

ВІДГУК

офіційного опонента к-та техн. наук **Т.В. Лоскутової**
на дисертаційну роботу **Григорія Борисовича Беляєва**
«Вплив домішок сірки на утворення тріщин у зварних з'єднаннях
жароміцних нікелевих сплавів»,
представлену на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук
за спеціальністю 05.02.01 – «Матеріалознавство»

Безпека атомних реакторів в першу чергу залежить від якості конструкційних матеріалів і коректності виконання технологічних операцій з монтажу та ремонту. Основним конструкційним матеріалом цієї області промисловості є сплави на нікелевій основі типу Inconel 690. Цей факт пояснюється їх високими жароміцними та механічними характеристиками. Технологія ремонту конструкцій зі сплавом Inconel 690 передбачає накладання багатопрохідних швів дротами FM52 або FM52 MSS. В процесі експлуатації було виявлено, що при виконанні ремонтного зварювання підвищується схильність до утворення гарячих тріщин на границях зерен у попередньому шві, який піддався повторному нагріванню.

У зв'язку з цим, метою даної дисертаційної роботи було дослідження механізму утворення тріщин провалу пластичності у сплавах на нікелевій основі системи легування Ni – Cr – Fe типу Inconel. Наукова робота ґрунтувалась на фундаментальних теоріях структурних дефектів металів, методиках кількісної оцінки їх енергій як критерію утворення тріщин провалу пластичності.

Актуальним у даній роботі є те, що за основний критерій оцінки механізму утворення тріщин провалу пластичності обрано енергію когезії границь зерен та запропоновано модель, яка встановлює зв'язок між критичними значеннями енергії когезії, рівнем сегрегації атомів сірки на границях зерен та термодформаційними умовами зварювання. Детальне вивчення фізичних процесів, які відбуваються у межах декількох зерен сплаву

сплавів, є шляхом до одержання надійних конструкцій з підвищеною продуктивністю.

Наукова новизна дисертаційної роботи полягає у отриманні нових експериментальні та розрахункових енергетичних параметрів границі зерна з точки зору вірогідності виникнення тріщин провалу пластичності в багатопрохідних швах нікелевих сплавів типу Inconel внаслідок сегрегації атомів сірки. Вперше були співставлені температурні інтервали критичної швидкості руху $V_{кр}$ одиничної дислокації, при якому можливе аномально швидке транспортування атомів сірки з температурним інтервалом падіння (провалу) пластичності, що є причиною виникнення тріщин провалу пластичності в зварних з'єднаннях, що досліджувались.

Дисертація та автореферат містять усі необхідні структурні розділи, написані українською мовою й оформлені відповідно до вимог ДАК України.

Дисертаційну роботу виконано в Інституті електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України. Робота складається з реферату, змісту, вступу, чотирьох розділів, висновку та списку використаних джерел.

У **вступі** охарактеризовано стан наукової проблематики, обґрунтовано актуальність теми дисертації, сформульовано мету та задачі дослідження, показано наукову новизну та практичне значення отриманих результатів, відображено особистий внесок автора, наведено відомості про апробацію роботи.

У **першому розділі** наведено огляд літературних джерел щодо механізмів утворення гарячих тріщин, критерії оцінки тріщиностійкості та методи випробувань матеріалів. Розглянуто фактори та параметри, які впливають на сегрегацію атомів сірки на границях зерен сплавів та їх дифузію з тіла зерна на його границю. Зроблено висновок, що вплив окремих факторів на деградацію структури та руйнування нікелевих жароміцних сплавів залишається дискусійним. На базі літературного огляду сучасного стану дослідження нікелевих жароміцних сплавів обґрунтована необхідність та доцільність

вивчення енергетичних та структурних особливостей формування границь зерен з високим значенням енергії когезії при зварюванні нікелевих жароміцних сплавів.

У другому розділі обґрунтовано вибір матеріалів, наведена характеристика умов отримання зварних з'єднань та модельних зразків, описані методики дослідження та моделі розрахунків енергетичних параметрів умов виникнення тріщин провалу пластичності.

Для пояснення процесу аномально швидкого транспортування атомів сірки з тіла зерна на його границю в наплавці, яка піддається повторному нагріванню при накладанні багатопрохідних швів, обрано дислокаційний механізм дифузії. Дослідження енергії когезії границь зерен сплаву системи легування Ni – Cr – Fe проводилося за методикою теплового травлення. Розрахунки виконувалися за моделлю Гріффітса, яка описує процес крихкого руйнування пластичних тіл на основі розрахунку енергетичних параметрів границі зерна.

У третьому розділі наведені експериментальні та розрахункові дані впливу температури і пластичної деформації на процес утворення тріщин провалу пластичності в чистому нікелі та багатопрохідних швах системи легування Ni – Cr – Fe. Представлені розрахункові дані взаємодії дислокацій з атомом сірки, критичної швидкості їх руху, концентрації насичення дислокаційних сегментів сіркою та ін.

У четвертому розділі наведені результати досліджень енергії когезії границь зерен зварних з'єднань, що отримані багатопрохідним наплавленням з використанням дротів різних систем легування FM52, FM52 MSS на сплаві Inconel 690 з урахуванням сегрегації атомів сірки на границях зерен. За результатами проведених досліджень визначено, що процес утворення тріщин провалу пластичності в указаних багатопрохідних зварних швах, контролюється дефектами кристалічної ґратки та сегрегацією атомів сірки на висококутових границях зерен.

Висновки дисертації повністю відображають найважливіші наукові та практичні результати дисертації. Вони сформульовані конкретно та логічно, відповідно до змісту дисертації.

Зміст дисертації та автореферату ідентичний. Автореферат дисертації достатньо повно висвітлює результати, наведені в самій дисертації.

Зауваження по дисертаційній роботі

1. В літературному огляді доволі стисло описано існуючі моделі дифузії та будови границі зерна, а також не наведено основні переваги, вибраних моделей для розрахунку, та їх недоліки.

2. При розрахунку енергії взаємодії атомів сірки з дислокацією нечітко роз'яснено з якого саме об'єму зерна (центр, приграничні ділянки) виконується транспортування атомів.

3. Було б доцільним для оцінки швидкості руху одиничних дислокацій та їх сукупностей визначити рівень пластичної деформації, яка виникає у межах декількох зерен при виконанні багатопрохідної наплавки та, як результат, повторного нагрівання попереднього шва.

4. Відсутність в роботі чітких прикладів режимів зварювання плавленням з іншими термодформаційними умовами та їх порівняльна оцінка з позиції утворення тріщин провалу пластичності.

5. В тексті автореферату та дисертаційної роботи наявні граматичні помилки та русизми.

Загальний висновок

Зроблені зауваження становлять в основному пропозиції для подальших досліджень і не знижують високу оцінку наукових результатів. Отримані дані покладені в основу оптимізації існуючих технологій зварювання шляхом контролювання їх термодформаційних умов та мікроструктури сплавів з метою отримання бездефектних зварних швів.

В цілому дисертаційна робота Беляєва Григорія Борисовича «Вплив домішок сірки на утворення тріщин у зварних з'єднаннях жароміцних нікелевих сплавів» є завершеним науковим дослідженням, яке за обсягом виконаних досліджень, їх новизною та практичною значимістю одержаних результатів відповідає вимогам до робіт на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук, зокрема пунктам 9, 11 та 12 «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 року № 567.

Все вищесказане дає підстави вважати, що дисертаційну роботу виконано на високому науковому рівні, а її автор Беляєв Григорій Борисович заслуговує на присудження йому наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.02.01 – Матеріалознавство.

Офіційний опонент,

Доцент кафедри металознавства та

термічної обробки інституту матеріалознавства

та зварювання ім. Є.О. Патона НТУУ

«КПІ ім. Ігоря Сікорського»,

кандидат технічних наук

Т.В. Лоскутова

Підпис

Лоскутової Т.В. засвідчую:

Вчений секретар

КПІ ім. Ігоря Сікорського,

кандидат технічних наук, доцент



В.В. Холявко