	Микротвердость после ионной имплантации, HV									
	μ_1	μ_2	μ_3	μ_4	μ_5	μ_6	μ_7	μ_8	μ_9	$\mu_{cp.}$
50 TiC – 49 NiTi – 1 В	139 6	1141	1426	149 8	122 1	135 1	136 3	148 9	136 7	136 1
50 TiC – 48 NiTi – 2 В	151 8	1306	1464	123 3	136 6	139 8	131 5	147 2	145 1	139 1
50TiC–50NiTi	135 1	1336	1482	136 6	145 1	141 4	138 5	135 1	129 6	138 1
40TiC – 60 NiTi	111 3	1046	899	969	988	924	954	102 5	107 3	988
Состав сплава	Микротвердость после мощного ионного пучка, HV									
	μ_1	μ_2	μ_3	μ_4	μ_5	μ_6	μ_7	μ_8	μ_9	$\mu_{cp.}$
50TiC–50NiTi	951	1015	984	879	105 6	937	951	897	112 1	977

При воздействии мощного ионного пучка среднее значение микротвердости снижается на ~ 15%, что является следствием частичной деструкции и локального отслаивания поверхностного слоя БВТС с образованием термических микротрещин. SEM–изображение поверхности БВТС 50% TiC – 50% NiTi приведено на рисунке 1.



Рисунок 1 – SEM–изображение поверхности БВТС в исходном состоянии и после мощного ионного пучка

Образование микротрещин, предположительно, связано возникновением значительных внутренних напряжений, вызванных неравномерным термическим расширением связующей и карбидной фаз, в условиях быстрого нагрева и охлаждения в процессе облучения (порядка 10^7 К/с) [4].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

После облучения непрерывным ионным пучком наблюдается повышение микротвердости исследуемых образцов на ~ 10 – 12% , в результате чего данный метод модифицирования является перспективным способом повышения твердости и износостойкости инструментов из безвольфрамовых твердых сплавов, работающих в условиях абразивного износа и динамических нагрузок.

Воздействие импульсного протон–углеродного пучка ($30\% \text{H}^+$ и $70\% \text{C}^+$) с энергией частиц $E \approx 250$ кэВ вызывает частичное разрушение поверхностного слоя БВТС: образуются термические микротрещины и локальные надрывы, что снижает значение микротвердости.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

[1] Акимов В.В., Бадамшин А.М., Несов С.Н., Поворознюк С.Н., Крутько А.А., Сидорова Я.В. Изменение структурно–фазового состояния и физико–химических свойств безвольфрамовых твердых сплавов TiC–NiTi после различных видов ионно–лучевой обработки // Омский научный вестник. 2020. №2(176). С 5–9.

[2] Бадамшин А.М., Несов С.Н., Поворознюк С.Н., Акимов В.В., Крутько А.А., Воробьев А.А. Структура и физико–механические свойства безвольфрамовых твердых сплавов после различных видов ионно–лучевой обработки // Техника и технология нефтехимического и нефтегазового производства. 2021. С. 134–135

[3] Полещенко К.Н., Верешинин Г.А., Поворознюк С.Н., Орлов П.В. Износостойкость твердых сплавов системы WC–CO, модифицированных ионными пучками различной интенсивности // Трение и износ. 1998. Т. 19, № 4. С. 475–479.

[4] Kovivchak V.S., Panova T.K., Michailov K.A. Formation of regular structures on the surface of metals under the effect of a high–power ion beam of nanosecond duration // Russian Journal of Non–Ferrous Metals. 2013. DOI: 10.3103/S1067821213060138.