

ОБРАБОТКА СПЛАВА WC-CO НАНОСЕКУНДНЫМИ УЛЬТРАФИОЛЕТОВЫМИ ЛАЗЕРНЫМИ ИМПУЛЬСАМИ ПЕРЕД НАНЕСЕНИЕМ АЛМАЗНОГО ПОКРЫТИЯ

В.Е. Рогалин¹), В.Ю. Железнов¹), Т.В. Малинский¹), Ю.В. Хомич¹), Е. Е. Ашкинази²),
Д.Н. Сovyк²), Е.В. Заведеев²), С.В. Федоров³), А.П. Литвинов⁴)

¹Институт электрофизики и электроэнергетики РАН,
Дворцовая наб. 18, Санкт-Петербург 191186, Россия

²Федеральный исследовательский центр «Институт общей физики им. А.М. Прохорова
РАН», ул. Вавилова 38, Москва 119991, Россия

³Московский государственный технологический университет «СТАНКИН»,
Вадковский пер. 1, Москва 127994, Россия

⁴Московский политехнический университет,
ул. Большая Семёновская 38, Москва 107023, Россия

vyuzheleznov@ieeras.ru, tmalinsky@yandex.ru, ykhomech@yandex.ru, v-rogalin@mail.ru,
jane50@list.ru, sovyk@inbox.ru, dodeskoden@gmail.com, mrartem.litvinov35801@mail.ru,
sv.fedorov@icloud.com

С целью подготовки полированной поверхности сплава WC-Co перед нанесением упрочняющего алмазного покрытия (АП) она была модифицирована сканированным мощным излучением наносекундного ультрафиолетового (УФ) лазера. Выявлен оптимальный режим воздействия - плотность энергии $We = 1 - 2$ Дж/см². Обнаружена экспериментальная зависимость средней шероховатости поверхности WC-Co по площади $Sa = 0.45 We + 0.3$. Затем термообработанная поверхность была химически протравлена по методу Мураками и Каро. После чего, нанесен барьерный слой W толщиной 600 нм путем магнетронного напыления. После этого заметно изменилась зависимость Sa от We . Она приобрела вид: $Sa = 0.13 We + 0.1$.

Ключевые слова: сплав карбида вольфрама (WC-Co); лазерная термообработка; модификация поверхности; алмазное покрытие (АП); травление; барьерный слой.

TREATMENT OF WC-CO ALLOY WITH NANOSECOND ULTRAVIOLET LASER PULSES BEFORE DEPOSITION OF DIAMOND COATING

V.E. Rogalin¹), V.Yu. Zheleznov¹), T.V. Malinskiy¹), Yu.V. Khomich¹), E.E. Ashkinazi²),
D.N. Sovyk²), E.V. Zavedeev²), S.V. Fedorov³), A.P. Litvinov⁴)

¹Institute of Electric Physics and Electric Power Engineering, RAS,
18 Dvortsovaya Quay, 191186 St. Petersburg, Russia

²Prokhorov General Physics Institute of the, RAS, 38 Vavilov Str., 119991 Moscow, Russia

³Moscow State University of Technology "STANKIN",
1 Vadkovsky Per., 127055 Moscow, Russia

⁴Moscow Polytechnic University, 38 B Semenovskaya Str., 107023 Moscow, Russia
vyuzheleznov@ieeras.ru, tmalinsky@yandex.ru, ykhomech@yandex.ru, v-rogalin@mail.ru,
jane50@list.ru, sovyk@inbox.ru, dodeskoden@gmail.com, mrartem.litvinov35801@mail.ru,
sv.fedorov@icloud.com

Cobalt tungsten carbide (WC-Co) alloy tools are used in the processing of constructive materials. New, difficult-to-machine materials such as carbon-fiber-reinforced polymers; silumin with a high silicon content (up to 20%), etc. increase the requirements for the tool. Therefore, in these cases, WC-Co tools are often used, on the surface of which a strong diamond coating (DC) is applied, which increases the durability of the tool. There are technological problems, caused by the catalytic features of Co to stimulate the formation of a graphite phase when carbon is deposited. Complex technological tricks are used to prevent contact of Co with carbon. The coating was applied by the method

of plasma chemical deposition from microwave plasma (MPCVD) in order to crystallize carbon in the diamond. The preparation of the substrate consisted in the content impoverishment of the Co on the WC-Co surface and difficulty in diffusion of Co from the bulk. To prepare the working surface of WC-Co in order to increase the effective area before applying the hardening DC, it was modified by scanned high-power radiation of a pulse-frequency nanosecond ultraviolet (UV) laser. An experimental dependence of the average surface roughness of WC-Co over the area $S_a = 0.45 We + 0.3$ was found. The optimal mode of action is revealed - the energy density $We = 1 - 2 \text{ J/cm}^2$. The laser-treated surface was etched according to the Murakami and Caro method. To protect the surface from diffusion of Co from the bulk, a barrier layer W 600 nm thick was deposited by magnetron sputtering. After that, the dependence of the roughness on the radiation energy density changed. It took the form: $S_a = 0.13 We + 0.1$. After each step, the surface was controlled using scanning electron microscopy (JSM-7001F, JEOL) and optical profilometry (Zygo NewView 7300).

Keywords: tungsten carbide alloy (WC-Co); laser heat treatment; surface modification; diamond coating (DC); etching; barrier layer.

Введение

Износостойкие инструменты из сплава карбида вольфрама (WC-Co) применяются в обработке конструкционных материалов.

Использование труднообрабатываемых материалов, таких как, усиленные углеродным волокном полимеры; силумин с высоким содержанием кремния (до 20 %) и др. повышает требования к инструменту. Поэтому, в этих случаях часто используют инструмент из WC-Co, с нанесенным АП [1], повышающим его износостойкость. К сожалению, из-за каталитических особенностей Co стимулировать в углероде кристаллизацию в графитовой фазе, необходимо минимизировать присутствие Co на поверхности. Для обхода проблемы разработаны решения, предназначенные для предотвращения контакта Co с углеродом [1]. Нанесение АП проводится методом осаждения из микроволновой плазмы (MPCVD). Подготовка подложки заключается в обеднении содержания Co на поверхности WC-Co и затруднении диффузии Co из объема. Используются различные методы. Например, в [2] перед нанесением АП использована ионная имплантация Nb и Zr.

Для модификации поверхности материалов весьма эффективна поверхностная обработка лазерными импульсами [3]. Известны два основных режима. Это широко известный абляционный режим, наблюдаемый при $We \geq 1 \text{ Дж/см}^2$ (при воздействии наносекундных УФ импульсов) [4]. При $We \sim 0.1 - 1.0 \text{ Дж/см}^2$ обнаружен

оптикопластический эффект, при котором заметные термомеханические явления наблюдаются на поверхности металла еще в конденсированном состоянии [5].

Основная часть

Ранее [6], воздействие на WC-Co импульсами Nd:YAG лазера (третья гармоника, длина волны $\lambda = 355 \text{ нм}$) исследовалось в режиме одиночных пятен. Сейчас, с целью роста эффективной площади поверхности, необходимой для улучшения адгезии АП, применено сканирование излучения.

Обработка подложки WC-Co производилась сфокусированным излучением Nd:YAG лазера ($\lambda = 355 \text{ нм}$, длительность импульса $\tau = 10 \text{ нс}$, а энергия - до 8 мДж).

Частота излучения неподвижного луча $f = 100 \text{ Гц}$. Образец перемещался по растровой траектории ("змейка") на трехкоординатном столике, управляемом ноутбуком. Перекрытие соседних пятен (k) $\geq 98 \%$. Каждый участок подвергался воздействию ~ 30 лазерных импульсов.

Обработка контролировалась оптическим профилометром Zygo New View 7300 и растровым электронным микроскопом (РЭМ) JSM-7001F, JEOL.

После лазерного воздействия в едином процессе проведено травление образцов по Мураками (552 с.) и Каро (4 с.) и затем магнетронное напыление W (600 нм). По данным энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии при зондировании материала через барьерный

слой W на глубину примерно 3 мкм (энергия электронов 30 кэВ) концентрация Со была снижена в среднем до 0,15 вес.%. Это надежно предотвращает образование неалмазного углерода и гарантируют высокую адгезию покрытия с подложкой. Учтена специфика РЭМ, завышающая содержание углерода [7].

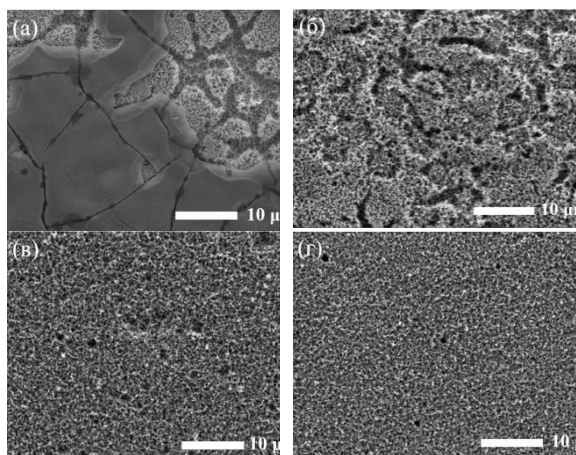


Рис. 1. Эволюция морфологии поверхности (РЭМ) после воздействия серией лазерных импульсов и травления Со реагентами Мураками (552 с.) и Каро (4 с.); We излучения, Дж/см²: (а) 0,2; (б) 0,34; (в) 1,035; (г) 2,02

Такая обработка поверхности позволила плавно регулировать величину S_a WC-Co перед нанесением АП. Ранее, ее регулировали механически, в частности, пескоструйной обработкой. Лазерная обработка оказалась значительно перспективней и позволяет эффективно очистить поверхность WC-Co от загрязнений, в частности, от нанопленок металлов, плохо влияющих на адгезию.

Эволюция морфологии поверхности показана на рис. 1 в изображении РЭМ после лазерной обработки и травления Со.

Заключение

Обработанная лазером поверхность WC-Co однородна по площади. Средняя шероховатость монотонно зависит от плотности энергии ($S_a \sim K \cdot We$). После травления S_a заметно уменьшается, и величина K также изменяется. Определен оптимальный режим лазерной обработки

для подготовки поверхности WC-Co к нанесению АП. Это - $We = 1-2$ Дж/см².

Благодарности

Лазерное воздействие проводилось в ИЭЭ РАН в рамках государственного задания по научной деятельности № 75-03-2022-056; выбор методов и проведение последующей обработки поверхности твердого сплава, исследование состава и морфологии поверхности выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда в рамках научного проекта № 22-19-00694.

Библиографические ссылки

1. Ашкинази Е.Е., Хомич А.В., Рогалин В.Е., Большаков А.П., Совык Д.Н., Мытарев М.А., и др. Алмазный инструмент с повышенной износостойкостью для труднообрабатываемых композиционных материалов. *Физика и химия обработки материалов*. 2019; (5): 42-67.
2. Ашкинази Е.Е., Федоров С.В., Мартынов А.К., Седов В.С., Обрезков О.И., Хмельницкий Р.А., и др. Исследование стойкости к разрушению алмазных покрытий сплава WC-Co, модифицированного ионной имплантацией. *Деформация и разрушение материалов* 2023; (5): 14-20.
3. Хомич В.Ю., Шмаков В.А. Механизмы и модели прямого лазерного наноструктурирования материалов. *Успехи физических наук*. 2015; 185(5): 489-499.
4. Анисимов С.И., Имас Я.А., Романов Г.С., Ходыко Ю.В. Действие излучения большой мощности на металлы. Москва: Наука; 1970. 272 с.
5. Железнов Ю.А., Малинский Т.В., Миколуцкий С.И., Рогалин В.Е., Хомич Ю.В., Ямщиков В.А., и др. Модификация поверхности твердого сплава WC-3% Со мощными наносекундными ультрафиолетовыми лазерными импульсами. *Деформация и разрушение материалов*. 2020; (11): 11-14.
6. Малинский Т.В., Рогалин В.Е. Предпороговые эффекты при воздействии ультрафиолетовых лазерных импульсов на медь и ее сплавы. *Журнал технической физики*. 2022; 92(2): 268-273.
7. Галушка В.В., Биленко Д.И. Снижение влияния артефактов при рентгеноспектральном микроанализе в электронной микроскопии. *Вестник Саратовского государственного технического университета*. 2010; 4(3): 20-25.