

ЗАТВЕРДЖУЮ

Директор Фізико-механічного інституту
ім. Г.В. Карпенка НАН України



підпис

З.Т. Назарчук

М.П.

АНОТОВАНИЙ ЗВІТ

про виконану роботу у 2020 році в рамках реалізації проєкту
із виконання наукових досліджень і розробок

«Фізико-механічні макро, мікро та нано механізми взаємодії водню із низьколегованими сталями як фундаментальний чинник міцності та працездатності систем зберігання і транспортування водню»
(назва Проєкту)

Назва конкурсу: «Підтримка досліджень провідних та молодих учених»

Реєстраційний номер Проєкту: 2020.02/0049 (Дмитрах Ігор Миколайович)

Підстава для реалізації Проєкту з виконання наукових досліджень і розробок (реєстраційний номер та назва Проєкту) 2020.02/0049 «Фізико-механічні макро, мікро та нано механізми взаємодії водню із низьколегованими сталями як фундаментальний чинник міцності та працездатності систем зберігання і транспортування водню».

Рішення Наукової ради Національного фонду досліджень України щодо визначення переможця конкурсу «Підтримка досліджень провідних та молодих учених» протокол від «16–17» вересня 2020 року № 21.

1. ЗАГАЛЬНА ІНФОРМАЦІЯ ПРО ПРОЄКТ

Тривалість виконання Проєкту

Початок – 03 листопада 2020 року;

Закінчення – 15 грудня 2022 року.

Загальна вартість Проєкту, грн. 8 315 000 (вісім мільйонів триста п'ятнадцять тисяч) грн.

Вартість Проєкту по роках, грн.:

1-й рік 575 000 (п'ятсот сімдесят п'ять тисяч) грн.

2-й рік 4 950 000 (чотири мільйони дев'ятсот п'ятдесят тисяч) грн.

3-й рік 2 790 000 (два мільйони сімсот дев'яносто тисяч) грн.

2. ІНФОРМАЦІЯ ПРО ВИКОНАВЦІВ ПРОЄКТУ

до виконання Проєкту буде залучено 6 (шість) виконавців, з них:

доктори наук 3 (три);

кандидати наук – (немає);

інші працівники 3 (три).

3. ІНФОРМАЦІЯ ПРО ГРАНТООТРИМУВАЧА ТА ОРГАНІЗАЦІЮ(Ї) СУБВИКОНАВЦЯ(ІВ) ПРОЄКТУ

Грантоотримувач: *Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка НАН України.*

Організація субвиконавець: *немає.*

4. ОПИС ПРОЄКТУ

4.1. Мета Проєкту (до 200 знаків)

Встановлення особливостей механізмів взаємодії водню із дефектами, що наявні у деформованих низьколегованих сталях та розроблення нових підходів до оцінювання працездатності систем зберігання і транспортування водню.

4.2. Основні завдання Проєкту (до 400 знаків)

Експериментально встановити особливості фізико-механічних механізмів взаємодії водню з дефектами різного масштабу: скупчення дислокацій, нанопори, мікро та макро пори/тріщини.

Розробити математичні моделі прогнозування фізико-механічного стану в околі дефектів у деформованому матеріалі залежно концентрації водню.

Розробити критерії оцінювання працездатності низьколегованих сталей з урахуванням чинників їх мікроструктури і концентрації водню.

4.3. Детальний зміст Проєкту:

▪ Сучасний стан проблеми (до 400 знаків)

Процеси взаємодії водню з металевими конструкційними матеріалами досі не вивчені повністю. Стосовно низьколегованих сталей, то у літературі також існують суперечливі думки щодо основних механізмів дії на них водню та відсутні відповідні експериментальні докази, що підтверджують ці теорії. Тому подальші дослідження повинні спрямовуватися на більш глибоке розуміння впливу водню на механічні властивості макро, мікро та нано об'ємів матеріалів.

▪ Новизна Проєкту (до 400 знаків)

Новизна проєкту полягає у твердженні, що вплив водню на міцність і працездатність низьколегованих сталей реалізується через фізико-механічні макро, мікро та нано механізми взаємодії водню із дефектами різного масштабу, що наявні у деформованому матеріалі. При цьому об'ємна концентрація водню в металі, як і його локальна концентрація у зонах підвищеної механічної напруженості матеріалу є визначальними параметрами для реалізації того чи іншого механізму.

▪ Методологія дослідження (до 400 знаків)

Проєкт має мультидисциплінарну природу і ґрунтується на підходах механіки деформованого твердого тіла, механіки руйнування матеріалів, матеріалознавства, фізичної хімії, фізики твердого тіла, математичного моделювання та інженерної механіки цілісності конструкцій.

5. ОТРИМАНІ НАУКОВІ АБО НАУКОВО-ТЕХНІЧНІ РЕЗУЛЬТАТИ (до 2 сторінок) в поточному році/в рамках реалізації Проєкту, зокрема:

5.1. Опис наукових або науково-технічних результатів, отриманих в рамках виконання Проєкту (із зазначенням їх якісних та кількісних (технічних) характеристик)

Виходячи з твердження, що концентрація водню в металі є критичним параметром, який визначає фізико-механічну поведінку матеріалу, досліджено наступний принципово важливий випадок. Аналіз дефектів у структурі низьколегованих сталей було здійснено для характеристичного значення об'ємної концентрації дифузійно рухливого водню при якому змінюється механізм його впливу на матеріал, а саме: поблизу або нижче цього значення відбувається зниження межі текучості матеріалу і вище – межа пластичності зростає.

Вперше для цих умов встановлено вплив дифузійно рухливого водню на дефектність низьколегованих сталей і показано, що наводнювання – розводнювання сталі не проходить безслідно щодо їх мікроструктури. Навіть короткочасна присутність дифузійно рухливого водню низької концентрації в сталях призводить до незворотних змін у структурі матеріалу, а саме – відчутно збільшує його дефектність.

Одержані методами сканівної (SEM) та трансмісійної (TEM) електронної мікроскопії дані показали, що формування дефектності низьколегованих сталей на різних рівнях їх структури реалізується під впливом водню через наступні стадії:

- додаткова емісія дислокацій і збільшення їх густини в матеріалі;
- виникнення скупчень дислокацій у матеріалі, які є первинними джерелами його дефектності на нано рівні;
- утворення нанопор;

- злиття нанопор у мікропори;
- коалесценція мікропор;
- утворення дефектів тріщиноподібного типу.

Одержані кількісні дані про дефектність як для ненавантажених зразків, так і для зразків, що знаходились в умовах сумісної дії водню та статичного механічного навантаження. Встановлено, що для ненавантажених зразків під впливом дифузійно рухливого водню дефектність мікроструктури зростає і це зростання стає відчутнішим із зростанням від кількості циклів «наводнювання – розводнювання». Тут зростає як і густина дефектів (кількість дефектів на одиницю площі) типу нано та мікро пор, так і густина дислокацій. Прикладення механічного навантаження, по-перше, спричиняє додаткову їх емісію незалежно від того чи був присутній водень у матеріалі чи ні. По-друге, в процесі деформування і руйнування зразків відбувається коалесценція нано дефектів і утворення мікропор, середня площа яких складає $2...4 \text{ мкм}^2$ і залежить від кількості циклів «наводнювання – розводнювання».

У підсумку показано, що зростання дефектності низьколегованих сталей під впливом дифузійно рухливого водню полегшує їх деформуючу здатність і формально зменшує значення межі пластичності як макроскопічної характеристики матеріалу.

Здійснено класифікацію дефектів у низьколегованих сталях, спричинених дією дифузійно рухливого водню залежно від їх розмірів різних структурних рівнях матеріалу. Враховуючи складну конфігурацію дефектів, яка не піддається простому математичному опису, запропоновано їх модельне представлення яке базується на використанні площі дефекту як основного його розрахункового параметру і дефект довільної конфігурації замінюється рівновеликим за площею кругом. Наведені приклади реалізації такого підходу для одиничного дефекту та системи компланарних дефектів.

Одержані експериментальні дані про дефектність низьколегованих сталей під впливом водню, а також запропонований підхід до модельного представлення дефектів та відповідні аналітичні співвідношення складають підґрунтя для реалізації наступних етапів виконання проекту. За результатами виконання першого етапу (ЕВП №1) проекту підготовлено рукопис статті для подачі у міжнародний фаховий матеріалознавчий журнал віднесений до першого (Q1) або другого (Q2) кватилів.

5.2. За наявності науково-технічної продукції обґрунтування її переваг у порівнянні з існуючими аналогами

На даному етапі виконання проекту науково-технічна продукція відсутня.

5.3. Практична цінність отриманих результатів реалізації Проекту для економіки та суспільства (стосується проєктів, що передбачають проведення прикладних наукових досліджень і науково-технічних розробок)

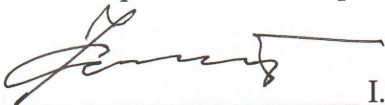
Не стосується даного проекту, оскільки предметом проекту є фундаментальні дослідження.

5.4. Опис шляхів та способів подальшого використання результатів виконання Проекту в суспільній практиці.

Результати виконання проекту у 2020 році (ЕВП № 1) мають безпосереднє використання при інтерпретації результатів технічної діагностики елементів конструкцій систем зберігання і транспортування водню, а також при оцінюванні ступеня деградації низьколегованих сталей під тривалою дією їх експлуатації у водневовмісних середовищах.

Примітка: Анотований звіт не містить відомостей, заборонених до відкритого опублікування.

Науковий керівник Проекту,
завідувач відділу міцності матеріалів
і конструкцій у водневовмісних середовищах
Фізико-механічного інституту
ім. Г.В. Карпенка НАН України



І.М. Дмитрах

підпис