



Кулеш Екатерина Александровна
 ايكاترينا الكسندروفنا كوليش
 УО «ГГУ им. Ф. Скорины»
 جامعة فرانسيسك اسكارينا الحكومية في ولاية غوميل

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ОТЖИГА МНОГОСЛОЙНЫХ ТИТАН-УГЛЕРОДНЫХ ПОКРЫТИЙ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

تهديد تأثير التلدين للطبقات المتعددة من كربون التيتانيوم على الخواص الميكانيكية



Рогачёв Александр Владимирович
 الكسندر فلاديميروفيتش روجاتشيف
 член-корр. НАН Б, профессор, д.х.н., УО "ГГУ им. Ф. Скорины"
 عضو لجنة الاكاديمية الوطنية للعلوم وبرفسور في جامعة فرانسيسك اسكارينا الحكومية في ولاية غوميل

Аннотация: Многослойные (Ti/a-C) \times 3 покрытия были осаждены с использованием дугового испарителя постоянного тока с катодом из титана и импульсного катодно-искрового испарителя с катодом из графита. Методами инструментального индентирования (режим динамического механического анализа) определены механические свойства покрытий. Показано, что термообработка слоистых покрытий при температуре 400 °C приводит к повышению твердости и модуля упругости.

Ключевые слова: многослойные титан-углеродные покрытия, метод импульсного катодно-дугового испарения, отжиг, наноиндентирование, нанотвердость, модуль упругости.

الخلاصة: تم ترسيب طلاءات متعددة الطبقات (Ti/A-C) \times 3 باستخدام مبخّر قوسي تيار مستمر مع كاثود تيتانيوم ومبخّر كاثود-شرارة نبضي مع كاثود جرافيت ومن ثم تم تحديد الخواص الميكانيكية للطلاءات باستخدام طرق المسافة البادئة الآلية (طريقة التحليل الميكانيكي الديناميكي) وقد تبين أن المعالجة الحرارية للطلاءات ذات الطبقات عند درجة حرارة 400 درجة مئوية تؤدي إلى زيادة الصلابة ومعامل المرونة.

الكلمات المفتاحية: طلاءات متعددة الطبقات من التيتانيوم والكربون، طريقة التبخر بقوس الكاثود النبضي، التلدين، التسنن النانوي، الصلابة النانوية، معامل المرونة.

Введение

Многослойные металл-углеродные покрытия характеризуются высокой твердостью и износостойкостью и широко используются в машиностроении для упрочнения узлов трения и технологической оснастки [1]. В процессе контактного взаимодействия, в зоне трения возможно увеличение температуры, что приводит к изменению структуры и, соответственно, свойств покрытий. Целью данной работы являлось установление влияния режимов и условий термообработки Me/a-C покрытий на изменение структуры и механических свойств покрытий [2].

نتائج والمناقشة

Многослойные (Ti/a-C) \times 3 покрытия были осаждены с использованием дугового испарителя постоянного тока с катодом из титана и импульсного катодно-искрового испарителя с катодом из графита. После осаждения покрытий была сделана термообработка на воздухе и в атмосфере Ar при температурах 200 и 400 °C. Методом инструментального индентирования определены механические свойства покрытий (наноиндентор «НаноСкан 4D»). Для оценки устойчивости к трещинообразованию осажденных покрытий на основании полученных значений твердости и упругости были рассчитаны H/E отношение и параметр H³/E², который отражает устойчивость к пластической деформации (таблица 1).

Таблица 1 – Механические свойства (Ti/a-C) \times 3 покрытий до и после отжига при различной температуре на воздухе и в атмосфере аргона

Температура отжига, °C	H, ГПа	E, ГПа	H/E	H ³ /E ²
Без отжига	14,4±0,9	176,8±21,2	0,08	0,09
В аргоне				
200	15,5±1,2	185,0±26,4	0,08	0,11
400	16,1±1,1	188,2±25,1	0,09	0,12
На воздухе				
200	16,5±0,9	201,3±30,3	0,08	0,11
400	17,9±0,8	218,3±44,2	0,08	0,12

Установлено, что изменение твердости (Ti/a-C) \times 3 покрытий определяется изменением их химического (фазового) состава и формированием диффузионных карбидных слоев. Стоит отметить, что значения модуля упругости для (Ti/a-C) \times 3 без термообработки показывают низкие значения, определяемые наличием слоев титана, снижающих жесткость углеродного слоя. Увеличение модуля упругости с ростом температуры отжига указывает на увеличение диффузионных карбидных слоев и уменьшение количества химически несвязанного с углеродом титана.

المقدمة

Полученные результаты возможно использовать для формирования покрытий на основе углеродных, металлических и карбидных фаз, используемых при разработке технологий поверхностного упрочнения инструмента и технологической оснастки, работающей при высоких контактных давлениях, приводящих к повышению температуры в области взаимодействия.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования Республики Беларусь (номер государственной регистрации 20212076).

المقدمة

تتميز الطلاءات المعدنية الكربونية متعددة الطبقات بالصلابة العالية ومقاومة التآكل، وتستخدم على نطاق واسع في الهندسة الميكانيكية لتعزيز وحدات الاحتكاك والمعدات التكنولوجية [1]. أثناء تفاعل الاتصال، قد تزيد درجة الحرارة في منطقة الاحتكاك، مما يؤدي إلى تغيير في الهيكل، وبالتالي خصائص الطلاءات.

كان الغرض من هذا العمل هو تحديد تأثير أوضاع وظروف المعالجة الحرارية لطلاءات Me/a-C على التغيرات في الهيكل والخواص الميكانيكية للطلاءات [2].

النتائج والمناقشة

تم ترسيب طلاءات متعددة الطبقات (Ti/A-C) \times 3 باستخدام مبخّر قوسي تيار مستمر مع كاثود تيتانيوم ومبخّر كاثود-شرارة نبضي مع كاثود جرافيت وبعد الترسيب عولجت الطلاءات بالحرارة في الهواء والارجون بدرجات حرارة 200 و400 درجة مئوية وتم تحديد الخواص الميكانيكية للطلاءات باستخدام طريقة المسافة البادئة الآلية (جهاز NanoScan 4D nanoindenter) وذلك لتقييم مقاومة الطلاءات المودعة للتشقق وتم حساب نسبة H/E ومعامل H³/E² والذي يعكس مقاومة التشوه البلاستيكي من قيم الصلابة والمرونة التي تم الحصول عليها وهي (الجدول 1).

الجدول 1 - الخواص الميكانيكية (Ti/a-C) \times 3 الطلاءات قبل وبعد التلدين عند درجات حرارة مختلفة في الهواء وفي جو الأرجون

المعالجة حرارة درجة الحرارة, °C	H, ГПа	E, ГПа	H/E	H ³ /E ²
بدون معالجة حرارية	14,4±0,9	176,8±21,2	0,08	0,09
في الأرجون				
200	15,5±1,2	185,0±26,4	0,08	0,11
400	16,1±1,1	188,2±25,1	0,09	0,12
في الهواء				
200	16,5±0,9	201,3±30,3	0,08	0,11
400	17,9±0,8	218,3±44,2	0,08	0,12

لقد ثبت أن التغيير في الصلابة (Ti/a-C) \times 3 للطلاءات يتم تحديده من خلال التغيير في تركيبها الكيميائي (الطوري) وتكوين طبقات كربيد الانتشار. ومن الجدير بالذكر أن قيم معامل المرونة لـ (Ti/a-C) \times 3 بدون معالجة حرارية تظهر قيم منخفضة تحددها وجود كلمات التيتانيوم التي تقلل من صلابة طبقة الكربون. تشير الزيادة في معامل المرونة مع زيادة درجة حرارة التلدين إلى زيادة في طبقات كربيد الانتشار وانخفاض في كمية التيتانيوم غير المرتبط كيميائياً بالكربون.

الخاتمة

يمكن استخدام النتائج التي تم الحصول عليها لتشكيل طلاءات تعتمد على مراحل الكربون والمعادن والكربيد المستخدمة في تطوير تقنيات تصلب الأسطح للأدوات والمعدات التكنولوجية التي تعمل عند ضغوط تلامس عالية، مما يؤدي إلى زيادة درجة الحرارة في منطقة التفاعل.

تم تنفيذ العمل بدعم مالي من وزارة التربية والتعليم في جمهورية بيلاروسيا (رقم تسجيل الدولة 20212076).

المراجع والمصادر

1. Cao H. [et al.] Microstructure, mechanical and tribological properties of multilayer Ti-DLC thick films on Al alloys by filtered cathodic vacuum arc technology // Materials and Design. - 2021. - №198. - p. 109320.
2. Zhang W. [et al.] The effect of annealing on mechanical and tribological properties of diamond-like carbon multilayer films // Diamond and Related Materials. - 2004. - №13. - p. 2166-2169.