

ВІДГУК

офіційного опонента **Бабаченка Олександра Івановича**

на дисертаційну роботу

Слупської Юлії Сергіївни

на тему: **«Особливості моделювання процесів формування структури в зварних з'єднаннях низьковуглецевих низьколегованих сталей»**,

представлену на здобуття наукового ступеня

доктора філософії з галузі знань 13 «Механічна інженерія»

за спеціальністю 132 «Матеріалознавство»

Актуальність теми дисертаційної роботи.

Необхідність отримання конкурентоздатних зварних будівельних конструкцій пов'язана з підвищенням службових властивостей і експлуатаційних характеристик як металопродукату, який застосовується при виробництві даного типу конструкцій, так і з якістю та надійністю безпосередньо зварних з'єднань. Саме тому, вимоги до зварювальних процесів набувають особливого значення. З іншого боку, вирішення складних задач проектування багатопверхових споруд та споруд, відповідного призначення потребує визначення властивостей зварного з'єднання вже на стадії розробки проектних документів.

Таким чином, вибір способу зварювання з метою підвищення якості та довговічності зварних швів будівельних металевих конструкцій є актуальним завданням сучасного матеріалознавства. Для вирішення цього завдання в роботі запропоновано імітаційне фізико-математичне моделювання процесів зварювання з урахуванням матеріалів, які для цього використовуються.

Дисертаційна робота виконувалась на кафедрі матеріалознавства і обробки матеріалів ДВНЗ ПДАБА за планами науково-дослідних робіт у рамках тем: «Дослідження взаємозв'язку між механізмами формування структури та комплексом властивостей будівельних матеріалів» (№0116U004538, 2016 – 2020 рр.; керівник д.т.н., проф. Большаков В.І.); «Матеріалознавчі основи підвищення експлуатаційних властивостей конструкційних матеріалів» (№0121U109926, 2021 – 2023 рр.; керівник д.т.н., проф. Большаков В.І.).

Ступінь обґрунтованості наукових положень. Наукові положення роботи базуються на використанні фундаментальних основ матеріалознавства; праць визнаних учених і фахівців у галузі металознавства та матеріалознавства; застосуванню сучасних добре апробованих методів і методик дослідження. Достовірність наукових положень підтверджується збіжністю результатів аналітичних і експериментальних досліджень, чітким трактуванням одержаних результатів, які не суперечать загальноприйнятим науковим положенням

Отже, наукові положення, висновки і результати, сформульовані в дисертаційній роботі, є обґрунтованим та достовірними.

Наукова новизна отриманих результатів полягає в наступному:

1. *Вперше* з застосуванням математичного апарату підтверджуючого факторного аналізу виявлено та проаналізовано залежність між технологічними параметрами зварювання та структурним станом низьковуглецевих низьколегованих сталей.
2. *Вперше* шляхом використання математичного апарату імітаційного моделювання отримано та проаналізовано математичні моделі взаємозв'язку між технологічними параметрами зварювання та критеріями оцінки структурного стану низьковуглецевих низьколегованих сталей.
3. *Набула подальшого розвитку* концепція кількісного аналізу параметрів структурного стану в окремих зонах та на границях між зонами зварного з'єднання низьковуглецевих низьколегованих сталей.
4. *Отримала подальший розвиток* методика встановлення кількісного взаємозв'язку між критеріями оцінки структурного стану низьковуглецевих низьколегованих сталей та технологічними параметрами режимів зварювання шляхом використання математичного апарату коваріаційного, кореляційного, регресійного та факторного аналізів.

Практична цінність дисертаційної роботи.

1. Запропоновано алгоритм використання математичного апарату імітаційного моделювання для вирішення прикладних задач матеріалознавства, а саме: аналізу впливу технологічних параметрів зварювання на структурний стан зварного з'єднання.

2. Результати роботи використано при розробці конструктивних схем для споруд металургійного комплексу (підтверджено актом впровадження ТОВ МЕТІНВЕСТ ІНЖИНІРИНГ).

3. Результати роботи впроваджено в навчальний процес кафедри Матеріалознавства та обробки матеріалів та кафедри Фундаментальних і природничих дисциплін ДВНЗ ПДАБА.

Повнота викладення здобувачем основних результатів дисертаційної роботи. Основні результати дисертаційної роботи опубліковано в 9 наукових працях, з яких: 2 статі у виданнях, що індексуються в міжнародних наукометричних базах даних; 5 статей у фахових виданнях; 2 – в матеріалах міжнародних наукових конференцій.

Опубліковані праці за темою дисертації містять результати особистої роботи автора на окремих етапах дослідження і відображають основні положення і висновки дисертаційної роботи.

Аналіз змісту дисертації. Дисертаційна робота складається із вступу, 5 розділів, висновків, списку використаних літературних джерел з 169 найменувань, 8 додатків. Дисертація викладена на 263 сторінках машинописного тексту, обсяг основного тексту дисертації складає 132 сторінки та містить 56 рисунків, 45 таблиць.

У **вступі** до дисертації обґрунтовано актуальність теми дослідження, сформульовано мету та основні задачі роботи, відображено наукову новизну та практичне значення отриманих результатів, визначено особистий внесок здобувача, наведено дані про структуру дисертації, вказано відомості про публікації та апробацію результатів дисертаційних досліджень.

У першому розділі виконано розгорнутий аналіз методів, які використовуються при моделюванні процесів зварювання, проаналізовано технологічні схеми виробництва та з'єднання будівельних металоконструкцій, більш детально розглянемо деякі типи зварювання, а саме: лазерне зварювання, електронно-променево зварювання та автоматичного зварювання під шаром флюсу. Відображено сутність кожного із розглянутих процесів зварювання.

У другому розділі наведено матеріал та методику дослідження структурного стану низьковуглецевих низьколегованих сталей; представлено механічні властивості та хімічний склад досліджуваних марок сталей; приведена методика отримання зварних з'єднань; проаналізовано методику побудови математичних моделей.

У третьому розділі наведено загальні принципи металографічного аналізу зон зварного з'єднання, досліджено структурний стан зварного з'єднання низьковуглецевих низьколегованих сталей 09Г2С, 10ХСНД, 10Г2ФБ після різних режимів зварювання, приведено результати кількісного аналізу відповідного структурного стану.

У четвертому розділі наведено результати кореляційного аналізу впливу величини вкладу енергії при зварюванні на формування структурного стану матеріалу в зоні зварного з'єднання. Виконаний комплекс досліджень показав прямий тісний зв'язок між відсотковим вмістом феритної та перлітної складової по зонам зварного з'єднання та енерговкладом. За допомогою математичного апарату факторного аналізу (використано програму STATSOFT STATISTICA 10.0) отримано математичні залежності, які описують взаємозв'язок між структурним станом низьковуглецевих низьколегованих сталей (після різних режимів зварювання) та технологічними характеристиками процесу зварювання. З метою оцінки отриманих факторних залежностей проведено регресійний аналіз та виконано перевірку адекватності отриманих результатів.

У п'ятому розділі представлено результати використання методів імітаційного моделювання для отримання фізико-математичних моделей впливу технологічних параметрів зварювання, зокрема вкладу енергії на

критерії оцінки структурного стану. Даний комплекс досліджень проводився з використанням математичного апарату підтверджуючого факторного аналізу, імітаційного моделювання методом структурних рівнянь (побудова діаграми шляхів) та статистичного моделювання методом Монте-Карло. Отримані моделі проаналізовано шляхом застосування коваріаційного та кореляційного аналізів, адекватність та оцінки моделей проаналізовано за квазіньютонівським методом залишків.

Зауважень до якості тексту дисертації немає. Застосована в роботі термінологія є загальнопринятною, стиль викладення результатів теоретичних та практичних досліджень, наукових положень, висновків та рекомендацій забезпечує доступність їх сприйняття та використання.

По результатам проведених досліджень теоретичного і експериментального спрямування, незважаючи на загальну позитивну оцінку дисертаційної роботи, можна зробити деякі **зауваження**:

1. Автором не достатньо обґрунтовано вибір методів математичного моделювання, які застосовували для встановлення взаємозв'язку між технологічними параметрами зварювання та критеріями структурного стану, а саме, не зрозуміло чому використовувалися такі методи як: підтверджуючий факторний аналіз, моделювання структурними рівняннями, та метод Монте-Карло.
2. При аналізі результатів проведених досліджень автор обмежується висловами: «збільшується», «зменшується», «покращується», а не вказує конкретне значення досліджуваних показників.
3. Доцільно було б привести результати механічних випробувань досліджуваних сталей після зварювання за режимами, які досліджуються в роботі.
4. У розділі 4 (пункту 4.5) дисертаційної роботи доцільно було б розшифрувати умовні позначення в рівняннях регресії, а саме, вказати і проаналізувати вплив кожного коефіцієнта і кожної змінної на функцію відгуку.

