

В работе рассмотрена конвективная неустойчивость течения воздуха в вытяжной шахте над горизонтальным четырехрядным оребренным пучком труб. Продемонстрировано появление колебательной неустойчивости наряду с монотонной неустойчивостью конвекции Рэлея-Бенара в случае проницаемых горизонтальных границ на основе аналитического решения уравнений термогравитационной конвекции в случае малых чисел Пекле. Также получено численное решение уравнений термогравитационной конвекции, свидетельствующее о деформации ячеек Рэлея-Бенара в случае отличия от нуля равновесной скорости течения воздуха в шахте.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сухоцкий А.Б., Маршалова Г.С. Особенности гравитационного течения нагретого воздуха в вытяжной шахте над многорядным оребренным пучком // ИФЖ. 2019. Т.92, № 3. С. 619–625.

2. Карлович Т.Б., Сухоцкий А.Б., Данильчик Е.С. Конвективная неустойчивость воздушных потоков в вытяжной шахте над четырехрядным оребренным пучком // Вести НАН Беларуси. Серия физ.-мат.наук. 2021. Т. 57, № 2. С. 242–254.

3. Карлович Т.Б., Сухоцкий А.Б., Данильчик Е.С. Конвекция Рэлея-Бенара в вытяжной шахте над однорядным горизонтальным пучком из оребренных труб // Труды БГТУ. Сер. 3, Физико-математические науки и информатика. Минск : БГТУ, 2021. № 2. С. 58–64.

УДК 674.055:621.934(043.3)

В.В. Чаевский¹, доц., канд. физ.-мат. наук;
Р.Г. Штемплук², гл. инженер, канд. техн. наук;
А.К. Кулешов³, зав. лаб., канд. физ.-мат. наук
¹(БГТУ, г. Минск), ²(НП ЗАО «Синта», г. Минск), ³(БГУ, г. Минск)

СИНТЕЗ И СВОЙСТВА Ni-ДНА ПОКРЫТИЙ НА СТАЛИ

В настоящее время в промышленности широко применяются композиционные электрохимические покрытия (КЭП) на основе никеля [1], интерес к которым вызван уникальным комплексом присущих этим материалам физико-химических и механических свойств. Использование детонационных наноалмазов (ДНА) [2] при электрохимическом осаждении хрома, никеля, цинка приводит к получению покрытий с высокими эксплуатационными характеристиками, такими как микротвердость, износостойкость, коррозионная стойкость. Ni-ДНА КЭП улучшают долговечность инструментов, однако никелевая

матрица не обладает высокими прочностными характеристиками и износостойкостью [3]. Поэтому безэлектролизное осаждение металлических покрытий – один из перспективных методов защиты от коррозии, поскольку позволяет получать практически беспористые, однородные по толщине покрытия на деталях сложного профиля [4]. Целью данной работы был синтез химическим способом Ni-ДНА покрытий на поверхности стальной основы и исследование структуры, фазового состава и физико-механических свойств сформированных слоев.

Перед осаждением покрытий проводилась подготовка образцов, которая представляла собой химическое обезжиривание при температуре 60–80°C в течение 5–10 мин, промывку в горячей (при температуре 40–60°C) и холодной (при температуре 18–25°C) воде, травление (в растворе H₂SO₄ (300 г/л) при температуре 18–25°C в течение 3 мин) и холодную промывку, активацию, промывку. Химическое осаждение Ni-ДНА покрытия на стальную (быстрорежущая сталь Р6М5) основу проводили при высокой температуре (96°C) из раствора на основе гипофосфита натрия следующего состава: NiSO₄·7H₂O (200,0 г/л), NaCl (20,0 г/л), H₃BO₃ (20,0 г/л), Na₂H₂PO₂ (25,0 г/л) с добавлением ДНА (~2 г/л) торговой марки «УДА-ВК» производства ЗАО «Синта» (г. Минск).

Фазовый состав сформированных Ni-ДНА покрытий исследовался методом рентгеноструктурного анализа (РСА) при помощи дифрактометра Ultima IV (Rigaku, Япония) в Cu-K_α излучении. Фрикционные испытания образцов с покрытиями проводились на трибометре ТАУ-1М по методу “палец-поверхность” в условиях сухого трения. Коэффициент трения образцов определялись при возвратно-поступательном скольжении, выполненном при комнатной температуре (22±1°C). Скорость движения столика с образцом составляла 4 мм/с, закругленный индентор с радиусом закругления 0,5 мм был выполнен из твердого сплава ВК8 (твердость 87,5 HRC), нагрузка при испытаниях составляла 0,5 и 1,0 Н. Микротвердость испытуемых покрытий определялась при нагрузках 300, 500 г по методу Виккерса на микротвердомере Wilson Instrumets 402MVD (Голландия).

Рис. 1 показывает, что сформированные покрытия содержат фазы α-Ni, Ni₃P и нанодиазмы. Полученный результат подтверждает исследования [5], в которых показано, что помимо фазы твердого раствора фосфора в никеле фосфор находится в осажденном химическим способом никеле в виде фосфида Ni₂P, который при термообработке при температурах 350–400°C преобразуется в устойчивый фосфид Ni₃P.

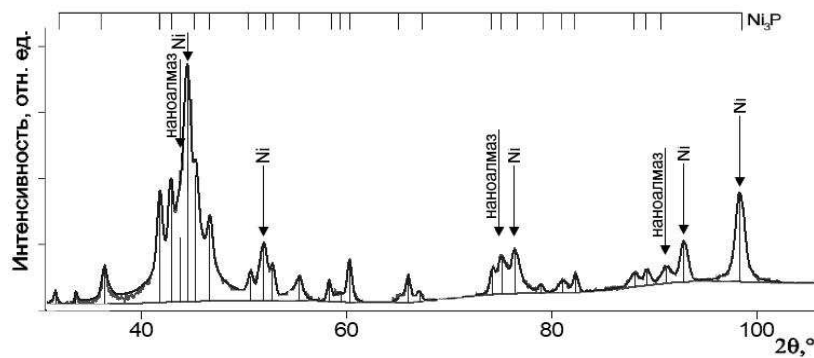


Рисунок 1 – Рентгенограмма Ni-ДНА покрытия

На основании зависимости коэффициента трения от длины пути, пройденного индентором при нагрузках 50 г и 100 г на индентор по поверхности покрытия Ni-ДНА (рис. 2), можно заключить: 1) среднее значение коэффициента трения находится в интервале 0,12–0,13; 2) покрытие имеет достаточно прочное сцепление с основой и начинает разрушаться после пройденного индентором пути 1,7–1,8 м.

Ni-ДНА покрытие имеют высокую микротвердость: 515 ± 16 HV при нагрузке 500 г на индентор и 947 ± 28 HV при нагрузке 300 г на индентор (таблица).

Таблица – Измерение микротвердости образцов с Ni-ДНА покрытиями

№ п/п	Нагрузка на индентор, г	Глубина индентирования, мкм	Значение микротвердости, HV	Среднее значение микротвердости, HV
1	500,0	5–6	495; 529; 510; 535; 505	515 ± 16
2	300,0	3,0–3,5	918; 941; 997; 942; 936	947 ± 28

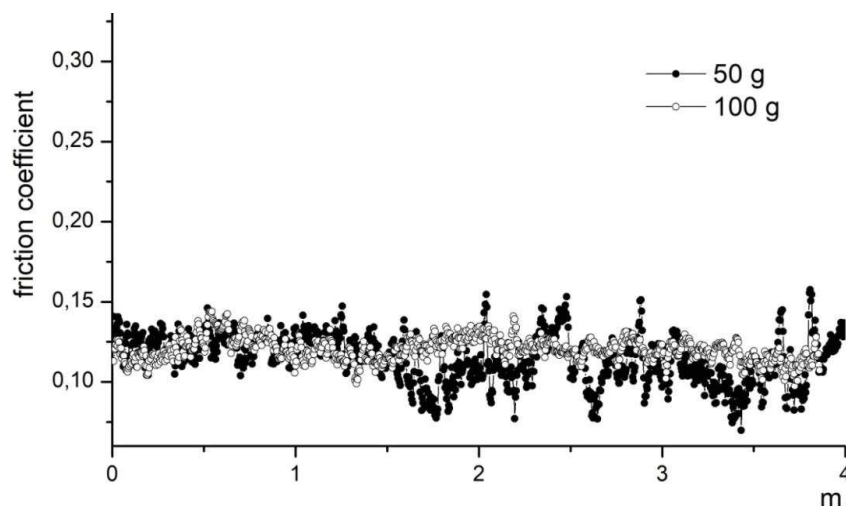


Рисунок 2 – Измерение коэффициента трения Ni-ДНА покрытия / сталь при нагрузках 50 г и 100 г

Таким образом, Ni-ДНА покрытия обладают высокими физико-механическими характеристиками и способствуют увеличению ресурса работы стальных деталей машин, механизмов и инструмента.

ЛИТЕРАТУРА

1. Целуйкин В.Н. Трибологические свойства композиционных электрохимических покрытий на основе никеля // Трение и износ, 2010. Т. 31, № 5. С. 475–478.
2. Detonation nanodiamonds: new aspects in the theory and practice of synthesis, properties and applications / V. Yu. Dolmatov [et al.] // Russ. Chem. Rev., 2020. Vol. 89, no. 12. P. 1428–1462.
3. Дисперсное упрочнение наночастицами алмазного композиционного электрохимического покрытия / Н. И. Полушин [и др.] // Известия высших учебных заведений. Порошковая металлургия и функциональные покрытия, 2011. № 4. С. 49–53.
4. Какарека А.С., Врублевская О.Н. Воробьева Т.Н. Химическое осаждение пленок Ni-W-P и Ni-P на алюминий как способ защиты алюминия от коррозии // Вестник БГУ, 2011. Сер. 2, № 1. С. 18–22.
5. Мамаев В.И., Кудрявцев В.Н. Никелирование. М.: РХТУ им. Д. И. Менделеева, 2014. 198 с.

УДК 535.37+539.19

И.В. Вершиловская¹, ст. преп., канд. биол. наук;
Л.Л. Гладков², проф., д-р физ.-мат. наук;
Д.В. Кленицкий¹, доц., канд. физ.-мат. наук;
Ваутер Маес³, проф.;
Н.Н. Крук¹, д-р физ.-мат. наук, зав. кафедрой физики
¹(БГТУ, г. Минск), ²(БГАС, г. Минск),
³(Университет Хассельта, г. Хассельт, Бельгия)

ИНВЕРСИЯ АРОМАТИЧНОСТИ NH-ТАУТОМЕРОВ СВОБОДНЫХ ОСНОВАНИЙ КОРРОЛОВ В НИЖНЕМ ТРИПЛЕТНОМ T₁ СОСТОЯНИИ

Ароматичность является одной из фундаментальных концепций в химии, которая определяет стабильность, реакционную способность, а также физико-химические характеристики молекулярных систем. Для ее количественной оценки применяются различные критерии, которые отражают влияние ароматичности на энергию молекулы, ее магнитные свойства, реакционную способность, структурные параметры и стабильность [1]. Собственно молекулы порфиринов являются, как правило, ароматическими соединениями. Их макроцикл включает 26 π-электронов, и сразу несколько контуров, содержащих 18, 22, или все 26 π-электронов удовлетворяют правилу ароматичности Хюккеля $[4n + 2]$ при значениях n соответственно равных 4, 5 и 6. Молеку-