

УДК 674.055, 539.23, 621

Кулешов А. К., Углов В. В., Анищик В. М., Русальский Д. П.

Белорусский государственный университет. Беларусь, г. Минск

СТРУКТУРА, МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ИОННО-ПЛАЗМЕННЫХ ПОКРЫТИЙ ИЗ КАРБИДА НИОБИЯ И МЕДИ, ОСАЖДЕННЫХ НА ТВЕРДОСПЛАВНЫЕ ФРЕЗЕРНЫЕ НОЖИ

На дереворежущем твердосплавном фрезерном инструменте с помощью ионно-плазменных потоков ниобия и меди в среде метана были сформированы покрытия из монокарбида NbC, и композиционные двухфазные покрытия из NbC и Si в которых относительное содержание ниобия было больше меди в 2, 4 и 8 раза. Твердость инструмента с композиционными покрытиями имеет значения твердости (48–54 ГПа) при отношении содержания ниобия к меди в них 4 и 8. Коэффициент трения таких покрытий в сравнении с остальными меньше в 1,6–2 раза. Объемный износ лезвийной кромки инструмента с этими покрытиями при обработке ламинированных ДСтП уменьшается более чем в 2 раза по сравнению с инструментом без покрытий.

Ключевые слова: покрытия из карбида ниобия и меди; твердый сплав; вакуумно-дуговое осаждение; остаточные напряжения; структура; состав; твердость; износостойкость.

Для обработки современных композиционных деревосодержащих материалов применяется фрезерный инструмент из WC-Co твердых сплавов. При деревообработке в режущем контакте инструмента из-за высоких значений коэффициента трения возникают высокие температуры. В результате нагрева процессы окисления инструмента и его химического взаимодействия с компонентами деревосодержащих материалов являются доминирующими при износе.

Известно, что разработанные для металлообрабатывающего инструмента износостойкие покрытия на основе различных типов высокотвердых тугоплавких соединений не имеют достаточной эффективности при применении их в деревообработке [1, 2]. Перспективным подходом для уменьшения трения режущего инструмента при резании древесины с одновременным увеличением его твердости является формирование композиционных ионно-плазмен-

ных покрытий состоящих из высокотвердых карбидов и пластичных металлов, не взаимодействующих с применяемыми при плазменном синтезе реакционными газами, например, меди. Такие композиционные покрытия могут обладать как низким коэффициентом трения, значительной стойкостью к деформации, так и высокой твердостью, значительной адгезией к твердому сплаву.

Поэтому, целью данной работы было формирование и исследование фазово-структурного состояния, механических свойств и износа при деревообработке ионно-плазменных покрытий из карбидов ниобия и меди, синтезируемых на образцах твердосплавного фрезерного инструмента одновременной конденсацией двух ионно-плазменных потоков ниобия и меди в реакционной углеродсодержащей среде.

Конденсация покрытий на основе карбида ниобия и меди на образцы твердосплавных фрезерных ножей проводилась при давлении метана в камере 10^{-1} Па, и при одновременном горении двух дуг катодов Nb и Cu. Для варьирования содержания металлов в покрытиях изменяли соотношение токов горения дуг катодов металлов. Фазовый состав инструмента с покрытиями исследовался методом рентгеноструктурного анализа при помощи дифрактометра Ultima IV в $CuK\alpha$ излучении при скользящем падении рентгеновских лучей в 5 градусов. Определение концентрации металлов в покрытии, проведение фрактографических исследований проводилось методом растровой электронной микроскопии с использованием прибора LEO 1455 VP. Микротвердость поверхностных слоев измерялась методом Кнуппа на приборе Wilson Instruments 402MVD при нагрузке 0.5 Н. Коэффициент трения определялся при возвратно-поступательном скольжении, при этом нагрузка на индентор из твердого сплава BK8 при испытаниях составляла 1 Н, длительность испытаний – 30 минут. Для определения износа ножей с осажденными покрытиями проводились лабораторные испытания исходных и модифицированных режущих пластин при обработке деревостружечных плит (ДСтП) толщиной 25 мм с двусторонней отделкой ламинатом на многооперационном станке с числовым программным управлением при следующих режимах: частота вращения шпинделя – 15000 мин^{-1} , скорость подачи – 1 м/мин, диаметр резания – 21 мм, суммарная длина резания – 2400 м. Метод оценки износа состоял в том, что до и после испытаний с помощью оптического и электронного сканирующего микроскопа по всей длине кромки ножа определялось изменение контактной формы и площадки кромки износа лезвия, на основе этих данных рассчитывался объемный износ кромки ножа.

Результаты эксперимента

При варьировании соотношений токов горения дуг катодов металлов ниобия и меди были получе-

ны покрытия на инструменте, в которых относительное содержание ниобия было больше меди в 2, 4 и 8 раза. Введем соответствующие обозначения для этих образцов как (Nb-Cu)2, (Nb-Cu)4, (Nb-Cu)8, а также Nb-C для покрытия, осажденного при использовании одного катода из ниобия.

Дифрактограммы от инструмента с осажденными покрытиями представлены на рисунке. Дифракционные рефлексы на них принадлежат карбиду WC исходного твердого сплава, синтезированному карбиду NbC и меди. Значительное уширение дифракционных рефлексов синтезированного NbC является результатом значительного уровня внутренних напряжений в покрытии, малых размеров кристаллитов карбида ниобия. Для образца (Nb-Cu)8, имеющего наименьшее содержание меди наблюдается максимальное уширение дифракционных рефлексов как NbC, так и меди, предполагается, что это является результатом уменьшения размеров кристаллитов обеих фаз.

Изменение твердости, коэффициента трения, объемного износа образцов инструмента на стадии установившегося износа синтезированных на твердом сплаве покрытий в зависимости от соотношения в них Nb и Cu представлены в таблице. Следует отметить, что такие высокие значения твердости синтезированного ионно-плазменным способом карбида ниобия является результатом высокой скорости роста покрытия из карбида ниобия ($0,8 \text{ мкм/мин.}$), в результате уровень сжимающих напряжений в покрытии становится значительным. Так результат определения остаточных напряжений в покрытии из карбида ниобия по методу « $\sin^2 \psi$ », при допущении изотропности материала (модуль Юнга $E = 430 \text{ ГПа}$, коэффициент Пуассона $\nu = 0,28$) дает значение 7 ГПа.

Из полученных данных следует, что для образцов (Nb-Cu)4, (Nb-Cu)8 высокое значение твердости покрытия мало отличается от Nb-C. В то же время значение коэффициента трения этих образцов с композиционными покрытиями меньше почти в 2 раза

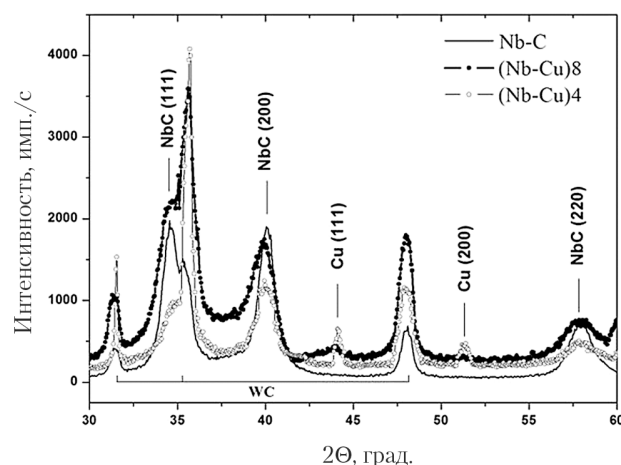


Рис. Дифрактограммы от образцов инструмента с осажденными на них покрытиями (Nb-Cu)4, (Nb-Cu)8, Nb-C

по сравнению с однородным карбидным покрытием. Сочетание высокой твердости, низкого значения коэффициента трения (Nb-Cu)₄, (Nb-Cu)₈ позволило, как следует из данных таблицы, уменьшить объемный износ лезвийного инструмента при обработке ламинированных ДСтП более чем в 2 раза.

Выводы

На дереворежущем твердосплавном фрезерном инструменте с помощью ионно-плазменных потоков ниобия и меди в среде метана были сформированы покрытия из монокарбида NbC, и композиционные двухфазные покрытия из NbC и Cu в которых относительное содержание ниобия было больше меди в 2, 4 и 8 раза. Твердость инструмента с композиционными покрытиями из карбида ниобия и меди, полученными конденсацией двух ионно-плазменных потоков ниобия и меди в среде метана имеет значения твердости (48–54 ГПа) близкие к значению твердости покрытия из карбида ниобия при отношении содержания ниобия к меди в них 4 и 8. Коэффициент трения таких покрытий в сравнении с остальными меньше в 1,6–2 раза. Объемный износ лезвийной кромки инструмента с этими покрытиями при обработке ламинированных ДСтП уменьшается более чем в 2 раза по сравнению с инструментом без покрытий.

Таблица

Твердость, коэффициент трения, износ после лабораторных испытаний образцов инструмента с покрытиями из карбида ниобия и меди

	Твердость, ГПа	Коэффициент трения	Объемный износ инструмента, (x10 ⁷) мкм ³
Инструмент без покрытий	20 ± 2	0,30÷0,34	9,4 ± 0,4
Nb-C	56 ± 8	0,23÷0,27	6,4 ± 0,3
(Nb-Cu) ₂	28 ± 4	0,22÷0,26	7,6 ± 0,3
(Nb-Cu) ₄	48 ± 7	0,16÷0,20	4,2 ± 0,3
(Nb-Cu) ₈	54 ± 8	0,11÷0,14	3,8 ± 0,3

Литература

- [1] Г.А. Зотов, Е.А. Памфилов Повышение стойкости дереворежущего инструмента // – М. : Экология, 1991. – 295 с.
- [2] А.К. Кулешов, В.В. Углов, Д.П. Русальский, А.А. Гришкевич, В. В. Чаевский, В.Н. Гаранин // Трение и износ, 2014, т.35, № 3, с. 52-62.

Kuleshov A. K., Uglov V. V., Anishchik V. M., Rusalsky D. P.

Belarusian State University. Belarus, Minsk

THE STRUCTURE, MECHANICAL PROPERTIES OF ION-PLASMA COATING OF NIOBIUM CARBIDE AND COPPER DEPOSITED ON THE CARBIDE MILLING BLADES

On wood carbide milling tool using ion-plasma flows niobium and copper in the environment of methane coating of monocarbide NbC were formed and composite coating NbC and Cu in which the relative content of niobium was more copper in 2, 4 and 8 times. The hardness of the tool with composite coatings have the hardness (48-54 GPa), with respect to the copper content of niobium in these 4 and 8. The coefficient of friction of such coatings in comparison with the rest of 1.6-2 times less. Volumetric wear of the blade edge tool with these coatings in the processing of laminated particleboard decreased by more than 2-fold compared with the uncoated tool.

Keywords: coating of niobium carbide and copper; tungsten carbide; vacuum arc deposition; residual stress; structure; composition; hardness; wear-resistance.

References

- [1] G.A. Zotov, E.A. Panfilov Increasing resistance of wood-cutting tools // – M. : Ecology, 1991. – 295 p.
- [2] A.K. Kuleshov, V.V. Uglov, D.P. Rusalsky, A.A. Grishkevich, V.V. Chayevski, V.N. Haranin // Journal of Friction and Wear 2014, Vol. 35, No. 3, pp. 276–286.