

ПОВЫШЕНИЕ АДГЕЗИИ TiN ПОКРЫТИЙ НА ТВЕРДОМ СПЛАВЕ MC221 МЕТОДОМ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ МОЩНЫМ ИОННЫМ ПУЧКОМ

ЧЖАО ЧЖЭНЧУАНЬ, О.С.КОРНЕВА, А.В.ГУРУЛЕВ, В.А.ТАРБОКОВ

Томский политехнический университет

E-mail: chzhenchuan1@tpu.ru

Твердые сплавы (ТС) с покрытием широко используются при изготовлении инструментов для обработки металлических изделий [1,2]. Помимо улучшения механических свойств материалов и покрытий, важным моментом является повышение прочности связи между ними, за счет предварительной обработки подложки. В настоящее время используется множество методов предварительной обработки подложек, которые делятся на химические [3], механические [4], термические [5] и др. Благодаря развитию физики высоких энергий, лазеры, электронные, ионные и другие пучки [6,7] широко используются для модификации поверхности и предварительной обработки поверхностного слоя ТС. Применение мощных ионных пучков (МИП) для модификации материалов является высокоэффективной и экологически безопасной технологией. МИП [8] за счет своей высокой скорости нагрева, достигающей до 10^{11} К/с, могут вызывать быстрое плавление поверхности материала. Преимущества TiN-покрытий [9] включают высокую твердость и адгезию, хорошую пластичность, отличную смазывающую способность, высокую химическую стабильность и высокую устойчивость к изнашиванию, коррозии и температуре. Вакуумно-дуговое осаждение [10] позволяет получать TiN-покрытия с высокой адгезией на сложных поверхностях.

В данном исследовании, МИП использовался для предварительной обработки поверхности твердого сплава MC221 с последующим вакуумно-дуговым осаждением TiN-покрытия. Исследовалось трибологическое поведение твердого сплава после комбинированного метода обработки. Прочность связи между покрытием и подложкой определялась с помощью измерений акустической эмиссии при царапании алмазным индентором.

В качестве образцов использовались коммерческие токарные резцы из твердого сплава MC221. Облучение МИП проводилось в камере ускорителя ТЕМП-4М [11]. Для облучения образцов использовались следующие параметры: состав ионного пучка - 15% H^+ и 85% C^+ ; энергия ионов 200 кэВ, длительность импульса ионного тока 100 нс, плотность энергии на мишени 1 и 2 Дж/см². После облучения МИП проводилось осаждение покрытий TiN на модифицированной установке для плазменного осаждения покрытий ННВ-6.6-И1. Время осаждения пленки толщиной более 5 мкм составляло 75 минут при ускоряющем напряжении 400 В. Ток дуги 150 А, частота 35 кГц, коэффициент заполнения 65%. Рабочее давление в камере в 0.1 Па поддерживалось за счет регулировки подачи азота. Программа эксперимента приведена в таблице 1. Измерение твердости проводилось на твердомере Виккерса ПМТ-3М. Шероховатость поверхности измерялась с помощью профилометра SurfTest SJ-210. Оценка адгезии покрытия проводилась на скретч-тестере (Micro-Scratch Tester MST-S-AX-000).

Таблица 1 – Программа эксперимента

Номер образца	1	2	3	4
Обработка МИП	-	-	1 Дж/см ²	2 Дж/см ²
Покрытие	-	+	+	+

Микротвердость измеряли для каждого образца, проводя по 7 измерений. Размеры диагоналей отпечатков находились в диапазоне 8,4-9,4 мкм, глубина, соответственно, 1,6-1,8 мкм. Результаты измерений микротвердости представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Микротвердость образцов

Номер образца	1	3	4
HV	2394 ± 196	2812 ± 318	2229 ± 209

Данные таблицы 2 демонстрируют типичное для ТС поведение микротвердости после облучения МИП в соответствующих режимах: при относительно невысокой плотности энергии в диапазоне 1–1,5 Дж/см² наблюдается рост микротвердости на 15–25 % от исходных значений, а при плотности энергии МИП, обеспечивающей интенсивное оплавление (режимы 2 Дж/см² и более), наблюдается снижение микротвердости, рисунок 1.

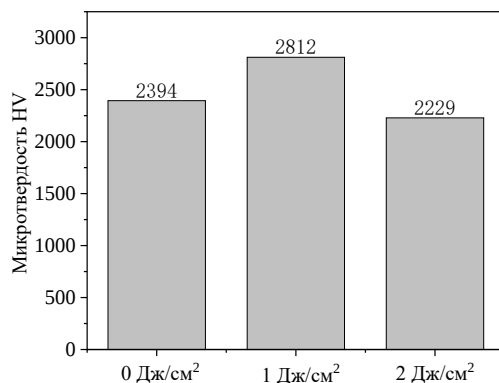


Рисунок 1. Микротвердость образцов, облученных МИП с плотностью тока 1 Дж/см² (3) и 2 Дж/см² (4)

Шероховатость поверхности образцов в исходном состоянии и после обработки МИП с плотностью энергии 1 и 2 Дж/см² измерена на профилометре SurfTest SJ-210. Для каждого образца проведено по пять измерений, два крайних значения отбрасывались, оставшиеся три результата усреднялись. Результаты измерения представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Шероховатость поверхности

Номер образца	R _a , мкм	R _z , мкм
1	0,282 ± 0,009	2,49 ± 0,13
3	0,310 ± 0,013	2,94 ± 0,14
4	0,315 ± 0,011	2,45 ± 0,09

Результаты измерений акустической эмиссии при разрушении покрытия TiN, нанесенного на ТС, нанесенного на исходную поверхность и подвергнутого обработке МИП в различных режимах, представлены на рисунке 2.

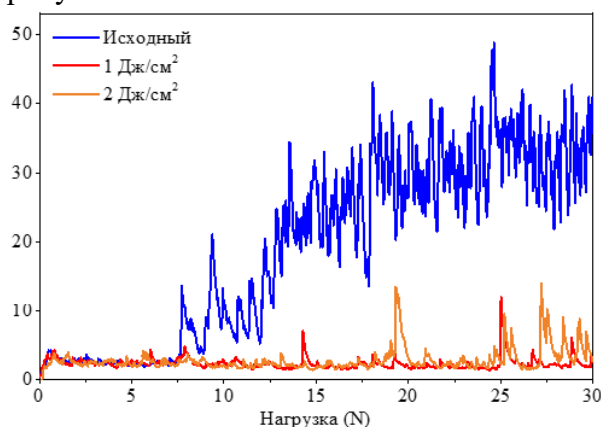


Рисунок 2. Результат акустической эмиссий разрушаемого покрытия

Результаты показывают, что адгезия покрытия TiN на твердосплавной поверхности, обработанной МИП, значительно улучшается.

Таким образом, результаты испытаний на микротвердость показали, что после облучения МИП при плотности энергии 1 Дж/см² микротвердость увеличилась на 15–25 %. Шероховатости поверхности не было зафиксировано значительных изменений после обработки МИП. Увеличивались адгезии TiN-покрытия, нанесенного на ТС MC221, обработанный МИП с плотностью энергии 1 и 2 Дж/см².

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, грант № FSWW-2023-0011.

Список литературы

1. Kouadri S., Necib K. Quantification of the chip segmentation in metal machining: Application to machining the aeronautical aluminium alloy AA2024-T351 with cemented carbide tools WC-Co // International Journal of Machine Tools and Manufacture. – 2013. – Vol. 64. – P. 102–113.
2. Bai D., Sun J., Chen W., Wang T. Wear mechanisms of WC/Co tools when machining high-strength titanium alloy TB6 (Ti-10V-2Fe-3Al) // The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. – 2017. – Vol. 90. – P. 2863–2874.
3. Wei Q., Yu Z., Michael N.R. Synthesis of micro- or nano-crystalline diamond films on WC-Co substrates with various pretreatments by hot filament chemical vapor deposition // Applied Surface Science. – 2010. – Vol. 256. – P. 4357–4364.
4. Tönshoff H.K., et al. Surface modification of cemented carbide cutting tools for improved adhesion of diamond coatings // Surface and Coatings Technology. – 1998. – Vol. 108–109. – P. 543–550.
5. Peng J., et al. Novel conversion annealing pretreatment for improved deposition of diamond coatings onto WC-Co cemented carbide // Journal of Alloys and Compounds. – 2022. – Vol. 893 – 162325.
6. Cappelli E., Orlando S., Pinzari F., Napoli A. WC-Co cutting tool surface modifications induced by pulsed laser treatment // Applied Surface Science. – 1999. – Vol. 138–139. – P. 376–382.
7. Ivanov Y.F., Rotshtein V.P., Proskurovsky D.I. Pulsed electron-beam treatment of WC-TiC-Co hard-alloy cutting tools: wear resistance and microstructural evolution // Surface and Coatings Technology. – 2000. – Vol. 125. – P. 251–256.
8. Remnev, G.E., et al. High intensity pulsed ion beam sources and their industrial applications // Surface and Coatings Technology. – 1999. – Vol. 114. – P. 206–212.
9. Malliet B., Celis J.P., Roos J.R., Stals L.M. Wear phenomena in the system TiN-coated high speed steel disk against a chromium steel pin // Wear. – 1991. – Vol. 142. – P. 151–170.
10. Cheng Z., Wang M., Zou J. Thermal analysis of macroparticles during vacuum arc deposition of TiN // Surface and Coatings Technology. – 1997. – Vol. 92 – P. 50–55.
11. Remnev G.E., Shulov V.A. Application of high-power ion beams for technology // Laser and Particle Beams. – 1993. – Vol. 11 – P. 707–731.