

ИОННО-ПЛАЗМЕННЫЙ СИНТЕЗ СЛОИСТЫХ ПОКРЫТИЙ ИЗ ТВЕРДОГО РАСТВОРА КАРБИДОВ НИОБИЯ, ЦИРКОНИЯ НА ТВЕРДОСПЛАВНОМ ИНСТРУМЕНТЕ

А.К. Кулешов, В.В. Углов, В.М. Анищик, Д.П. Русальский
Белорусский государственный университет
пр. Независимости 4, 220030 Минск, Беларусь, kuleshak@bsu.by

В работе исследован фазовый состав, структурное состояние, элементный состав и механические свойства покрытия, сформированного на твердосплавном инструменте ионным воздействием ниобия и плазменным осаждением с использованием одновременно плазменных потоков Nb и Zr в среде метана. Установлено, что покрытие состоит из слоев твердого раствора (Nb,Zr)C с различным содержанием Nb и Zr и подслоя из (W,Nb)C_{0.7}. Твердость этого слоистого покрытия достигает значения 56±5 ГПа, объемный износ инструмента с этим покрытием в 4 раза меньше износа твердого сплава без покрытия.

Ключевые слова: покрытия на твердом сплаве; твердый раствор (Nb,Zr)C; твердость; износ.

SYNTHESIS OF LAYERED COATINGS FROM SOLID SOLUTION OF CARBIDES NIOBIUM, ZIRCONIUM ON HARD ALLOY INSTRUMENT USING VACUUM ARC DEPOSITION

A.K. Kuleshov, V.V. Uglov, V.M. Anishchik, D.P. Rusalsky
Belarusian State University,
4 Nezavisimosti Ave., 220030 Minsk, Belarus, kuleshak@bsu.by

In this work, the phase composition, structural state, elemental composition, and mechanical properties of the coating formed on a carbide tool by ion exposure to niobium and plasma deposition using plasma flows of Nb and Zr in methane were studied. It is established that the coating consists of layers of a solid solution (Nb, Zr)C with different contents of Nb and Zr and a sublayer of (W, Nb)C_{0.7}. The hardness of this laminated coating reaches 56 ± 5 GPa, the volumetric wear of the tool with this coating is 4 times less than the wear of the hard alloy without coating.

Keywords: coatings on hard alloy; solid solution (Nb,Zr)C; hardness; wear.

Введение

Перспективными покрытиями для увеличения износостойкости твердосплавного дереворежущего инструмента являются слоистые покрытия из тугоплавких высокотвердых карбидных соединений, в том числе нестехиометрического состава NbC, (Nb,W)C, TaC и др., по сравнению с известными, широко применяемыми в промышленности покрытиями для металлообрабатывающего инструмента на основе нитридных керамик, например, (Ti,Al)N, (Ti,Al)Si₃N₄ и др. [1-3]. Это связано с особенностями износа и потери работоспособности твердосплавного режущего инструмента при обработке древесины и металлических материалов. Для деревообрабатывающего инструмента выбор в применении керамических покрытий обусловлен не химической инертностью покрытия к обрабатываемым металлам, а комплексом свойств: низким коэффициентом трения, высокой твердостью, адгезией, окислительной и химической стойкости к взаимодействию с кислородом и компонентами деревосодержащих материалов [4]. Целью работы было создание слоистых карбидных покрытий на основе твердых растворов Nb и Zr на твердосплавном инструменте и исследование их фазового состава, структурного состояния, элементного состава и механических свойств. Для формирования таких покрытий применялась ионная обработка катодно-дуговым источником Nb

твердого сплава и последующий плазменный синтез твердых растворов карбидов Nb и Zr, который осуществлялся с использованием одновременно плазменных потоков Nb и Zr из двух катодно-дуговых источника в атмосфере метана.

Методика эксперимента

Твердый сплав, на который наносились покрытия, представлял собой промышленные образцы ножей деревообрабатывающего инструмента. Сплав состоит из карбида WC и Co (3 ат.%), имеет твердость 17 ГПа.

Для ионной обработки сплава использовался вакуумно-дуговой источник Nb. Плазменное осаждение покрытия в среде метана (10⁻¹ Па) проводилось при одновременном горении двух металлических катодов Nb и Zr с токами соответственно 180 и 100 А в течении 3 минут. Фазовый состав инструмента с покрытиями исследовался методом рентгеноструктурного анализа при помощи дифрактометра Ultima IV. Определения элементного состава покрытий по глубине их поперечных шлифов проводилось с помощью рентгеновского микроанализа с использованием прибора LEO 1455 VP. Микротвердость поверхностных слоев измерялась методом Кнуппа и Виккерса на приборе Wilson Instruments 402MVD при нагрузке 2 Н.

Для определения удельного объемного износа покрытий проводилась профилометрия трека из-

носа, после возвратно-поступательного движение по поверхности покрытия в течение 30 минут алмазного индентора под нагрузкой 20 Н и по ней рассчитывался усредненный удельный объемный износ.

Результаты и их обсуждение

На рис. 1 представлены дифрактограммы образцов твердосплавного инструмента с покрытиями, созданными ионным воздействием ниобия и плазменным осаждением с использованием одновременно плазменных потоков Nb и Zr в среде метана.

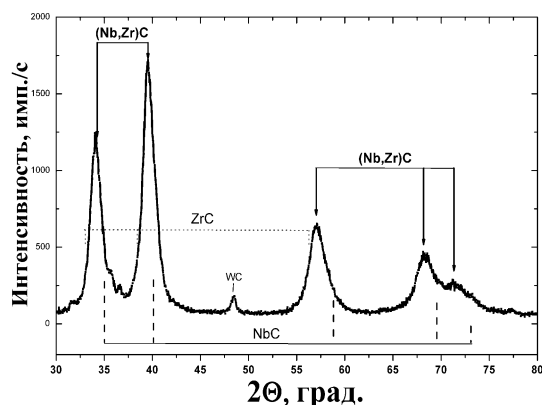


Рис. 1. Дифрактограммы образцов инструмента с покрытиями (Nb,Zr)C, созданными ионным воздействием ниобия и плазменным осаждением с использованием одновременно плазменных потоков Nb и Zr в среде метана

Fig. 1. Diffractograms of instrument samples with (Nb, Zr)C coatings created by niobium ion exposure and plasma deposition using plasma streams of Nb and Zr in methane

Анализ углового положения наиболее интенсивных дифракционных пиков покрытия на рис. 1 в сравнении с карбидами ZrC и NbC свидетельствует, что фазовый состав покрытия соответствует твердому раствору карбидов (Nb,Zr)C. В таблице 1 представлены параметры кристаллических решеток созданных покрытий и литературные данные для NbC.

Таблица 1. Параметры кристаллических решеток для синтезированных покрытий (Nb,Zr)C, ZrC, NbC [4]

Table 1. Parameters of crystal lattices for synthesized coatings (Nb,Zr)C, ZrC, NbC [4]

Вид покрытия	Параметр кристаллической решетки, нм (± 0.0005)
(Nb,Zr)C	0.4551
NbC	0.4469
ZrC	0.4669

Результаты микроанализа поверхности покрытия (Nb,Zr)C показывают следующий элементный состав: Nb - 31 ат.%, Zr - 15 ат.%, C - 51 ат.%, O - 3 ат.%,

Данные о микроструктуре поперечного шлифа покрытия (Nb,Zr)C на твердосплавном инструменте (рис. 2 а) и распределения элементов по глубине покрытия (рис. 2 б), и литературные данные

по влиянию ионной бомбардировки ниобием на формирование поверхностных слоев карбидов в твердом сплаве [4] свидетельствуют, что формируемое покрытие (рис. 2), состоит из следующих слоев:

(W,Nb)C, толщина ~ 0.2 мкм;

(Nb,Zr)C, толщиной до 0.8 мкм, отношение содержания Nb к Zr - 7 к 1, толщина ~ 0.7 мкм (на рис. 2 а этот слой обозначен как NbC);

(Nb,Zr)C, толщиной до 3 мкм, отношение концентраций Nb и Zr - 2 к 1, толщина ~ 2.7 мкм.

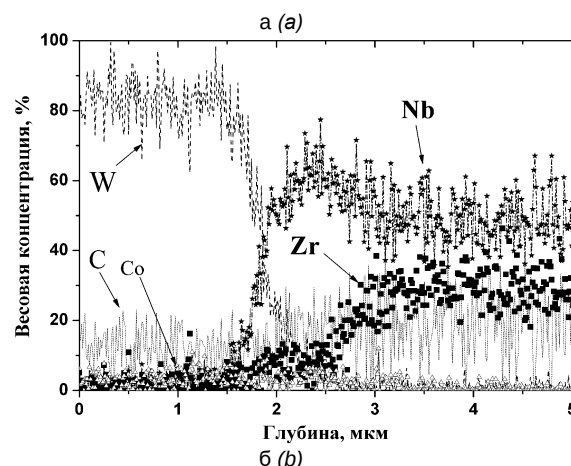
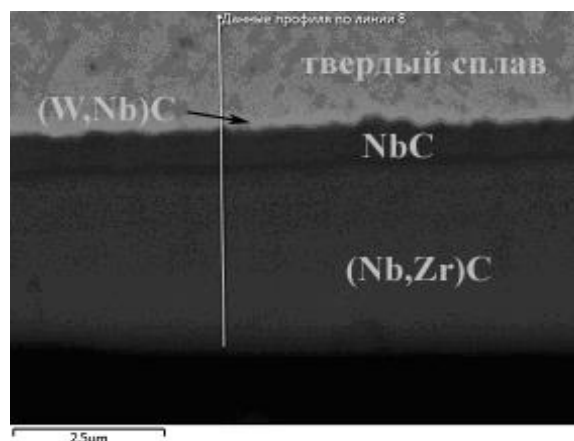


Рис. 2. а - РЭМ изображение микроструктуры поперечного шлифа покрытия (Nb,Zr)C; б - распределение элементов по глубине покрытия на инструменте

Fig. 2. а - SEM image of the microstructure of the cross section of the coating (Nb,Zr)C; б - the distribution of elements in the depth of the coating on the tool

Значение твердости слоистых покрытий (Nb,Zr)C, осажденных на твердый сплав, составляют высокие значения 56 ± 5 ГПа, превышающие значения твердости в 25-40 ГПа вакуумно-дуговых покрытий ZrC, ZrN, NbN, (Zr,Nb)N [4, 5]. Подобные высокие значения твердости покрытий на твердом сплаве были получены для слоистого покрытия NbC с подслоем из твердого раствора (W,Nb)C_{0.7}, созданного ионной бомбардировкой Nb [4].

Значения объемного износа (Nb,Zr)C, ZrC покрытий, полученных в результате профилирования треков износа в сравнении с литературными

данными для TiN, NbC покрытий [5], представлены в таблице 2.

Таблица 2. Объемный износ карбидных покрытий на твердосплавном инструменте

Table 1. Volume wear carbide coatings on hard alloy tools

Виды покрытий	Объемный износ, ($\times 10^{-3}$ мм ³); ($\pm 0.05 \times 10^{-3}$ мм ³)
Твердый сплав	5.6
TiN	4.7
NbC	3.0
NbC + (W,Nb)C _{0.7}	2.3
ZrC	3.4
(Nb _{0.67} ,Zr _{0.33})C + (Nb _{0.88} ,Zr _{0.12})C + (W,Nb)C _{0.7}	1.3

Из представленных в таблице 2 данных следует, что формирование подслоя из (W,Nb)C_{0.7} и создание слоистых покрытий приводит к более значительному уменьшению объемного износа по сравнению с однослойными покрытиями. Для покрытия (Nb_{0.67},Zr_{0.33})C + (Nb_{0.88},Zr_{0.12})C + (W,Nb)C_{0.7} износ имеет минимальное значение, которое в 4 раза меньше твердого сплава без покрытия, в 3.5 раза меньше твердого сплава с покрытием TiN.

Заключение

Вакуумное катодно-дуговое осаждение при одновременном горении двух металлических ка-

тодов Nb (180 А) и Zr (100 А) с предварительным интенсивным ионным воздействием Nb формирует на твердом сплаве покрытие из слоев твердого раствора (Nb,Zr)C с различным содержанием Nb и Zr и подслоя из (W,Nb)C_{0.7}. Твердость этого слоистого покрытия достигает значения 56 ± 5 ГПа. При трибологических испытаниях объемный износ инструмента с этим покрытием в 4 раза меньше износа твердого сплава без покрытия.

Библиографические ссылки / References

1. Tkadletz M., Schalk N., Daniel R., Keckes J., Czettl C., Mitterer C. Advanced characterization methods for wear resistant hard coatings: A review on recent progress. *Surface and Coatings Technology* 2016; 285: 31–46.
2. Eriksson A.O., Ghafoor N., Jensen J., Näslund L.-A., Johansson M.P., Sjölen J., Odén M., Hultman L., Rosen J. Arc deposition of Ti–Si–C–N thin films from binary and ternary cathodes. *Surface and Coatings Technology* 2011; 213: 145–154.
3. Gilewicz A., Warcholinski B. Deposition and characterisation of Mo₂N/CrN multilayer coatings prepared by cathodic arc evaporation. *Surface and Coatings Technology* 2015; 279:126-133.
4. Kuleshov A.K., Uglov V.V., Anishchik V.M., Firago V.A., Rusalsky D.P., Malashevich A.A., Sakovich I. A. Formation of hard and wear resistant niobium carbide coatings on hard alloy tools by vacuum-arc method. *High Temperature Material Processes* 2019; 23(2):97–105.
5. Zhitomirsky V.N. Structure and properties of cathodic vacuum arc deposited NbN and NbN-based multi-component and multi-layer coatings. *Surface and Coatings Technology* 2007; 201: 6122–6130.