

Секція – 6. Фізико-технічні проблеми матеріалознавства

Назва пріоритетного напрямку вищого розвитку науки і техніки:

Фундаментальні наукові дослідження з найбільш важливих проблем розвитку науково-технічного, соціально-економічного, суспільно-політичного, людського потенціалу для забезпечення конкурентноспроможності України та сталого розвитку суспільства і держави.

Назва пріоритетного тематичного напрямку:

Фундаментальні проблеми сучасного матеріалознавства.

Організація-виконавець – ДВНЗ “Донецький національний технічний університет”

Адреса: ДонНТУ, вул. Артема, 58, м. Донецьк, 83001

Назва наукового проекту: “Індуковані екстремальними впливами водню макро-, мікро- і нанотрансформації стану металевих матеріалів”.

АВТОРИ ПРОЕКТУ

Керівник проекту: Гольцов Віктор Олексійович

Науковий ступінь: доктор технічних наук, **учене звання:** професор, академік Інженерної академії України, Міжнародної інженерної академії, Міжнародної академії інформатизації при ООН.

Місце основної роботи: ДВНЗ “Донецький національний технічний університет” (ДВНЗ ДонНТУ)

Посада: завідувач кафедрою фізики, Науковий керівник Проблемної науково-дослідної лабораторії взаємодії водню з металами і водневих технологій (ПЛВМВТ)

Робоч. тел., факс: (062) 305-02-35, (062) 304-12-78, дом. тел.: (062) 295-37-50

Виконавці проекту:

- 1 – Мурадова Раїса Григорівна, канд. техн. наук, доцент, каф. фізики;
- 2 – Ветчинов Олександр Васильович, канд. фіз.-мат. наук, доцент; каф. фізики;
- 3 – Глухова Жанна Лук'янівна, канд. фіз.-мат. наук, доцент; каф. фізики;
- 4 – Гольцова Марія Вікторівна, канд. техн. наук, доцент, каф. кольор. мет. і конструкц. матер.;
- 5 – Жиров Григорій Іванович, канд. фіз.-мат. наук, доцент; каф. фізики;
- 6 – Гольцова Людмила Федорівна, канд. техн. наук, провід. наук. співробіт., каф. фізики;
- 7 – Котельва Раїса Василівна, наук. співробіт., каф. фізики;
- 8 – Любименко Олена Миколаївна, асистент (молодий вчений), каф. фізики;
- 9 – Щеголева Тетяна Олександрівна, асистент (молодий вчений), каф. фізики.
- 10 – Бондарчук Вікторія Вікторівна, магістрант;
- 11 – Костюк Аліна Геннадіївна, студент;
- 12 – Пчеленко Тетяна Михайлівна, студент.

Запит розглянуто і погоджено рішенням Ученої ради ДВНЗ “Донецький національний технічний університет” від 14.06.2012 р., протокол № 6.

Керівник проекту

Зав. каф. фізики ДВНЗ ДонНТУ

_____ В.О.Гольцов
« ____ » _____ 2012 р.

Проректор із наукової

роботи ДВНЗ ДонНТУ

_____ Є.О.Башков
« ____ » _____ 2012 р.

Секція – 6. Фізико-технічні проблеми матеріалознавства

ПРОЕКТ
фундаментального дослідження за рахунок витрат державного бюджету

Назва проекту: “Індуковані екстремальними впливами водню макро-, мікро- і нанотрансформації стану металевих матеріалів”.

Код КПКВ 2201020 – «Фундаментальні дослідження у вищих навчальних закладах і наукових установах»

Терміни виконання: з 01 січня 2013 р. по 31 грудня 2015 р.

Обсяг фінансування: 480,0 тис. грн., зокрема на 2013 р.: 160,0 тис. грн.

1. АНОТАЦІЯ:

Знання фундаментальних закономірностей макро-, мікро- і нанотрансформацій стану металевих матеріалів у результаті зовнішніх екстремальних впливів водню необхідно для забезпечення наукових основ розробки водневої техніки майбутнього (електрохімічне виробництво водню на паладієвих мембранах, паливні елементи, термоядерні реактори й ін.) і наукових основ безаварійної роботи сучасних водневонебезпечних виробництв: атомна енергетика, газотранспортна індустрія природного газу, електрохімічні виробництва, нафтохімічна промисловість, чорна і кольорова металургія.

Проект спрямовано на розробку фундаментальної проблеми матеріалознавства, а саме, на встановлення закономірностей макро-, мікро- і нанотрансформацій стану металевих матеріалів, що викликаються екстремальними впливами газоподібного водню, що приводять до розвитку гідридних перетворень, і екстремальними впливами електрохімічного водню. Наукові результати будуть захищені охоронним документом у формі ноу-хау на фізичні основи технологічних регламентів, а також будуть використані при підготовці фахівців вищої кваліфікації (дві докторських і одна кандидатська дисертації виконавців проекту).

2. ПРОБЛЕМАТИКА ДОСЛІДЖЕННЯ:

Об'єкт дослідження: нержавіюча сталь, паладій, сплави паладій-водень. Вибір об'єктів дослідження обумовлений тим, що нержавіюча сталь, паладій і його сплави широко використовуються у водневій і електрохімічній техніці, в атомній промисловості й інших галузях сучасної техніки. У той же час важливо, що для встановлення фундаментальних закономірностей взаємодії водню з металами система паладій-водень є класичною модельною системою.

Предмет дослідження: необоротні трансформації макроскопічної форми металу, його мікро- і нанобудова, індуковані зовнішнім екстремальним впливом газоподібного й електрохімічного водню.

Фундаментальна проблема, на рішення якої спрямовано проект: фізика впливу водню на металеві матеріали; фізичні закономірності, знання яких складає наукову основу безаварійної експлуатації металевих матеріалів, що піддаються екстремальному впливу газоподібного й електрохімічного водню.

Фундаментальність цієї проблеми обумовлено унікальними особливостями водню в порівнянні з іншими «великими» атомами проникнення (С, N, O та ін.):

- винятково висока дифузійна рухливість, що дозволяє водню проникати в метал і евакуюватися з металу навіть при дуже низьких температурах;

- водень, введений у метал, плавно і дуже сильно розширює кристалічні ґрати металу і викликає виникнення сильних внутрішніх воднево-концентраційних напружень;

- при екстремальних умовах водень, що вводиться в метал, викликає розвиток гідридних фазових перетворень, що викликають виникнення набагато більш сильних водневофазових напружень, що веде зрештою до деградації і руйнування металевих конструкцій і виробів.

У рамках загальної проблеми заплановано рішення конкретної фундаментальної задачі, що складається у встановленні закономірностей індукованих екстремальним впливом водню макро-, мікро- і нанотрансформацій стану металів і сплавів. Рішення цієї фундаментальної наукової задачі необхідно для розробки фізичних основ технологій, що попереджають водневу деградацію і руйнування металевих матеріалів, металевих виробів і конструкцій водневонебезпечних виробництв.

3. МЕТА Й ОСНОВНІ ЗАВДАННЯ ПРОЕКТУ:

Мета даного проекту – встановити на нержавіючій сталі, паладії і його сплавах закономірності індукованих сильним впливом водню макроскопічних, мікро- і нанотрансформацій будови і властивостей металів і сплавів. При цьому екстремальний вплив водню буде досягтися проникненням електрохімічного і/чи газоподібного водню, що контактує з металом у практично важливій низькотемпературній області від кімнатної температури до 200-300⁰С.

Важливе завдання проекту – експериментально досліджувати “in situ” макроскопічну трансформацію **необоротної** формозміни металевого виробу з паладію у вигляді пластини при розвитку гідридних перетворень під впливом односторонньо проникаючого водню, що контактує з металом у газоподібній формі. При цьому в експериментах будуть закономірно варіюватися величини тиску газоподібного водню, швидкості його подачі, температури впливу, кількість водню, попередньо розчиненого в металі. Це завдання буде виконано на спеціальній воднево-вакуумній установці (ВВУ-4), раніше створеній авторами проекту. ВВУ-4 дозволяє візуально спостерігати і досліджувати “in situ” необоротну й оборотну формозміну металевої пластини.

Інше завдання – експериментально вивчити зміни мікро- і нанобудови мембранних матеріалів, обумовлені проникненням у метал водню з розвитком гідридних перетворень, що приводять до формування градієнтних мікро- і наноструктур α -PdH_n + β -PdH_{1-n}. Буде розроблено феноменологічну модель досліджуваного явища, що дозволить прогнозувати мікро- і нанотрансформацію будови і властивостей матеріалів, що піддаються впливу проникаючого водню.

Третє завдання проекту – спроектувати і виготовити електрохімічну водневу установку (ЕВУ-5), відробити методику і провести експериментальне дослідження “in situ” індукованої воднем формозміни металевих виробів у вигляді пластини з аустенітної сталі і сплавів паладію; встановити закономірність зміни форми металевих пластин при кімнатній температурі і різній густині струму, що забезпечує одностороннє екстремальне насичення іонізованим воднем металевих виробів; розробити вихідні фізичні дані для технологічних режимів безпечної експлуатації аустенітних сталей електрохімічних і хімічних виробництв і мембранних сплавів паладію для одержання особливо чистого водню і його ізотопів для атомної, водневої і термоядерної енергетики.

4. СТАН ДОСЛІДЖЕНЬ ЗАДАЧІ:

Одна із сучасних ключових фізико-технічних задач матеріалознавства полягає в тому, щоб розробити фізичні основи безпечної експлуатації функціональних і конструкційних матеріалів для таких областей техніки як сучасна атомна енергетика і воднева енергетика майбутнього, а також для сучасних водневонебезпечних виробництв: індустрія міжнародного транзиту, переробки і локального транспортування природного газу, хімічна і нафтохімічна промисловість, чорна і кольорова металургія, нові ресурсо- і енергозберігаючі технології. У цілому по проблемі взаємодії водню з металами у світі активно працюють вчені США, Європи, Японії, Китаю й інших країн. Колектив кафедри фізики і Проблемної науково-дослідної лабораторії (ПЛВМВТ) ДонНТУ в цьому міжнародному науковому співтоваристві займає свою наукову

нішу і є одним з лідерів нової області матеріалознавства: водневе матеріалознавство і воднева обробка матеріалів, у рамках якої поставлено мету і задачі даного проекту.

Наукову розробку проблеми ДонНТУ здійснює за міжнародними договорами про співдружність з Міжнародною асоціацією водневої енергетики (MABE, США) і Міжнародним центром з водневих енергетичних технологій Організації індустріального розвитку ООН (UNIDO-ICHET, Відень-Стамбул). У 2007 р. ДонНТУ і зазначені міжнародні організації провели 5-у міжнародну конференцію «Воднева економіка і воднева обробка матеріалів» (ВОМ-2007, Донецьк, 21-25 травня 2007 р.), у якій взяли участь вчені з 28 країн світу. Праці ВОМ-2007 у 2-х томах загальним обсягом 952 с. було видано в Україні, а потім у міжнародному журналі «International Journal of Nuclear Hydrogen Production and Applications» (IJNHPA) у двох спеціальних випусках журналу: IJNHPA, 2008, Vol.1, № 4 і IJNHPA, 2009, Vol.2, № 1 (запрошений редактор – професор В.О.Гольцов).

У цілому, автори проекту володіють по розроблювальній проблемі всією міжнародною науковою інформацією, і в значному обсязі до її опублікування, тому що керівник проекту В.О.Гольцов одержує інформацію як член редколегій і рецензент ряду високореєтингових міжнародних журналів. Відповідно, як міжнародні лідери у своїй області, автори поставили в даному проекті фундаментальні цілі і задачі, що відповідають світовому рівню матеріалознавства. Слід підкреслити, що наукова новина проблеми, поставленої у проекті, базується на абсолютно новій науковій задачі, постановка якої не має аналогів в сучасній світовій науці.

5. МЕТОДИ, ПІДХОДИ, ІДЕЇ, РОБОЧІ ГІПОТЕЗИ, ЯКІ ПРОПОНУЮТЬСЯ ДЛЯ ВИРІШЕННЯ ЗАВДАНЬ ПРОЕКТУ:

Основна наукова ідея проекту полягає в тому, щоб експериментально встановити закономірності і виявити особливості **екстремального** впливу водню на трансформацію металевих матеріалів. Особливо важливо (і в цьому складається новизна підходу до реалізації наукової ідеї), що **екстремальність** водневого впливу на метал заплановано досягати двома принципово різними експериментальними прийомами. Перший – метал буде насичуватися воднем при контакті з молекулярним, газоподібним воднем. При цьому будуть знайдені умови (P_{H_2} , T), при яких насичення металу воднем буде супроводжуватися гідридним перетворенням, що приведе до екстремальності водневого впливу. Другий підхід – метал буде насичуватися електрохімічно з електроліту і, відповідно, іонізований водень буде введений у метал до винятково високих концентрацій.

Відповідно, у проекті передбачено проектування і виготовлення нової електрохімічної водневої установки для прямого спостереження і вивчення “in situ” трансформації металу при його електрохімічному насиченні воднем. Це складна і трудомістка задача проекту, але її постановка абсолютно необхідна для успішного рішення основної ідеї проекту.

Робоча гіпотеза проекту полягає в тому, що очікуються принципово різні ефекти макроскопічних і мікроскопічних трансформацій металевого виробу при його однобічному насиченні газоподібним і електрохімічним воднем.

Інша гіпотеза проекту полягає в тому, що згідно ідеї проекту, екстремально сильний водневий вплив з розвитком гідридних перетворень повинен супроводжуватися особливими ефектами на мікро- і нанорівні. Пошукові дослідження, раніше виконані авторами проекту, вказують на обґрунтованість ідеї проекту і сформульованих вище гіпотез. Однак публікації в цьому напрямку у світовому друку відсутні. Що свідчить про актуальність, своєчасність і доцільність виконання систематичних досліджень для досягнення цілей і рішення задач, запланованих до виконання в даному проекті. Таким чином в роботі за проектом буде використовуватись принципово новий метод рішення поставленої наукової проблеми, а саме екстремальність водневого впливу двома принципово різними експериментальними засобами: введенням в метал водню із газової фази та газової фази із електроліту (іонізований водень).

6. ОЧІКУВАНІ НАУКОВІ РЕЗУЛЬТАТИ ВИКОНАННЯ ПРОЕКТУ:

Наукові результати, що будуть отримані при виконанні проекту, закріплять науковий пріоритет України, ДонНТУ й авторів проекту в новій області матеріалознавства – водневе матеріалознавство і воднева обробка матеріалів.

Буде отримано вперше у світовій науці нові знання і встановлено нові фізичні закономірності реагування металу на екстремальний вплив газоподібного й електрохімічного водню у дуже нерівноважних умовах.

Необхідно підкреслити, що у світі ніхто не робить і не поставляє стандартного наукового устаткування, придатного для рішення цілей і задач проекту. Тому в проекті, як вже було сказано, заплановано силами авторів проекту проектування і створення нової електрохімічної водневої установки, що дозволяє безпосередньо (“in situ”) спостерігати і фіксувати, яким чином металевий виріб у вигляді пластинки трансформується при її однобічному екстремальному насиченні воднем.

Важливим очікуваним результатом проекту є розробка феноменологічної моделі для встановлених експериментальних закономірностей трансформації металу при екстремальних впливах водню. Встановлені експериментально закономірності розкриють фізичну природу «роботи» внутрішніх водневих напружень, що відповідають за надійність і працездатність металу при його експлуатації в контакті з воднем, його ізотопами і водневоміщуючими середовищами.

Відповідно з поставленими цілями і задачами в проекті будуть отримані нові знання про еволюцію градієнтних сплавів метал-водень, їх мікро- і нанобудови і впливи на властивості металів і сплавів в екстремальних умовах, коли водневий вплив викликає в металі гідридні перетворення і викликає мікро- і нанотрансформацію структури. Встановлені в цьому завданні проекту фізичні закономірності дозволять знайти нові шляхи керування структурою і властивостями металу при їхній водневій обробці й експлуатації у водневоміщуючих середовищах.

Очікувані результати виконання проекту відповідають світовому рівню розвитку матеріалознавства для рішення проблем водневонебезпечних виробництв і майбутньої водневої енергетики. Це підтверджено вивченням спеціальної міжнародної наукової літератури (“International Journal of Nuclear Hydrogen Production and Applications”, “International Journal of Hydrogen Energy”, “Journal of Alloys and Compounds”, праці міжнародних конференцій). Особливо інформативним є міжнародний журнал “International Journal of Hydrogen Energy” (IJHE), почесним членом редколегії та рецензентом якого є професор В.О.Гольцов – член Ради директорів Міжнародної асоціації водневої енергетики (США). На важливість проблеми, з якої заявлено проєкт, вказує те, що цей міжнародний журнал виходить в обсязі 24 випусків на рік (кожен випуск – більш 500 с., імпаکت-фактор – більш 4,0). Виконаний аналіз однозначно підтвердив, що даний проєкт, його ціль, задачі й очікувані наукові результати відповідають світовому рівню.

Більш того, очікувані наукові результати базуються на абсолютно новій ідеї – встановити загальні закономірності екстремального впливу водню на метал з двох різних позицій, використовуючи два “різних” водню: газоподібний та іонізований електрохімічно.

7. ДОРОБОК АВТОРІВ ЗА ТЕМАТИКОЮ ПРОЕКТУ (за останні 5 років):

Вихідна інформація: наукова школа ДонНТУ “Фізика впливу водню на металеві матеріали” визнана в науковому світі, а її керівник – професор В.О.Гольцов, Заслужений працівник освіти України, є членом Ради директорів Міжнародної асоціації водневої енергетики (США) і входить до редколегій ряду міжнародних журналів. За останні роки один його учень захистив докторську дисертацію і 6 учнів захистили кандидатські дисертації (усього – більш 20 кандидатських дисертацій). Науковий досвід і наукова школа В.О.Гольцова, її досягнення узагальнено в колективній монографії “Progress in Hydrogen Treatment of Materials” (V.A. Goltsov, Editor, Donetsk-Coral Gables: Kassiopeya, 2001.–543 pp.). Монографію підготовлено і видано під патро-

натом Міжнародної асоціації водневої енергетики (США), і в даний час її використовують вчені з 33 країн світу.

Доробок за останні 5 років: під керівництвом професора В.О.Гольцова закінчила виконання експериментальної частини дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук асистент О.М.Любименко, вона цього року представить дисертацію до захисту в Спеціалізовану Вчену раду при ННЦ «ХФТІ». Продовжує роботу над кандидатською дисертацією (після виходу з відпустки по догляду за дитиною) асистент Т.О.Щеголева, асистент О.В.Додонова (після виходу з відпустки по догляду за дитиною) буде продовжувати працювати над кандидатською дисертацією. Визначено науковий напрямок і почато роботу над докторською дисертацією одним із виконавців даного проекту – доцентом Ж.Л.Глуховою.

Перелік публікацій у високорейтингових наукових виданнях (за останні 5 років):

- у вітчизняних виданнях (з переліку ВАК) – 12 публікацій;
- у виданнях, що входять у наукометричну базу Scopus – 9 публікацій;
- інші реферовані міжнародні видання – 6 публікацій.

Виконавці проекту особисто брали участь і виступили з доповідями на 19 міжнародних наукових конференціях: Німеччина-Берлін (2010); Індія-Делі (2009); Італія-Монтекатімі Терме (2007); Китай-Сіань (2008); Туніс-Хаммамет (2010); Росія – Іжевськ (2008, 2010), Перм (2010), Москва (2008, 2010), Тольятті (2011), Єкатеринбург (2008, 2012); Україна – Київ (2008, 2010, 2012), Харків (2009, 2011), Донецьк (2010).

За останні 5 років автори проекту напрацювали науковий добуток, що послужив підставою для висування і реалізації даного проекту, його ідеї і задач. Основи цього наукового добутку авторів проекту викладено у нижчеподаних наукових публікаціях.

1. Глухова Ж.Л., Любименко Е.Н., Гольцов В.А. Экспериментальное исследование индуцированного водородом формоизменения пластины из палладия и сплавов альфа-PdHx // Физика и техника высоких давлений. – 2011. – Т. 21, №3. – С. 110–118. (ВАК України)
2. Любименко Е.Н., Гольцова М.В. Формирование градиентного Pd-H сплава и формоизменение палладиевой пластины при одностороннем насыщении водородом // Металлофизика и новейшие технологии. – 2011. – Т. 33. – № 6. – с. 819–829. (ВАК України)
3. Любименко Е.Н., Гольцова М.В. Закономерности формоизменения палладиевой пластины при ее одностороннем насыщении водородом // Вопросы атомной науки и техники (ВАНТ). – 2011. – № 4. – 2011. – С. 100–107 (ВАК України, Scopus)
4. Goltsova M.V., Lyubimenko E.N. Formation of gradient palladium-hydrogen alloy and the change in the form of a palladium plate during one-sided hydrogen saturation // The Physics of Metals and Metallography. – 2011. – Vol.112, No. 4. P. 371–380. (Scopus)
5. Гольцов В.А., Любименко Е.Н., Глухова Ж.Л. Установка, методика и результаты исследования водородоупругой деформации палладиевой пластины // Физ.-хим. механика матер. – 2009. – Т.45, № 5. – С. 55–60. (ВАК України, Scopus)
6. Гольцова М.В., Жиров Г.И. Индуцированные водородом обратимые и необратимые структурные изменения в приповерхностных слоях палладия и его сплавах с водородом // Металлофизика, новейшие технологии. – 2009. – Т. 31, № 2. – С. 135–145. (ВАК України, Scopus)
7. Глухова Ж.Л., Гольцов В.А., Щеголева Т.А., Любименко Е.Н. Водородные концентрационные напряжения: термодинамическое описание и математическое моделирование // Металлофизика, новейшие технол.–2009.–Т. 31, №3.– С. 333–342. (ВАК України, Scopus)
8. Гольцов В.А., Любименко Е.Н., Глухова Ж.Л. Установка, методика и результаты исследования водородоупругой деформации палладиевой пластины // Физ.-хим. механика матер. – 2009. – Т.45, № 5. – С. 55–60. (ВАК України)
9. Goltsov Victor A., Goltsova Lyudmila F. and Vasekin Vasily V. The hydrogen materials community: its history and current status in the World Hydrogen Movement // Intern. Journal of Nuclear Hydrogen Production and Applications. – 2008. – Vol. 1, No. 4. – P. 278–286.
10. Жиров Г.И., Гольцова М.В. Экспериментальное наблюдение солитоноподобного движущегося выпучивания на поверхности сплава палладий-водород // ФММ.–2007.–Т. 104, № 6.–С. 634–640. (Scopus)

8. ОЧІКУВАНЕ ВИКОРИСТАННЯ ОТРИМАНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ:

8.1. В навчальному процесі:

Отримані в роботі результати будуть використані при розробці і впровадженні нового розділу лекційного курсу по загальній фізиці у розділах “Основи фізики твердого тіла і фізика металів” і “Фізичні основи атомної, водневої і термоядерної енергетики з елементами світової екологічної проблеми (парниковий ефект та ін.)”.

У виконанні проекту візьмуть участь: два студенти і магістрант за фахом “фізичне матеріалознавство”; два аспіранти за фахом “фізика твердого тіла”.

8.2. Підготовка кадрів вищої кваліфікації:

У виконанні проекту приймуть участь: один докторант-здобувач за фахом “фізика металів”; один докторант за фахом “матеріалознавство і термічна обробка металів”. Виконавці проекту – здобувачі наукових ступенів будуть використовувати у дисертаційних роботах наукові результати, отримані в рамках їхньої роботи з проекту: докторант, к.т.н., доцент М.В.Гольцова – дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук; докторант-здобувач, к.ф.-м.н., доцент Ж.Л.Глухова – дисертація на здобуття наукового ступеня доктора фізико-математичних наук; аспірант (зараз асистент) Щеголева Т.О. – дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук.

8.3. Інформація про опублікування та розповсюдження результатів:

Будуть підготовлені наукові публікації: у вітчизняних виданнях (з переліку ВАК) – 12 наукових статей; у виданнях, що входять у наукометричні бази даних (Scopus та ін.), у наукових журналах з імпакт-фактором – 8 наукових статей; інші видання – 8 наукових статей (усього – 28 статей за 3 роки); при підготовці навчальних посібників – 2 посібника.

Виконавці проекту і, насамперед, здобувачі наукових ступенів візьмуть участь в українських і міжнародних конференціях із проблем матеріалознавства і по суміжним проблемам (більш 10 конференцій за 3 роки).

Встановлені закономірності та сформульовані регламенти (ноу-хау) з регенерації нержавіючої сталі і мембранних матеріалів шляхом їх своєчасної термомеханічної і/чи водневої обробки будуть передані зацікавленим підприємствам згідно відповідним договорам.

9. ЕТАПИ РОБОТИ:

Етап 1: з 01 січня 2013 р. по 31 грудня 2013 р.

Назва і зміст етапу. Експериментальне дослідження “in situ” на спеціальній воднево-вакуумній установці (ВВУ-4) екстремального впливу газоподібного водню (який проникає в метал з розвитком гідридного перетворення), що викликає необоротну макроскопічну трансформацію форми і будови паладієвої мембрани для одержання особливо чистого водню.

Очікувані результати. Буде експериментально встановлено закономірності необоротної макроскопічної формозміни і будови металевих виробів (паладієвої пластини), викликані екстремальним впливом газоподібного водню з розвитком гідридних перетворень при температурах від 100°C до $T_{\text{кр}} = 292^{\circ}\text{C}$ і тисках водню від 0,1 МПа до 2,3 МПа.

Звітна документація: відправлені до друку і надруковані 8 наукових статей (зі списку ВАК України – 4, Scopus – 2, інші – 2); захист магістерської роботи (магістрант Бондарчук В.В.); захист кандидатської дисертації (асистент Любименко О.М.); об'єкт права інтелектуальної власності – ноу-хау ДонНТУ на регламент попередження необоротного жолоблення паладієвих мембран при їхній експлуатації для одержання особливо чистого водню.

Етап 2: з 01 січня 2014 р. по 31 грудня 2014 р.

Назва і зміст етапу. Експериментальне дослідження мікро- і наноструктурних трансформацій паладію і його сплавів при їхньому насиченні воднем з розвитком гідридних перетворень і формуванням градієнтних сплавів метал-водень.

Очікувані результати. Буде експериментально встановлено закономірності зміни макровластивостей, мікро- і нанобудови мембранного матеріалу – паладію, індуковані екстремальним впливом газоподібного водню, формуванням при гідридних перетвореннях градієнтних структур α -PdH_n + β -PdH_{1-n} мікро- і наномасштабів.

Звітна документація: публікація 10 наукових статей (зі списку ВАК України – 4, Scopus – 3, інші – 3); захист докторської дисертації (докторант, доцент Гольцова М.В.); об'єкт права інтелектуальної власності – патент України на спосіб безаварійної експлуатації мембранних сплавів.

Етап 3: з 01 січня 2015 р. по 31 грудня 2015 р.

Назва і зміст. Проектування нової нестандартної електрохімічної водневої установки (ЕВУ-5); виготовлення ЕВУ-5 і відпрацювання методики експерименту; експериментальне дослідження “in situ” індукованої електрохімічним воднем оборотної і необоротної формозміни металевого виробу (пластини) з аустенітної сталі і сплавів паладію.

Очікувані результати. Вперше буде встановлено закономірності формозміни металеві пластина з аустенітної сталі і сплавів паладію при кімнатній температурі в результаті її однобічного електрохімічного насичення воднем при поступово зростаючій щільності струму; буде встановлено примежову щільність струму, при якій пластина переходить від оборотної формозміни до необоротної, екстремальної формозміни.

Звітна документація: науково-технічний звіт про результати роботи; публікація 10 наукових статей (зі списку ВАК України – 4, Scopus – 3, інші – 3); завершення експериментальної частини кандидатської дисертації (асистент Щеголева Т.О.); науково-технічний звіт «Регламент фізичних основ безпечної експлуатації нержавіючих сталей електрохімічних виробництв».

10. КІЛЬКІСТЬ ВИКОНАВЦІВ ПРОЕКТУ:

- доктор наук – 1; кандидати наук – 6; науковий співробітник без ступеня – 1;
- молоді вчені до 35 років – 2, з них аспірант – 1;
- магістрант – 1; студенти – 2.

Усього: 13.

11. НАЯВНІСТЬ МАТЕРІАЛЬНО-ТЕХНІЧНОЇ БАЗИ ДЛЯ ВИКОНАННЯ ПРОЕКТУ:

Науково-дослідна робота з проекту буде виконуватися на базі науково-навчального підрозділу Донецького національного технічного університету, а саме на базі Проблемної науково-дослідної лабораторії взаємодії водню з металами і водневих технологій (ПЛВМВТ) кафедри фізики.

Даний науково-навчальний підрозділ ДонНТУ було створено на державному рівні для рішення матеріалознавських і прогнозно-аналітичних проблем розвитку водневої енергетики і ряду водневонебезпечних сучасних виробництв, що вже згадувалися в проекті. В даний час ПЛВМВТ кафедри фізики має всі необхідні умови для продовження науково-дослідних робіт як у широкому масштабі, так і по конкретних проектах: площі науково-дослідних лабораторій – 350 м²; має стандартне і спеціалізоване наукове устаткування; підготовлені висококваліфіковані кадри, що захистили кандидатські дисертації саме по проблемі взаємодії водню з металами; систематично в колектив приходять випускники вузів як асистенти кафедри фізики й аспіранти.

Науково-дослідна робота з рішення мети і задач даного проекту буде виконуватися з використанням раніше створених спеціалізованих воднево-вакуумних установок (ВВУ-2, ВВУ-3 і ВВУ-4) і з застосуванням унікальних методик “in situ”, розроблених авторами проекту. Устано-

вка ВВУ-2 дозволяє вести безпосереднє спостереження в оптичний мікроскоп і здійснювати відеозапис змін полірованої поверхні металу у вакуумі, при водневих впливах (до 2,5 МПа) і при температурах від кімнатної до 650⁰С. Дослідження “in situ” оборотних і необоротних структурних змін поверхні металу супроводжується одночасним виміром електричного опору металу з кількісною оцінкою його насиченості воднем. Розроблена комп'ютерна методика обробки отриманих відеоданих з використанням спеціальної плати відеомонтажу Miro Video 10 Plus дозволяє переводити аналоговий сигнал у цифровий без утрати кадрів і переглядати відеозапис як безупинно, так і кадр за кадром з аналізом мікроструктурних подій з тимчасовою точністю, рівною 0,04 с.

Установка ВВУ-3 дозволяє проводити водневу обробку дрових металевих зразків великої довжини (до 150-200 мм) з одночасною фіксацією електричного опору зразка-свідка.

Установка ВВУ-4 дозволяє вести безпосереднє спостереження і здійснювати відеозапис формозміни металевої пластини при її однобічному насиченні воднем при температурах до 350⁰С і тисках водню до 2,3 МПа.

В установках ВВУ-2, ВВУ-3 і ВВУ-4 використовуються стандартні, сертифіковані, заводського виготовлення прилади і пристрої, що піддаються щорічній метрологічній перевірці, у тому числі: самописи КСП-4, манометри типу 05М1-160, універсальні вольтметри ВТ-21А, вакуумні пластинчато-роторні насоси НВМ1-2, іонізаційно-термопарні вакуумметри ВІТ-2П, джерела постійного струму Б5-44, металографічний мікроскоп МВТ-71У4.2. Для рішення задач проекту по вивченню “in situ” індукованої воднем формозміни металевого виробу (пластинки) автори проекту запланували виготовлення електрохімічної водневої установки ЕВУ-5. Установка ЕВУ-5 буде спроектована і виготовлена на тих же принципах і устаткуванні, що й установки ВВУ-2, ВВУ-3 і ВВУ-4. Далі буде відпрацьована методика прямого спостереження з відеозаписом формозміни металевого виробу під впливом електрохімічного водню, що дозволить вирішити відповідні задачі проекту експериментально надійними методами.

Нанодослідження вивчаємих металевих об'єктів буде здійснюватися за договором про співдружність на устаткуванні ДонНТУ, при участі фахівців та на устаткуванні ННЦ «ХФТІ»: Nano Indentor G-200, устаткування для виготовлення nanoшліфів (14-й клас) і т.д.

У цілому ПЛІВМВТ кафедри фізики ДонНТУ має все необхідне технічне забезпечення і кваліфіковані кадри для успішного рішення в термін усіх задач, запланованих до виконання в даному проекті.

Виконавці проекту мають повний доступ до Інтернету та світових інформаційних ресурсів. Інформацію про отримані результати роботи буде виставлено в Інтернеті на сайті ДонНТУ “Hydrogen community”.

ДонНТУ має технічну бібліотеку з більш ніж 1,5 млн. примірників науково-технічної літератури. Також працює електронна бібліотека. До списку передплачених електронних ресурсів входять: доступ до електронних наукових публікацій мережі "УРАН", доступ до ресурсів World eBook Library, передплата на російські електронні наукові журнали (eLIBRARY.RU). Доступ до повнотекстової бази російських дисертацій, авторизований доступ до ресурсу HINARY, реферативні Журнали ВІНІТІ, ЛІГА:ЗАКОН, Зодчий, ЛЕОНОРМ ІНФОРМ, MINING Annual Review, Журнал "Метал України", доступ до ресурсу Pro Quest Dissertations.

У вільному доступі знаходяться наступні ресурси: DOAJ – Директорія Відкритого Доступу – містить більш 4000 назв академічних реферованих наукових журналів, а також ресурси у вільному доступі з тематики ВНЗ (журнали, газети) (близько 130 найменувань).