

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н.Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Кафедра материаловедения, технологии
и управления качеством

**ТЕМПЕРАТУРНАЯ СТОЙКОСТЬ АЛМАЗОПОДОБНОГО
УГЛЕРОДНОГО ПОКРЫТИЯ**

АВТОРЕФЕРАТ МАГИСТЕРСКОЙ РАБОТЫ

студента магистратуры 2 курса 2292 группы
направления 22.04.01 «Материаловедение и технологии материалов»,
профиль «Менеджмент высокотехнологичного инновационного производства и
бизнеса»
института физики

Сметанкина Алексея Андреевича

Научный руководитель,
доцент, к.ф.-м.н., доцент

должность, уч. степень, уч. звание

подпись, дата

И.В. Синев

инициалы, фамилия

Зав. кафедрой,
д.ф.-м.н., профессор

должность, уч. степень, уч. звание

подпись, дата

С.Б. Вениг

инициалы, фамилия

Саратов 2025

Введение.

Создание покрытий с улучшенными свойствами – актуальная задача в современной науке. Изготовление более износостойких покрытий позволит значительно увеличить их прочность в целом. Детали с такими покрытиями используются в машинах и механизмах в паре трения и их ресурс зависит от износостойкости, но так как износостойкость – это свойство поверхностного слоя, его можно улучшить нанесением покрытий. Существует большое разнообразие покрытий, в данной работе рассматривается DLC покрытия. Основными характеристиками таких покрытий являются: твердость, температурная стойкость, а также их устойчивость к механическим воздействиям, электрические свойства и т.д. [1].

Алмазоподобные углеродные покрытия (DLC) близки по своим свойствам с природным алмазом, но отличаются своей структурой. DLC – покрытия находят свое применения в различных отраслях. Они применяются для нанесения их на инструменты, которые используются в обработке алюминиевых сплавов, снижают коэффициент трения деталей, а также используются в нанотехнологии. Уникальность их свойств заключается в своей структуре. DLC – покрытия зачастую имеют неупорядоченную аморфную структуру с небольшим содержанием микро и нанокристаллических включений аллотропических модификаций углерода. Такая структура покрытий может объясняться наличием ближнего порядка. Дальний порядок расположения атомов – отсутствует [5].

Стойкость DLC покрытий зависят от множества факторов. Одним из таких факторов является температура. В данной работе предполагается исследование температурной стойкости DLC покрытий. В связи с этим, цель магистерской работы – исследование влияния температуры на стойкость алмазоподобного углеродного покрытия [2].

DLC – покрытия представляет собой нанокompозитное покрытие, которое показывает свои уникальные свойства, которые приближены к свойствам природных алмазов.

На данный момент не было проведено исследования зависимости данного покрытия от температуры. Впервые произведено исследование DLC покрытия полученного в Саратовском Национальном Исследовательском Государственном Университете им. Н.Г. Чернышевского.

Основное содержание работы

Введение

1 DLC – покрытия

1.1 Виды DLC – покрытий

1.2 a-C:H:W – аморфный углерод, водород, вольфрам

1.3 a-C:H:W – аморфный углерод, водород

1.4 ta-C – тетраэдрический аморфный

2 Особенности покрытий и их применение

2.1 Применение покрытия a-C:H:W

2.2 Применение покрытия a-C:H

2.3 Применение покрытия ta-C

3 Способы получения DLC – покрытий

3.1 Химическое газофазное осаждение

3.2 Описание PECVD метода

3.3 Физические методы

3.4 Описание HIPIMS метода

4 Исследование температурной стойкости DLC покрытия

4.1 Нанесение DLC покрытия

4.2 Свойства DLC покрытия до термической обработки

4.2.1 Измерение объемной твердости

4.2.2 Измерение адгезии

4.2.3 Измерение шероховатости

4.2.4 Измерение толщины покрытия

Заключение

Список использованных источников

Определение твердости является одной из наиболее распространенных характеристик, которая показывает качество металлов и их сплавов, а также возможность использования их в конструкциях при различных условиях работы. Определение твердости проводят намного чаще, чем определение других механических характеристик металлов.

Твёрдостью называют способность материала сопротивляться механическому проникновению в его поверхностный слой другого твердого тела. В качестве твердого тела, проникающего в поверхностный слой исследуемого образца используют индентор. Он вдавливается в образец с определённой силой. Индентор может быть изготовлен в виде алмазного конуса, пирамиды, стального шарика или иглы. Судя по размеру отпечатка, который получают в процессе «вдавливания», говорят о твёрдости материала. Существуют различные способы измерения твердости, которые определяются по Бринелю (HB), Виккерсу (HV) или Роквеллу (HRC)

В данном случае определение твердости была определена на твердомере Duravision-300 по Роквеллу (HRC). Полученные данные можно видеть в таблице 1.

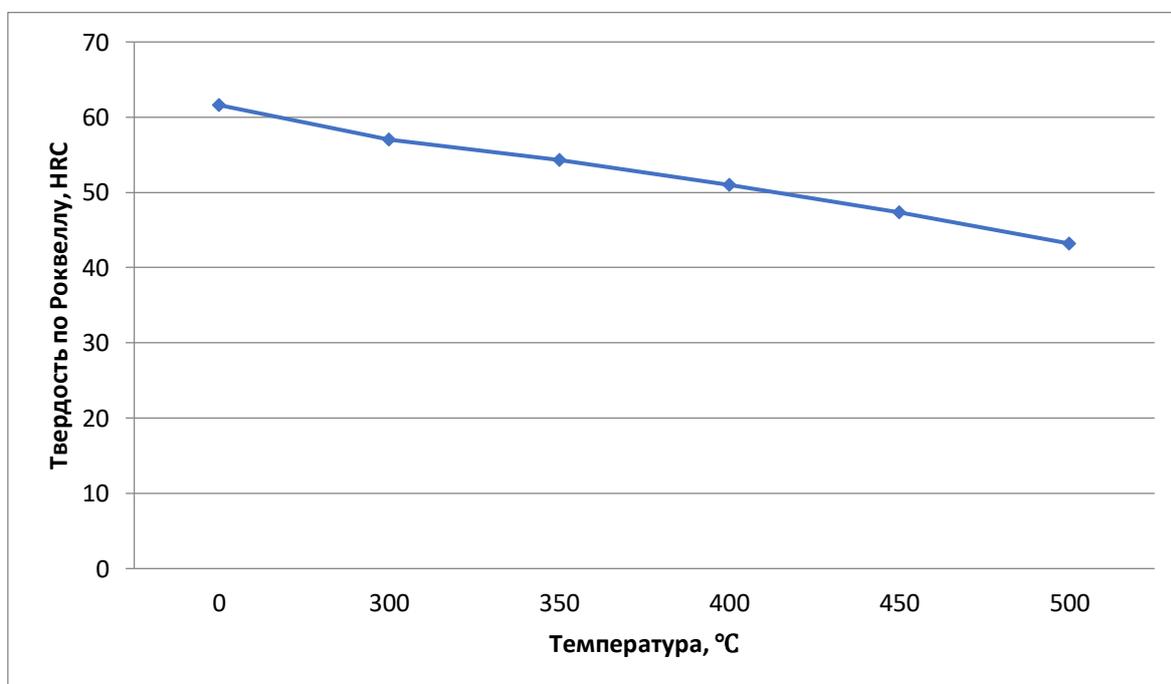


Рисунок 1 – Зависимость твердости от температуры отжига в среде кислорода

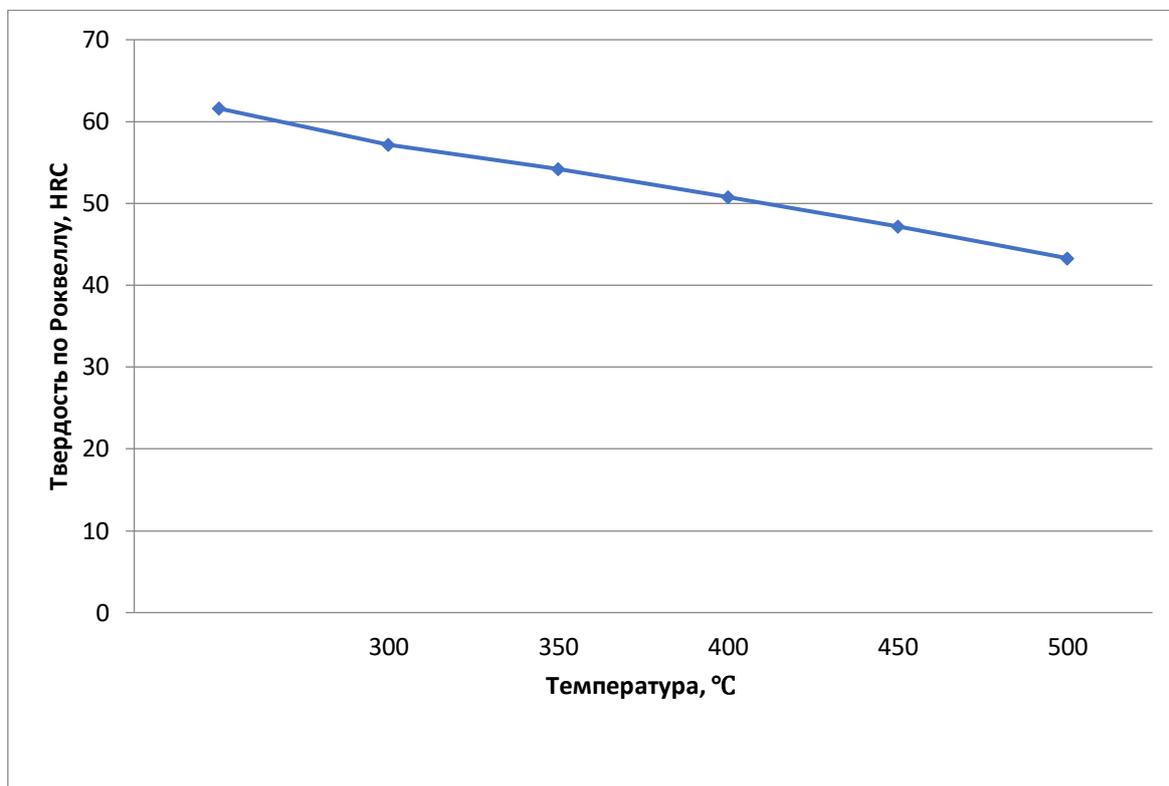


Рисунок 2 – Зависимость твердости от температуры отжига в среде аргона

Одним из самых распространенных методов определения адгезии является испытание по Роквеллу (Rockwell C test). Тип, а так же размер дефекта покрытия в самом отпечатке и вокруг него исследуется под оптическим микроскопом и определяется по шкале градации качества адгезионной прочности (рисунок 2).

Оценка адгезии проводилась на приборе типа 2140 TP, который использовался для измерения твердости по методу Роквелла (HRC) . В исследуемый образец вдавливался алмазный конуса (угол при вершине составляет 120° (радиус закругления 0,2 мм)) с нагрузкой 150 кг (1471 Н). После вдавливания индентора вокруг его отпечатка происходила локальная упругопластическая деформация, вызывающая разрушение покрытия. За счет корреляционной связи, которая существует между размерами и внешним видом зоны упругопластической деформации, мы можем судить об адгезионной прочности покрытия.

HF=1 – Превосходная адгезия. Видимые разрушения вокруг кратера отсутствуют. HF=2. Только отпечатки, классифицируемые как HF 1 и HF 2, соответствуют достаточной адгезии. HF=3 – удовлетворительная адгезия HF=4 – 6 – плохая адгезия [3].

Исходя из полученных данных, мы можем сказать, что видимых изменения адгезионной прочности DLC – покрытия мы заметить не можем.

Определение шероховатости поверхности тоже является важной характеристикой покрытия. Так как качество обработки играет решающую роль в надежности и долговечности детали. При некачественной обработке и несоответствии проектным значениям, мы можем получить преждевременный выход детали или более глобальные проблемы, такие, как выход из строя целого узла и его дорогостоящий ремонт. Это может получиться, если пренебречь этим фактором при изготовлении деталей двигателя. В результате чего агрегат будет полностью выведен из строя.

Все эти неровности, которые образуют рельеф поверхности и рассматриваются в пределах участка, длина которого равна базовой длине – называют шероховатостью поверхности.

Шероховатость поверхности покрытия измеряется в микрометрах и находится по параметрам Rz и Ra. Rz – это высота неровностей профиля по 10 точкам. Ra – это среднее арифметическое отклонение профиля.

Шероховатость DLC – покрытия была измерена с помощью MarSurf PS1, за базовую длину была взята величина 0,25 мм. Для более точного измерения каждый образец измерялся по 5 раз, за значение шероховатости была взята средняя величина. Полученные данные представлены в таблице 6.

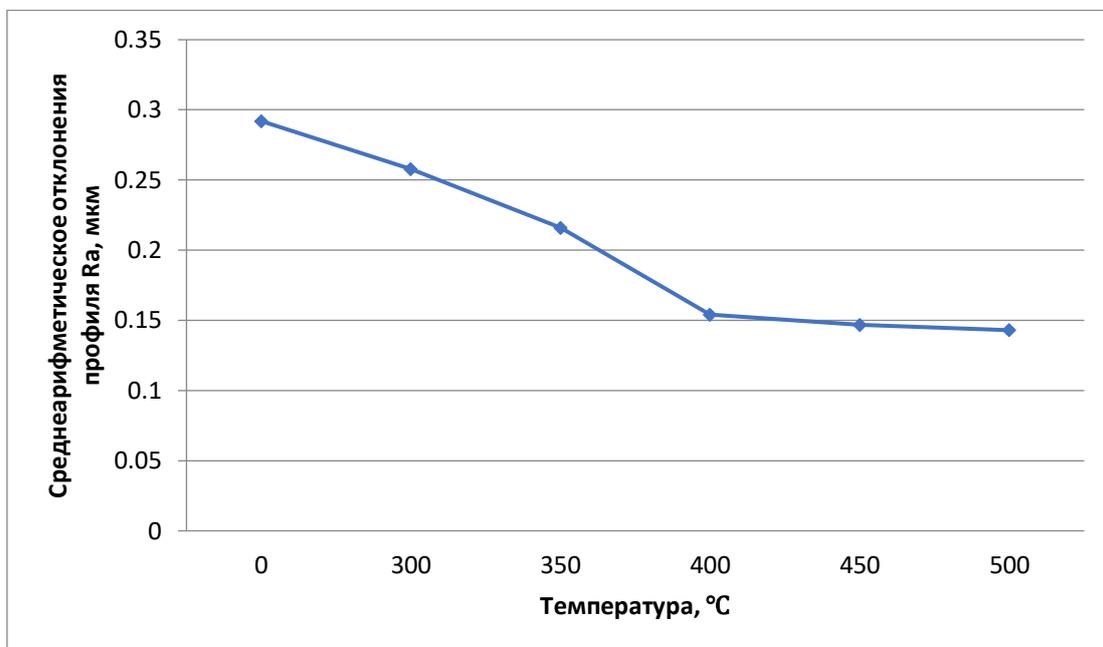


Рисунок 3 – Зависимость шероховатости от температуры отжига в среде кислорода

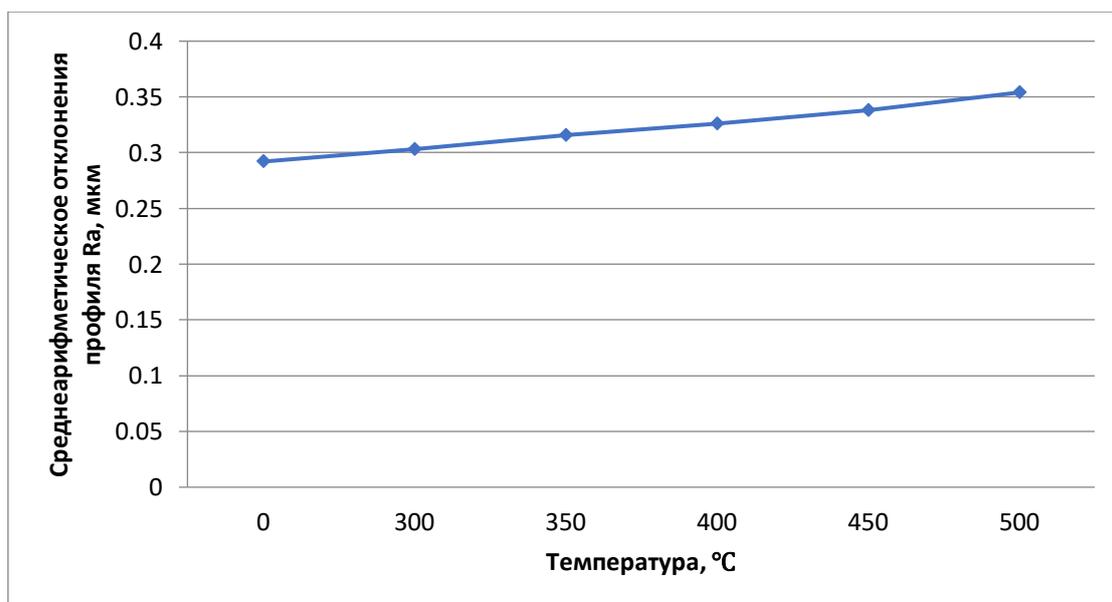


Рисунок 4 – Зависимость шероховатости от температуры отжига в среде аргона

Толщина слоя каждого образца проверялась методом шарового шлифа два раза, за толщину слоя было взято среднее значение. Размер шара 25 мм.

Время до момента достижения шлифом поверхности детали можно использовать для характеристики износостойкости покрытия.

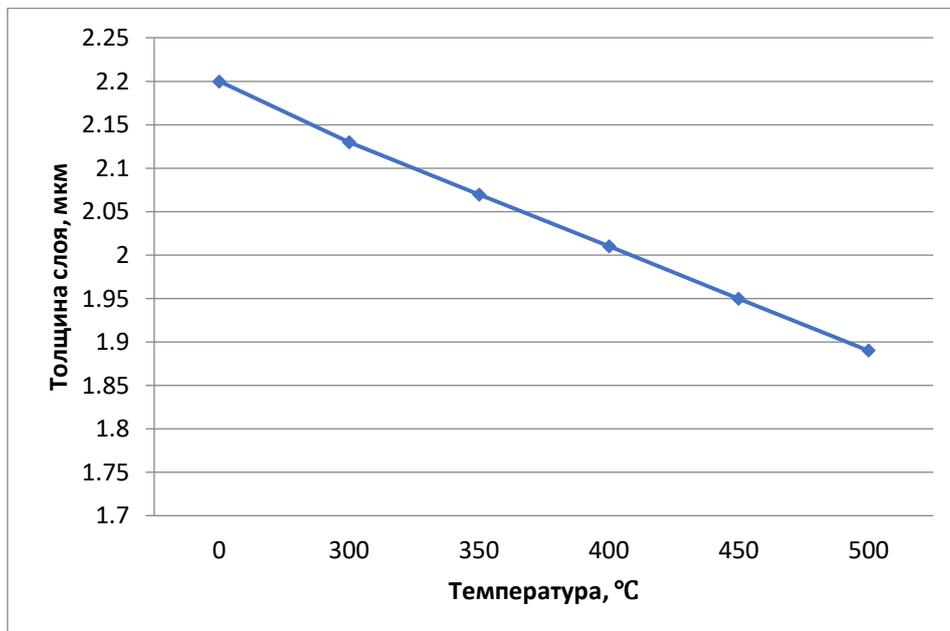


Рисунок 5 – Зависимость толщины слоя от температуры отжига в среде кислорода

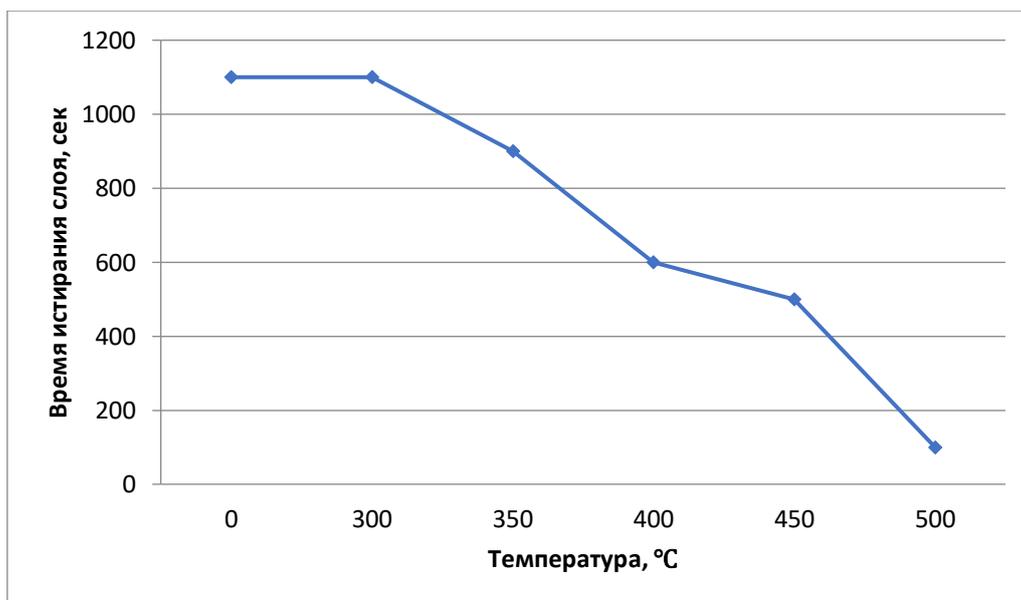


Рисунок 6 – Зависимость времени истирания от температуры отжига в среде кислорода

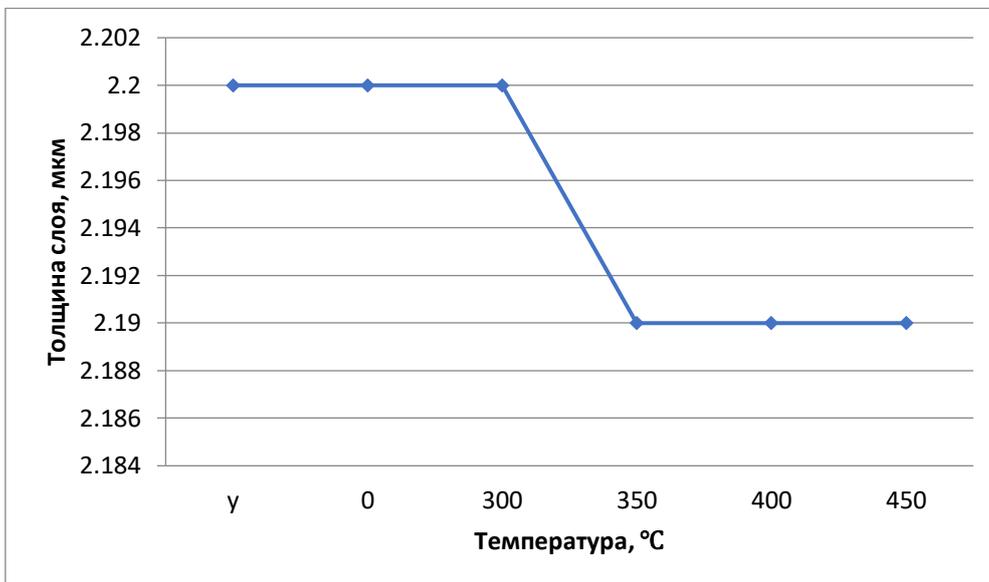


Рисунок 7 – Зависимость толщины слоя от температуры отжига в среде аргона

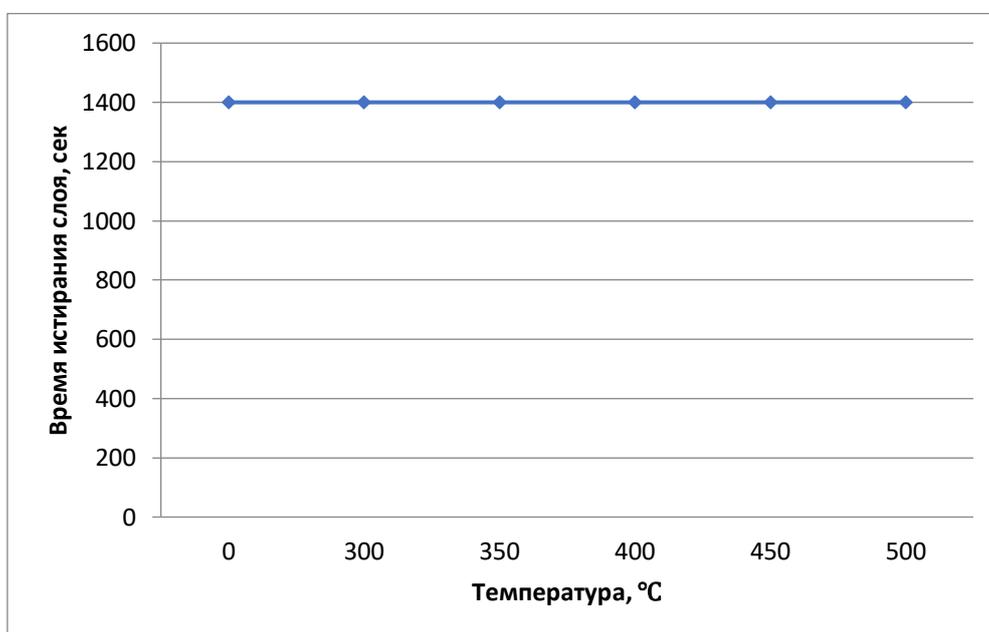


Рисунок 8 – Зависимость времени истирания от температуры отжига в среде аргона

Исходя из полученных данных, мы можем сказать, что при увеличении температуры отжига в среде кислорода DLC – покрытие увеличивает класс чистоты поверхности за счет создания полировочного эффекта. В среде аргона напротив, покрытие снижает класс чистоты поверхности за счет перекристаллизации. Применение температурной обработки DLC покрытий в среде кислорода при 500 °C позволило снизить шероховатость и повысить

класс чистоты поверхности с 9 до 10. В среде аргона класс чистоты поверхности снизился до 8 [4].

Исходя из полученных данных, мы видим уменьшение времени истирания DLC – покрытия при увеличении температуры отжига детали в среде кислорода, что связано со снижением износостойкости покрытия. Также в среде кислорода уменьшается толщина слоя покрытия в следствие процесса окисления и образования углекислого газа. В среде аргона зависимость толщины покрытия и времени истирания DLC – покрытия от температуры отжига мы не наблюдаем.

В работе проведено исследование температурной стойкости DLC покрытия. В литературном обзоре приведены данные о разных видах алмазоподобных углеродных покрытий и рассмотрены технологии их получения. Температурная стойкость DLC-покрытий рассмотрена во множестве научных статей, но отмечено, что свойства покрытия сильно зависят от технологии его получения.

Было выполнено нанесение алмазоподобного углеродного покрытия на стальные детали. Покрытие охарактеризовано, измерены его толщина покрытия, твердость HRC, адгезия, шероховатость Ra, износостойкость.

Определение температурной стойкости покрытия выполнено путем термической обработки деталей с покрытием при температурах от 300°C до 500°C в среде кислорода и аргона.

Проанализированы полученные экспериментальные данные и замечены зависимости. Анализ показал, что в среде кислорода при увеличении температуры отжига DLC – покрытия наблюдается снижение его твердости, шероховатости, устойчивости к механическому истиранию и толщины слоя, адгезионная прочность не изменилась. В среде аргона, при увеличении температуры отжига, мы видим снижение твердости и устойчивости к механическому истиранию, увеличение шероховатости, прямой зависимости толщины слоя от температуры отжига не было замечено, адгезионная прочность также не изменилась.

Таким образом, можно утверждать, что, свойства DLC покрытий зависят от температуры.

Заключение.

В работе проведено исследование температурной стойкости DLC – покрытия. В литературном обзоре приведены данные о разных видах алмазоподобных углеродных покрытий и рассмотрены технологии их получения. Температурная стойкость DLC – покрытий рассмотрена во множестве научных статей, но отмечено, что свойства покрытия сильно зависят от технологии его получения.

Было выполнено нанесение алмазоподобного углеродного покрытия на стальные детали. Покрытие охарактеризовано, измерены его толщина покрытия, твердость HRC, адгезия, шероховатость Ra, износостойкость.

Определение температурной стойкости покрытия выполнено путем термической обработки деталей с покрытием при температурах от 300°C до 500°C в среде кислорода и аргона.

Проанализированы полученные экспериментально данные и замечены зависимости. Анализ показал, что в среде кислорода при увеличении температуры отжига DLC – покрытия наблюдается снижение его твердости, шероховатости, устойчивости к механическому истиранию и толщины слоя, адгезионная прочность не изменилась. В среде аргона, при увеличении температуры отжига, мы видим снижение твердости и устойчивости к механическому истиранию, увеличение шероховатости, прямой зависимости толщины слоя от температуры отжига не было замечено, адгезионная прочность также не изменилась.

Таким образом, можно утверждать, что, свойства DLC – покрытий зависят от температуры.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 Roy, Biomedical Applications of Diamond-Like Carbon Coatings: A Review / Roy, Lee // J. of Biomedical Materials Research Part B: Applied Biomaterials, Wiley InterScience. – 2007. – № 7. – P. 72-75.

2 Аксёнов, И. И. Вакуумно-дуговой синтез алмазоподобного углерода [Электронный ресурс] / И. И. Аксёнов, В. Е. Стрельницкий // core [Электронный ресурс] : [сайт]. – URL: <https://core.ac.uk/display/38404655> (дата обращения: 5.05.2023). – Загл. с экрана. – Яз. рус.

3 Шауцуков, А. Г. Современное представление о возможных механизмах адгезии металлических пленок к различным подложкам / А. Г. Шауцуков // Прикладная физика. – 2006. – № 5. – С. 16-21.

4 Aisenberg, S. Ion-beam deposition of diamond-like carbon films / S. Aisenberg, R. S. Shabot // J. Appl. Phys. – 1971. – V.42, № 7. – P. 2953-2958.

5 Боровиков, С. М. Свойства и применение DLC – покрытий / С. М. Боровиков, Р. В. Пигаль, О. И. Терещук. – Текст : непосредственный // Молодой ученый. – 2021. – № 6 (348). – С. 6-9.