

## ВІДГУК

### офіційного опонента

на дисертаційну роботу Гезенцвея Юхима Ісааковича на тему: «Технологічність застосування дрібнозернистих термозміцнених сталей в конструкціях кожухів доменних печей», представлену на здобуття наукового ступеня доктор філософії за спеціальністю 132 – матеріалознавство

#### **Актуальність обраної теми.**

Актуальність дисертаційної роботи Гезенцвея Ю. І. обумовлена аналізом доцільності застосування сталей високої міцності в конструктивних елементах кожуха доменної печі.

У загальній вартості виготовленої та змонтованої будівельної сталевий конструкції вартість металопрокату становить 60...70%, тому застосування технологічних і високоміцних видів прокату та марок сталей зумовлює зниження собівартості конструкцій. Розширення діапазону сталей, що дозволяють підвищувати технологічність сталевих конструкцій стосовно не лише мінімізації ваги, а й оптимізації критеріїв корозійної стійкості та вогнестійкості з ефективним використанням їх у несучих металевих конструкціях різних будівель та споруд є одним із пріоритетних завдань матеріалознавства.

Необхідно відмітити, що сталі, які використовуються в якості матеріалів для конструкцій комплексів доменних печей, не повною мірою відповідають вимогам, що пред'являються до споруд такого призначення. Товстолистовий металопрокат, який виготовляється вітчизняними металургійними комбінатами, має велику розбіжність міцностних і пластичних властивостей упродовж, уперек і по товщині листа. Значення міцностних характеристик уздовж напрямку прокатки в порівнянні з Z – напрямком можуть відрізнятись в 1,5...2 рази. Анізотропія міцностних і пластичних характеристик є наслідком наявності в структурі металопрокату ферито-перлітної смугастості. Зазначена структурна неоднорідність, в комплексі з формуванням зони осьової ліквіації, підвищує загрозу руйнування конструкції, яка працює під значним температурним впливом, що відбуваються в кожухах доменних печей.

Саме тому, дослідження, спрямовані на удосконалення структурного стану високоміцних мікролегованих сталей шляхом створення температурно-деформаційних режимів прокатки товстого листа для подальшої експлуатації при локальному впливі підвищених є актуальною задачею як з науковою так і з економічної точок зору.

**Ступінь обґрунтованості та достовірності наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації.**

Обґрунтованість наукових положень, висновків і результатів забезпечено завдяки використанню праць визнаних учених і фахівців у галузі прикладного матеріалознавства; застосуванню добре апробованих методів дослідження, зокрема світлової та растрової електронної мікроскопії, дифракційої електронної мікроскопії, загальних методів кількісного та напівкількісного металографічного аналізу. Для визначення комплексу механічних властивостей застосовувались традиційні методи статичних та динамічних випробувань та методи випробувань механічних характеристик при підвищених температурах.

Достовірність наукових положень, висновків і результатів доведено збіжністю результатів аналітичних і експериментальних досліджень, використанням в експериментальних дослідженнях сучасних методів і методик, апаратури, обладнання, лабораторного устаткування, сучасної обчислювальної техніки та програмного забезпечення, чітким трактуванням одержаних результатів, які не суперечать загальноприйнятим науковим положенням, а також досвідом практичного використання одержаних результатів та їх апробацією на наукових міжнародних науково-практичних конференціях.

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

#### **Наукова новизна одержаних результатів.**

Наукова новизна одержаних результатів полягає в наступному:

1. Встановлено основні закономірності впливу температури експлуатації на комплекс властивостей листового прокату товщиною 40...50 мм з низьковуглецевої низьколегованої сталі 10Г2ФБЮ, виробленого за технологічною схемою полігонізаційної контрольованої прокатки – *зроблено вперше*. Дана концепція відрізняється сумісним аналізом морфологічної будови структурного стану та відповідним комплексом механічних властивостей.
2. Теоретично обґрунтовано та експериментально підтверджено доцільність використання низьковуглецевої високоміцної сталі 10Г2ФБЮ як матеріалу для конструкцій кожухів доменних печей – *зроблено вперше*. Розроблена концепція відрізняється урахуванням змін морфології структурного стану при експлуатації конструкцій за температур +600...800°C.

3. Експериментально обґрунтовані процеси формування структурного стану в металопрокаті товщиною 40...50мм з низьковуглецевої низьколегованої сталі 10Г2ФБЮ – *набуло подальшого розвитку*. Мікроструктура металопрокату товстого листа відрізняється відсутністю перлітної смугастості та більш рівномірним розподілом легуючих елементів по перетину товстого листа. Це дозволило ефективно застосувати даний металопрокат у якості матеріалу для кожухів доменних печей та збільшити цикл їхньої безаварійної експлуатації у 3 рази.

#### **Повнота викладу результатів в опублікованих працях. Апробація результатів дисертації.**

За результатами виконаних досліджень опубліковано у 20 наукових працях, з яких: одна стаття у виданнях, що індексуються в міжнародних наукометричних базах даних; 2 монографії; 11 статей у фахових виданнях України, 4 роботи апробаційного характеру.

Основний зміст дисертації є достатньо висвітленим та апробований на 6 науково-практичних конференціях.

Основні наукові положення та результати дослідження доповідались та були схвалені на численних конференціях, а саме: міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту» (Дніпро, Україна, 2020); міжрегіональному науково-практичному семінарі «Проблеми сучасного матеріалознавства» (Дніпро, Україна, 2016, 2018, 2021).

Опубліковані праці вичерпно відображають основні положення, результати, висновки та рекомендації, сформульовані в дисертації.

Вище зазначене дозволяє стверджувати про достатнє оприлюднення результатів роботи.

#### **Практична цінність дисертаційної роботи.**

Практична цінність полягає в:

1. Здійснено експериментальні випробування масових марок сталей на вогнестійкість конструкцій металургійного устаткування при великих температурних навантаженнях.
2. Вперше в Україні рекомендовано і застосовано при проектуванні, виготовленні і монтажі металоконструкцій кожуха доменної печі № 3 на меткомбінаті «Запоріжсталь» низьковуглецеву низьколеговану сталь 10Г2ФБЮ, яку вироблено за технологічною схемою полігонізаційної контрольованої прокатки. Дана марка сталі раніше ніколи не застосовувалася в цивільному і промисловому будівництві

- (застосовувалася тільки в трубах великого діаметру при будівництві нафто-газопроводів).
3. Доведено економічну доцільність застосування сталей підвищеної вогнестійкості в якості матеріалу для конструкцій сталевих бункерів металургійної промисловості в умовах дії високих технологічних навантажень та низьких температур. Показано, що застосування сталі 10Г2ФБЮ (технологія виробництва – полігонізаційна контрольована прокатка) призведе до економії у вазі матеріалу конструкції становила: обшивка – 38,9 %; ребра жорсткості – 36 %; бункерні балки – 37,8 %.
  4. Високоміцні низьковуглецеві низьколеговані марки сталей закладені в проект реконструкції об'єктів доменних печей і застосовані в конструкціях з підвищеними вимогами до їх вогнестійкості.
  5. Результати, отримані в роботі було впроваджено в навчальний процес кафедри матеріалознавства та обробки матеріалів Державного вищого навчального закладу «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури».

#### **Оцінка змісту і структури дисертації.**

Стиль та мова викладення наукових положень, результатів і висновків дисертації послідовні, логічні, а структура роботи відповідає сформульованій меті та визначеним завданням дослідження.

Дисертацію викладено з необхідною повнотою та доказовою базою, при цьому досить лаконічно.

Здобувач дотримується вимог академічної доброчесності, дисертація не містить елементів плагіату та запозичень, має посилання на відповідні джерела інформації у випадку використання ідей, результатів та текстів інших авторів. Автор дотримується норм законодавства про авторське право, надає повну та достовірну інформацію про результати наукової діяльності, а також використання методики досліджень.

Дисертація складається з вступу, 5 розділів, загальних висновків, списку використаних джерел з 138 найменувань, 2 додатків. Дисертація містить 35 рисунків, 23 таблиці. Загальний обсяг дисертації – 157 сторінок.

У **вступі** обґрунтовано вибір і актуальність теми дисертаційної роботи. Сформульовано мету, завдання і методи дослідження, окреслено наукову новизну і практичну цінність отриманих результатів; показано особистий внесок здобувача та наведено відомості про апробацію дисертаційної роботи.

У **першому розділі** представлено результати аналізу умов експлуатації матеріалів для конструкцій кожуха доменної печі, показано доцільність застосування сталей високої міцності, проведено аналіз причин утворення

дефектів у конструктивних елементах кожуха доменної печі та на підставі цього сформульовано вимоги, що висуваються до марок сталей які можуть застосовуватися для реконструкції кожуха доменної печі. У розділі також проаналізовані технології виробництва товстолистого прокату за різноманітними технологічними схемам. У розділі наведена морфологія структурного стану та проаналізовані існуючі механізми керування структурним станом для підвищення комплексу властивостей низьковуглецевих низьколегованих сталей.

**Другий розділ** присвячено обґрунтуванню вибору матеріалу і використаних методів, методик та устаткування для проведення досліджень.

У **третьому розділі** представлено результати досліджень структурного стану сталей, які найчастіше використовуються в якості матеріалу для конструктивних елементів кожухів доменних печей. Аналіз тонкої структури сталей після гарячої прокатки дозволив встановити, що для Ст3 основними структурними складовими є поліедричний ферит і перліт. Спостерігаються феритні зерна з помірною щільністю дислокацій. Перлітні області складаються з декількох колоній (розміром 3 – 10 мкм) з різною орієнтацією цементитних пластин. Для сталі 09Г2С зерна фериту мають правильну поліедричну форму. Перліт дисперсний ( $S_0=0,2$  мкм) завтовшки до 0,02 мкм; цементит має форму тонких пластин, крупні перлітні колонії разорієнтовані одна відносно іншої.

1. Порівняльний аналіз структурного стану та властивостей сталі 10Г2ФБ після контрольованої прокатки та сталі 10Г2ФБЮ після полігонізованої контрольованої прокатки показав, що для обох режимів прокатки характерна ферито-перлітна структура досліджуваних сталей. Проте в сталі 10Г2ФБЮ після полігонізаційної контрольованої прокатки відсутня перлітна смугастість, характерна для традиційної структури сталі після КП. Феритна складова містить зерна поліедричного фериту, внутрішні об'єми також розбиті малокутовими границями на окремі субзерна не тільки в приповерхневих шарах а й в центральній частині листа. При цьому, розміри перлітних колоній збільшуються від поверхні зразка до його центру. Необхідно зауважити, що проміжок між роздробленими перлітними колоніями заповнюється більш м'якою фазою – феритом. Подрібнення перлітної смугасті відбувається шляхом збільшення кількості місць зародження феритної складової на стадії деформації аустеніту.

Аналіз результатів дослідження мікротвердості структурних складових по перетину листа після традиційної та полігонізаційної контрольованих прокаток показав, що значення мікротвердості перліту підвищуються

приблизно на 50-80 одиниць по всьому перетину листа після полігонізаційної прокатки. Мікротвердість перліту в обох випадках знижується від поверхні до чверті та дуже повільно підвищується до центру, криві йдуть майже паралельно. Мікротвердість фериту після традиційної прокатки плавно підвищується від поверхні к центру. Після полігонізаційної прокатки мікротвердість фериту на поверхні і в центрі листа складає  $206 \text{ МН/м}^2$ , а чверть –  $226 \text{ МН/м}^2$ .

У четвертому розділі показано дослідження впливу температури на структурний стан та комплекс властивостей низьковуглецевих низьколегованих сталей.

Результати проведених експериментальних досліджень показують, що механічні характеристики розглянутих марок сталей при підвищенні температури до  $+800^\circ\text{C}$  різко знижуються. Наприклад, границя плинності для сталі марки 10Г2ФБЮ знизилася в 6,3 раз, а тимчасовий опір розриву – в сім разів. При цьому більш високе значення границі плинності було зафіксовано у сталі марки 10Г2ФБЮ (73 МПа); менше ніж це значення в 1,6 разу було у сталі марки 09Г2С (63 МПа). Мінімальна границя плинності була зафіксована у сталі марки Ст3сп (37 МПа). Таким чином, випробування зразків із низьковуглецевої високоміцної сталі 10Г2ФБЮ за температури  $+800^\circ\text{C}$  підтвердили, що матеріал кожуха доменної печі, виготовлений із зазначеної марки сталі, буде більш вогнестійкий, аніж у разі його виготовлення з інших марок сталей (Ст3сп та 09Г2С).

Аналіз впливу температури на тонку структуру низьковуглецевих низьколегованих сталей показав, що при підвищенні температури в структурі сталей Ст3сп, 09Г2С та 10Г2ФБЮ можна виокремити наступні процеси:

- зниження ступеня внутрішніх мікронапружень;
- рекристалізація феритної складової;
- розпад перлітної складової;
- коагуляція карбо-нітридної фази.

Таким чином, температури за яких можуть експлуатуватися низьковуглецеві низьколеговані сталі розподіляються на два рівня: температура, нижче якої не спостерігаються значні зміни у структурному стані; температура, за якої в структурному стані відбуваються значні зміни, які призводять до зниження несучої здатності конструкцій.

Структурна стійкість сталі 10Г2ФБЮ при підвищенні температури обумовлена швидкістю протікання дифузійних процесів та процесами коагуляції карбо-нітридної фази.

У п'ятому розділі показано доцільність використання низьковуглецевої низьколегованої сталі 10Г2ФБЮ, виробленою за

технологічною схемою полігонізаційної контрольованої прокатки при реконструкції кожуха доменної печі та аспіраційної устатковини ливарного двору.

Дисертантом було проведено імітаційне моделювання температурного впливу, який показав, що полігонізаційна контрольована прокатка сталі 10Г2ФБЮ призвела до формування структурного стану, який характеризується появою окремих дисперсних колоній перліту. Феритна фаза як в приповерхневих шарах так і всередині поперечного перерізу характеризується певною різнозерністістю, яка є наслідком процесів рекристалізації. Окрім фериту та перліту в структурі металопродукату після імітаційної термічної обробки з'являються окремі області з бейнітною структурою. Актами провадження, що містяться в Додатку А підтверджено використання зазначеної сталі під час реконструкції кожуха доменної печі № 3 на комбінаті «Запоріжсталь».

Аналіз можливості використання високоміцних сталей типу 10Г2ФБЮ в конструкціях сталевих бункерів для металургійної промисловості в умовах дії високих технологічних навантажень та низьких температур показали, що при порівнянні варіанта бункера зі сталі класу С255 і сталі 10Г2ФБЮ економія у вазі матеріалу конструкції становила: обшивка – 38,9 %; ребра жорсткості – 36 %; бункерні балки – 37,8 %. Загальна економія металопродукату на одній бункерній ємності становила понад 4 т. Для бункерного відділення сумарна теоретична економія металопродукату перевищує 16 т, що в цінах 2019 р. становить близько 0,5 млн грн.

#### **Відповідність дисертації встановленим вимогам.**

Дисертація та анотація *Гезенцевя Юхима Ісааковича* викладені на достатньому науково-технічному рівні та оформлені відповідно до вимог «Тимчасового порядку присудження ступеня доктора філософії», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 09.06.2021 року № 608.

#### **Зауваження щодо змісту дисертації:**

1. Пункт 3 наукової новизни не розкриває повноту зроблених досліджень, а саме в формулюванні відсутня інформація, що після імітаційної контрольованої прокатки в структурі сталі 10Г2ФБЮ з'являються окремі області з бейнітною структурою.

2. У 2 практичного значення отриманих результатів зазначено, що «Вперше в Україні рекомендовано і застосовано при проєктуванні, виготовленні і монтажі металоконструкцій кожуха доменної печі № 3 на меткомбінаті «Запоріжсталь» низьковуглецеву низьколеговану сталь

10Г2ФБЮ, яку вироблено за технологічною схемою полігонізаційної контрольованої прокатки...». Як відомо, монтаж кожуха доменної печі здійснюється методом зварювання металевих елементів конструкції. Проте у дисертаційній роботі не наведено результатів дослідження структурного стану сталі 10Г2ФБЮ після полігонізаційної контрольованої прокатки у зоні термічного впливу. Також незрозумілими залишаються показники міцності в зоні термічного впливу зазначеної сталі при роботі в умовах підвищеної температури.

3. У п.5 практичного значення дисертаційної роботи говориться про впровадження результатів дисертаційної роботи в начальний процес, проте у додатках не наведено зазначений Акт впровадження.

4. У розділі 2 було б доцільно навести схеми виготовлення товстолистого прокату, а не тільки опис процесу прокатки на металургійних комбінатах України.

5. У 4 розділі дисертаційної роботи наведено, що «... при підвищенні температури в структурі досліджуваних сталей можна виокремити наступні процеси: зниження ступеня внутрішніх мікронапружень;...» Для підтвердження зазначеного доцільно було б провести рентгеноструктурний аналіз.

Проте наявність наведених зауважень не впливає на загальну позитивну оцінку виконаної роботи.

Мається можливість подальшого розвитку наукових досліджень в обраному автором напрямку та їх широкого застосування на практиці.

**Загальний висновок щодо відповідності дисертації встановленим вимогам.**

Дисертаційна робота Гезенцевя Юхима Ісааковича на тему: «Технологічність застосування дрібнозернистих термозміцнених сталей в конструкціях кожухів доменних печей», є завершеною кваліфікаційною науковою працею, в якій отримані нові науково обґрунтовані результати, що в сукупності вирішують актуальну науково-прикладну проблему застосування сталей високої міцності в конструктивних елементах кожуха доменної печі.

Дисертаційна робота за актуальністю, змістом, науковою новизною, практичним значенням, достовірністю та обґрунтованістю одержаних результатів, повнотою опублікування результатів у наукових фахових виданнях, обсягом і оформленням відповідає вимогам галузі знань 13 – Механічна інженерія та спеціальності 132 – Матеріалознавство, та всім



вимогам п.п. 9-12 «Тимчасового порядку присудження ступеня доктора філософії», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 6 березня 2019 р. №167, Наказу Міністерства освіти та науки України №40 від 12 січня 2017 року «Про затвердження вимог до оформлення дисертації», а її автор – **Гезенцвей Юхим Ісаакович**, заслуговує на присудження наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 132 – Матеріалознавство.

**Офіційний опонент:**

Доцент кафедри конструювання,  
технічної естетики і дизайну  
НТУ «Дніпровська політехніка»  
кандидат технічних наук, доцент

Наталія РОТТ

Підпис к.т.н., доцент **Наталії РОТТ** засвідчую:  
Учений секретар Вченої ради  
НТУ «Дніпровська політехніка»



Таїсія КАЛЮЖНА