3. І.В. Беляєва, О.М. Калінкіна, Н.А. Боброва Вплив забруднення атмосфери повітря на темпи старіння людини / І.В. Беляєва, О.М. Калінкіна, Н.А. Боброва // Проблеми екології. – 2005. – № 4. – С. 94-102.

4. Иоффе И.И. Инженерная химия гетерогенного катализа / И.И. Иоффе, Л.М. Писемен. – Л. : Изд-во "Наука", 1972. – С. 60-67.

5. Комаров В.С. Адсорбенты: вопросы теории синтеза и структуры / В.С. Комаров. – Мн. : Изд-во "Белорусская навука", 1997. – 287 с.

6. Каталізатори та сорбенти / Уклад.: М.Д. Волошин, Л.О. Зеленська. – Дніпропетровськ : Вид-во "Системні технології", 2001. – 114 с.

7. Состояние и перспективы каталитической очистки газовых выбросов (обзор) / Е.А. Трусова, М.В. Цодиков и др. // Нефтехимия. – 1995. – Т. 35, № 1. – С. 3-24.

8. Челядин Л.І. Одержання гранульованих вуглецевомінеральних матеріалів з техногенних відходів / Л.І. Челядин, В.Р. Процюк, В.Л. Челядин // Экотехнологии и ресурсосбережение. – 2004. – № 2. – С. 38-40.

9. Лисняк С.С. Кристалоквазихимический механизм высокотемпературных превращений на шпинелидных соединениях : автореф. дисс. на соискание учен. степени д-ра хім. наук / С.С Лисняк. – Львів : Вид-во НГУ, 1993. – 32 с.

10. ТУ-320.001587.64.007.

Челядын Л.И. **Хемосорбционное очищение выхлопных газов с содержанием карбон (II) оксида углеродминеральным материалом**

Приведены данные по техногенным загрязнениям в окружающую среду и вредных от транспортных средств. Для очистки выхлопных газов исследованы углеродоминеральные материалы (ВММ). По результатам экспериментальных исследований установлено, что активность ВММ при температурах 250-350 °С выхлопных газов является наивысшей. Исследования по влиянию химических соединений на поверхности ВММ показало, что наиболее активными материалами являются с покрытием феритами никеля и хрома. На основе экспериментальных данных построены изотермы адсорбции и установлено, что методом контакта выхлопных газов загрязненных СО с ВММ степень очистки составляет до 75-85 %.

Ключевые слова: окружающая среда, адсорбция, вредные компоненты, степень очистки, сорбент.

Chelyadyn L.I. **Chemosorbtion treating of exhaust gases containing carbon (II) oxide throught carbon-mineral material**

Powered number of man-made contaminants in the environment and harmful to vehicles is identified. To clean the exhaust gases vuhletsevomineralni Materials (AMM) are studied. According to the experimental results it is revealed that the activity of AMM at temperatures of 250-350°C exhaust gas is the highest. Studies on the effects of chemical compounds on the surface of the AMM showed that the most active material are coated ferrite nickel and chromium. Based on the experimental adsorption isotherm data is obtained. The exhaust gas by contacting with contaminated CO AMM degree of purification of up to 75-85 % is proved.

Keywords: environment, adsorption, harmful components, the degree of purification, sorbent.

УДК 536.532

Доц. В.О. Федінець, д-р техн. наук –
НУ "Львівська політехніка"

АНАЛІЗ ТА ОЦІНЮВАННЯ ТЕРМОЕЛЕКТРИЧНИХ МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ ГАЗОВИХ ПОТОКІВ

Проведено аналіз і оцінку термоелектричних матеріалів із шляхетних металів і стопів як чутливих елементів засобів вимірювання температури газових потоків. Досліджено їх термоелектричну стабільність залежно від властивостей газового потоку і конструкційних матеріалів, що безпосередньо контактують з ними.

Ключові слова: газовий потік, термоелектричні матеріали, термопари, термоелектрична стабільність, засоби вимірювання температури.

Вступ. Метрологічні характеристики засобів вимірювання температури – термоперетворювачів (ТП) – визначаються властивостями чутливого елемента (ЧЕ), тобто властивостями термоелектричних матеріалів (термоелектродів), із яких вони виготовлені. Важливе значення мають технологічність, однорідність і відтворюваність термоелектричних властивостей в умовах промислового виробництва термоелектродних матеріалів і технологія виготовлення ЧЕ.

Однією з основних характеристик термоелектродів є стабільність цих властивостей внаслідок експлуатації в різних середовищах і різних зовнішніх впливів – механічних, електричних, хімічних тощо.

Аналіз публікацій. Досліджено термометричні матеріали в значній кількості публікацій, наприклад **[**1-3**]**, в яких достатньо повно вивчено їх термоелектричні властивості, вплив досліджуваних середовищ, радіації, високого тиску, деформацій, термоциклічних впливів тощо на зміну термо-е.р.с. та її стабільність. Тому в цій роботі виконано аналіз і оцінку термоелектричних матеріалів щодо можливого їх застосування тільки під час вимірювання температури газових потоків.

Термоелектричні матеріали. Високошвидкісні газові потоки зазвичай мають температуру більшу за 1200 °С. Тому для вимірювання таких температур необхідно застосовувати ТП, ЧЕ яких (термопари) виготовлені із шляхетних металів і стопів. Термопари із шляхетних металів і стопів мають високу точність, стабільність і відтворюваність показів, хоча в загальному їх термо-е.р.с. є нижчою, ніж термопар із нешляхетних металів і стопів. Це можна пояснити хімічною інертністю матеріалу і можливістю виготовлення їх з високим ступенем чистоти. Сьогодні вивчено і досліджено велику кількість комбінацій платини, іридію, родію і їх стопів.

Найбільш вивченою і надійною нині є термопара, термоелектроди якої виготовлені із платинородієвого (10 % родію) стопу ПР10 і чистої платини ПлТ. Умовне позначення її номінальної статичної характеристики (НСХ) згідно з класифікацією Міжнародної електротехнічної комісії (МЕК) – тип S. Термопари типу S застосовують як зразкові I, II і III розрядів і як робочі підвищеної точності, а також для вимірювання високих температур у наукових дослідженнях і в промислових умовах, коли до точності вимірювання пред'являються підвищені вимоги.

Недоліком термопари є велика чутливість до забруднень металевими і неметалевими домішками під час виготовлення, монтажу й експлуатації, нестабільність в умовах опромінювання, висока вартість. Забруднення призводить до зниження точності і хрупкості, а також до появи дрейфу термо-е.р.с. Найбільше піддається цьому платиновий термоелектрод. Вплив домішок на термоелектричні властивості платини детально описано в **[**4,5**]**. Виявлено, що найбільше впливають домішки заліза.

Стабільність термопар типу S в межах температур 1000…1500 ^{0}С досить висока. Згідно з **[**6**]**, за три роки експлуатації термопари при 1300 ^{0}С в ізоляції із чистого оксиду алюмінію зміна показів становила декілька кельвінів. Верхня температурна межа короткочасного використання обмежена, в принципі, тем-

пературою топлення платини, але зазвичай термопара типу S використовується короткочасно тільки до 1600 ^{0}C. Під час експлуатації термопари в діапазоні вище 1450 ^{0}C відбувається ріст зерен, що призводить до значної втрати міцності і до лінійного розширення. На значення термо-е.р.с. великий вплив має число і протяжність міжзеренних границь, оскільки від цього залежить швидкість забруднення (випаровування родію, просування кремнію вздовж меж тощо). Термоелектрична неоднорідність є такою, що різниця максимального і мінімального значень термо-е.р.с. платинової дротини при ($800^{\pm20}$) ^{0}C не перевищує 7 мкВ і платинородієвої дротини ПР10 при ($1200^{\pm20}$) ^{0}C не перевищує 15 мкВ.

Для вимірювання температур вище 1600 ^{0}C застосовують термопару платинородій 30 (ПР30)/платинородій 6 (ПР6), тип якої згідно з класифікацією МЕК – В. Максимальна температура її застосування лімітується температурою топлення від'ємного термоелектрода ПР6, яка становить 1820 ^{0}C.

Вважається, що термопара типу В характеризується більшою стабільністю, ніж типу S, хоча експериментальних підтверджень цього в літературі досить небагато. Результати експериментальних даних досить суперечливі й торкаються тільки деяких питань, пов'язаних із нестабільністю термопар із платинородієвих стопів. Основними причинами нестабільності платинородієвих термопар як в окислювальних, так і в нейтральних середовищах вважається забруднення залізом із керамічних захисних чохлів, проникнення металів з одного термоелектрода в інший через робочий злют, а також переважне випаровування одного компонента домішки металу або оксиду з термоелектрода **[**1**]**.

Нестабільність термо-е.р.с. платинородієвих термопар зумовлена переважно змінами хімічного складу одного або обидвох термоелектродів у зоні температурного градієнта. Для випадку захищених термопар, що тривалий час експлуатуються за температури 1000…1700 ^{0}C в окислювальних і нейтральних середовищах або у вакуумі, зміни хімічного складу термоелектродів відбуваються, здебільшого, внаслідок їх взаємодії з домішками з захисних арматур. Взаємне проникнення металу з одного термоелектрода в інший через гарячий злют і переважне випаровування одного із них дуже мало впливає на нестабільність термо-е.р.с. термопар. Нестабільність їх швидко збільшується із зростанням температури і зменшенням вмісту родію. За високої температури спостерігаємо швидкий ріст зерен. Іноді окремі зерна можуть займати все поперечне січення термоелектрода, що підвищує її хрупкість і змінює термоелектричні властивості термоелектродних стопів.

Серед матеріалів платинової групи, що повільно окисляються, найвищу температуру топлення має іридій. Це дає змогу виготовляти термопари для вимірювання температури до 2200 ^{0}C в окислювальних середовищах, які характерні для потоків продуктів згоряння вуглеводневих палив. Вимогам необхідної точності і температурного діапазону в такому середовищі задовольняє тільки термопара з термоелектродами: додатній – іридій + 60 % родію (ІР60), від'ємний – іридій ІР. Статична характеристика перетворення – індивідуальна (ІР60/0) і кожна термопара підлягає градуюванню. Необхідно відзначити низьку пластичність матеріалів термоелектродів, що ускладнює процес виготовлення термопар. Використання таких термопар доцільне тільки у вакуумі й окислювальному середовищі. У відновлювальних середовищах вони швидко змінюють свої термоелектричні характеристики.

Термін служби іридій/родієвих термопар значно менший від платинородієвих, навіть за однакових температур застосування, оскільки іридій окислюється легше, ніж платина, а оксиди іридію легколетучі. Тому термін служби іридієвого термоелектрода в окислювальному середовищі за температури 2000 ^{0}C становить до 35 годин. Головними причинами нестабільності термоелектричних властивостей іридій/родієвих термопар є неоднорідність структури і структурні зміни, що виникають у процесі експлуатації. Відтворюваність показів таких термопар приблизно в 1,5 рази гірша, ніж у платинородієвих. Внаслідок відсутності стандартної НСХ перетворення, високої вартості і дефіцитності іридію іридій/родієві термопари застосовують тільки для найбільш відповідальних випадків, наприклад у зоні допалювання палива реактивних двигунів, під час їх досліджень на випробувальних стендах тощо **[**7**]**.

Стабільність термо-е.р.с. Численні дослідження **[**1-5**]**, а також наші дослідження показують, що стабільність термо-е.р.с. термоелектродних матеріалів залежить як від властивостей середовища, так і від конструкційних матеріалів, що знаходяться в безпосередньому контакті з термоелектродами.

Вплив властивостей середовища на стабільність термо-е.р.с. Більшість даних зі стабільності, що наведені в літературних джерелах, не завжди узгоджуються між собою. Розбіжності зумовлені переважно відмінностями методів дослідження, неповними даними про розміри зон градієнтів температури і глибини занурення під час нагрівання і вимірюваннях, а також відмінностями часу нагрівання, навколишніх середовищ, температур тощо.

Велика кількість вимірювань температури газових потоків відбувається у повітрі або інших середовищах, що містять вільний кисень. Нагрівання термоелектодів у таких середовищах супроводжується зміною термо-е.р.с., яка виникає внаслідок вибіркового окислення компонентів. Вибіркове окислення є однією з причин нестабільності термо-е.р.с. термоелектродних стопів шляхетних металів. Автором проводилося дослідження стабільності платинородієвих термопар типу В, що експлуатувалися в повітряному середовищі за наявності вібрацій, ударів, теплопритоків і тепловідтоків по захисній арматурі. Чисельні значення відхилень НСХ платинородієвих термопар від початкових значень залежно від температури і часу експлуатації наведені в **[**8**]**, але механізм зміни термо-е.р.с. повністю не виявлений. Виявлено, що НСХ залежить не тільки від зміни складу термоелектродів, але і від зміни їх структурного складу. Під час нагрівання зміни термо-е.р.с. мають складний характер, причиною чого є відмінності температур активації дифузійних процесів, відмінності у вмісті домішок і легуючих елементів у матеріалах термоелектродів, відмінності в процесах рекристалізації, а також відмінності фізичних сталих матеріалів термоелектродів. Для кожного платинородієвого стопу існує певна температура нагрівання, при якій дрейф практично відсутній (склад стопу зберігається практично незмінним).

Під час нагрівання термопар типу S в окислювальній атмосфері нестабільність термо-е.р.с. може бути викликана, поряд з іншими причинами, збідненням додатнього термоелектрода родієм внаслідок його селективного випаровування. Набагато більша нестабільність виникає в тих випадках, коли родій,

що випарувався із платинородію, осідає на платиновому електроді. Домішка 0,01 % родію змінює термо-е.р.с. платини при 1200 ^{0}С на 150 мкВ.

Вплив властивостей конструкційних матеріалів на стабільність термо-е.р.с. Ізолююча і захисна кераміка зазвичай є основним джерелом забруднень, які можуть змінити хімічний склад і термо-е.р.с. термоелектродів. Взаємодія кераміки і термоелектродів можлива за порівняно високих температур і результат взаємодії виявляється особливо в термопарах, електроди яких представляють собою чисті метали.

В окислювальній атмосфері термопари типу В практично інертні відносно більшості вогнетривких оксидів. Але домішки, що містяться в ізоляційній кераміці, особливо домішки заліза, в глиноземних матеріалах є основною причиною дрейфу термо-е.р.с. термопар типу В. Вважаємо, що сполуки заліза, що містяться в ізоляційній кераміці, дисоціюють, а залізо, що утворюється, взаємодіє з матеріалом термоелектродів. Такий процес може бути реалізований в нейтральних середовищах. В окислювальному середовищі він є менш імовірний і експериментальні дані багатьох авторів підтверджують високу стабільність термо-е.р.с. термопар типу В в окислювальних середовищах.

Однією із можливих причин нестабільності термопар є взаємна дифузія компонентів термоелектродних стопів у робочому злюті. Така дифузія призводить до помітної зміни хімічного складу стопів. І якщо ділянки термоелектродів зміненого хімічного складу знаходяться в зоні градієнта температур, то термо-е.р.с. термопари змінюється. Дифузія може відбуватися не тільки під час експлуатації термопари, але і бути наслідком неправильної технології її виготовлення.

У реальних умовах нестабільність термо-е.р.с. термопар зумовлена багатьма факторами, що діють одночасно. Можна навіть стверджувати, що дрейф показів термопар обумовлений всіма зазначеними вище факторами, а також деякими іншими, до яких можна віднести, наприклад, процеси гомогенізації і зворотні їм процеси утворення кластерів, сегрегацій компонентів і домішок у термоелектродних матеріалах за умови високотемпературного нагрівання, релаксації залишкових напружень і ефектів наклепу після деформації під час виготовлення і складання термопар тощо. Однак у більшості випадків дрейф термо-е.р.с. визначається декількома головними причинами, які можуть бути різними для різних типів термопар і умов їх експлуатації, а інші мають другорядне значення.

Висновки. Стабільність і відтворюваність термоелектричних властивостей матеріалів визначається двома основними причинами: хімічним складом і структурним станом матеріалу. Найвищою стабільністю метрологічних характеристик під час вимірювання високих температур газових потоків мають термопари, що виготовлені із шляхетних металів і стопів.

Для підвищення стабільності термо-е.р.с. термопар необхідно зменшити можливість забруднення термоелектродів неорганічними й органічними домішками, що є в захисних чохлах, термоелектродах, кераміці. Це можна досягнути використанням чохлів і кераміки з відповідних матеріалів, спеціальних методів очистки поверхні всіх компонентів і їх складання, запобігання попадання вологи на поверхню термопар.

Література

1. Хаяк Г.С. Промышленные изделия из благородных металлов и сплавов / Г.С. Хаяк, А.А. Куранов, М.А. Чебыкин. – М. : Изд-во "Металлургия", 1985. – 264 с.

2. Благородные металлы: справ. изд. / под ред. Е.М. Савицкого. – М. : Изд-во "Металлургия", 1984. – 592 с.

3. Копецкий И.В. Структура и свойства тугоплавких металлов / Иван Васильевич Копецкий. – М. : Изд-во "Металлургия", 1994. – 208 с.

4. Froschauer L. Temperature Measurement with Pt-Rh Thermocouples – Causes of Errors and Failure / L. Froschauer, D. Schmidt // Interceram. – 1987. – Vol. 26, № 2.

5. Исследование сплавов для термопар: Труды Гипроцветметобработка. – М. : Изд-во "Металлургия", 1989. – Т. III, вып. 29. – С. 140-150.

6. Фединець В.О. Дослідження тепло- та електроізоляційних матеріалів для засобів вимірювання температури газових потоків / В.О. Фединець // Науковий вісник НЛТУ України : зб. наук.-техн. праць. – Львів : РВВ НЛТУ України. – 2011. – Вип. 21.1. – С. 126-130.

7. Фединець В.О. Експериментальні випробування термоперетворювачів для вимірювання температури газових потоків на ресурс / В.О. Фединець // Науковий вісник НЛТУ України : зб. наук.-техн. праць. – Львів : РВВ НЛТУ України. – 2011. – Вип. 21.2. – С. 128-131.

8. Фединець В.О. Термоелектрична нестабільність термопар з тугоплавких металів і сплавів / В.О. Фединець, Л.М. Соляник // Метрологічне забезпечення температурних і теплофізичних вимірювань (Термометрія-94) : тези доп. Міжнар. наук.-техн. конф. – Х., 1994. – С. 95-96.

Фединец В.А. **Анализ и оценка термоэлектрических материалов для средств измерения температуры газовых потоков**

Проведен анализ и оценка термоэлектрических материалов из благородных металлов и сплавов как чувствительных элементов средств измерения температуры газовых потоков. Исследована их термоэлектрическая стабильность в зависимости от свойств газового потока и конструкционных материалов, непосредственно контактирующих с ними.

Ключевые слова: газовый поток, термоэлектрические материалы, термопары, термоэлектрическая стабильность, средства измерения температуры.

Fedynets V.O. **The analysis and estimation of thermo-electric materials for gas streams temperature measuring facilities**

The analysis and estimation of thermo-electric materials from noble metals and alloys as pickoffs of gas streams temperature measuring facilities are conducted. Their thermo-electric stability depending on properties of gas stream and construction materials which directly contact with them is investigated.

Keywords: gas stream, thermo-electric materials, thermocouples, thermo-electric stability, temperature measuring facilities.

УДК 629.017

Доц. М.Г. Грубель, канд. техн. наук;
викл. М.Б. Сокіл, канд. техн. наук; викл. Р.А. Нанівський –
Академія сухопутних військ ім. гетьмана П. Сагайдачного, м. Львів

КОЛИВАННЯ ПІДРЕСОРЕНОЇ ЧАСТИНИ КОЛІСНОГО ТРАНСПОРТНОГО ЗАСОБУ ТА ЇХ ВПЛИВ НА СТІЙКІСТЬ РУХУ ВЗДОВЖ КРИВОЛІНІЙНОЇ ДІЛЯНКИ ШЛЯХУ

Отримано залежність частоти власних прямолінійних коливань підресореної частини колісного транспортного засобу (КТЗ) від амплітуди та параметрів, які описують нелінійно-пружну характеристику відновлюючої сили пружних амортизаторів; проаналізовано їх вплив на критичну швидкість стійкого руху КТЗ вздовж криволінійної ділянки шляху.

Ключові слова : *підр*есорена маса, підвіска, нелінійні коливання, стійкість руху, критична швидкість.