

До спеціалізованої вченої ради Д 26.182.02
при Інституті електрозварювання
ім. Є.О. Патона НАН України
11, вул. Казимира Малевича, Київ, 03150

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу ПОЛІШКО Ганни Олексіївни
«Наукові основи електрошлакового процесу з рідким металом для
одержання суцільних і композитних злитків», представлену на здобуття
наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.16.02
«Металургія чорних і кольорових металів та спеціальних сплавів»

I. Актуальність теми дисертації та відповідність спеціальності 05.16.02 – Металургія чорних та кольорових металів та спеціальних сплавів

Головним завданням сучасної світової та української металургії, і насамперед спеціальної електрометалургії, є істотне поліпшення якості металів, надання їм нових властивостей, з одночасним зменшенням енерговитрат та вирішенням екологічних проблем. Як багаторазово зазначалося, технічний прогрес у багатьох високотехнологічних галузях промисловості є неможливим без використання нових високоякісних сталей та сплавів, які виробляються з використанням переплавних процесів спеціальної електрометалургії.

Не буде перебільшенням сказати, що найпоширенішим із способів спеціальної електрометалургії є електрошлаковий переплав (ЕШП), розроблений шість десятиріч тому вченими ІЕС ім. Є.О. Патона та започаткований вперше у промисловому масштабі у 1958 році на заводі «Дніпроспецсталь». Аналіз літературних джерел показує, що ЕШП в класичному варіанті з витратним електродом продовжує розвиватися, за минулі десятиріччя суттєво вдосконалено технологію і обладнання ЕШП – наприклад, з використанням захисної атмосфери і зміною електродів в ході плавки. На найближчу перспективу процеси ЕШП залишаться основними для отримання високолегованих сталей і сплавів особливо високої якості, попит на які буде зростати. Вже сьогодні, в умовах відомої ситуації на сході нашої держави, оборонна промисловість України висуває низку стратегічних завдань та вимог до металопродукції, які можуть бути забезпечені саме технологією ЕШП.

У той же час, «класичному» способу ЕШП з витратним електродом притаманні відомі недоліки: проблеми виготовлення переплавних електродів, перш за все, зі складнолегованих і важкодеформованих сплавів; наявність нижньої межі швидкості плавлення електродів, вихід за яку робить неможливим формування задовільної поверхні злитка; високий перегрів електродного металу і, відповідно, велика глибина металевої ванни і протяжна двофазна зона, яка є

однією з причин ліквідації, що позначається на якості кінцевої продукції. Невисока продуктивність класичного ЕШП негативно впливає не лише на якість злитка, але й зумовлює високі витрати електроенергії і питому собівартість виробів.

Електрошлаковий перепад з рідким металом (ЕШП РМ), що реалізовано в промисловості для наплавлення валків, який у свій час було запропоновано академіком Б.І. Медоваром – одним з винахідників та дослідників сучасного ЕШП – відкрив можливість формування злитка без витратного електрода. Подальший розвиток цієї перспективної технології та розширення сфер застосування ЕШП РМ може відбуватися на основі уточнення фізико-хімічних процесів, які відбуваються на межі контакту шлак – метал. Системного вивчення потребують також питання впливу технологічних параметрів ЕШП РМ (перегріву та швидкості подачі рідкого металу) на формування суцільних і пошарово-композитних злитків з мінімальною зоною з'єднання шарів відмінного хімічного складу, особливості формування їх структури при твердінні тощо.

Саме ці питання – створення на основі системного вивчення фізико-хімічних процесів на границі шлак-метал нової наукової бази для удосконалення процесу ЕШП РМ, підвищення економічності та розширення сфер застосування ЕШП, якості та стабільності комплексу властивостей теплостійких та високоміцних сталей за рахунок створення сприятливих умов формування злитків – було обрано темою дисертаційної роботи Полішко Г.О. Тому актуальність теми цього наукового дослідження та поставлених у ньому наукових та прикладних завдань не викликає сумніву.

Про актуальність роботи, що розглядається опонентом, також свідчить, що тема роботи відповідає пріоритетному напрямку науки й техніки України «Новітні технології та ресурсозберігаючі технології в енергетиці, промисловості та агропромисловому комплексі», а її виконання пов'язане з планами науково-дослідних робіт Інституту електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, у яких автор брала безпосередню участь. Тема дисертації також повністю відповідає паспорту спеціальності 05.16.02 – Металургія чорних та кольорових металів та спеціальних сплавів.

2. Ступінь обґрунтованості, повнота і достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій в дисертаційній роботі

Проведений опонентом аналіз дисертації та автореферату Полішко Г.О. показав, що наукові положення, висновки і рекомендації, що викладені в роботі, цілком обґрунтовані, базуються на глибокому вивченні здобувачем іноземних і вітчизняних літературних джерел, патентної літератури, результатів власних теоретичних і практичних досліджень і розрахунків. У роботі застосовані

комплексні сучасні аналітичні, розрахункові та експериментальні методи досліджень металургійних процесів, стандартні методики металографічних досліджень макро- і мікроструктури металу, стандартні методи механічних випробувань металу, професійні пакети математичного моделювання та моделі власної розробки. Дисертантом широко використано сучасні методики моделювання процесів та математичної обробки результатів досліджень. Так, термодинамічні розрахунки проводили за допомогою комп'ютерної програми HSC Chemistry.

Порівняльний аналіз теоретичних і експериментальних результатів свідчить про їх узгодженість. Отримані результати та висновки узгоджуються також з даними, які відомі з літературних джерел, апробовані на авторитетних міжнародних і українських наукових конференціях, семінарах, опубліковані у фахових виданнях.

Сукупність отриманих експериментальних і теоретичних результатів дозволили здобувачеві розробити наукові основи нового електрошлакового процесу з рідким металом для одержання злитків особливо високої якості суцільного перерізу і композитного складу, розвинути теоретичні уявлення щодо фізико-хімічних й тепломасообмінних процесів при ЕШП з витратним електродом і рідким металом.

Таким чином, опонент зазначає, що отримані у дисертаційній роботі результати, висновки та рекомендації характеризуються достатньо повною аргументацією наукових положень, використанням сучасних методів досліджень, обґрунтованістю інтерпретації результатів масиву експериментальних даних. Теоретичні дослідження побудовані на фундаментальних положеннях фізичної хімії, теорії металургійних процесів, законів масо- і теплообміну, та пройшли експериментальну перевірку, а практичні розробки в свою чергу мають добру теоретичну основу.

Вище наведене свідчить про те, що обґрунтованість результатів, положень, висновків, пропозицій і рекомендацій, отриманих в дисертаційній роботі, не викликає сумніву.

3. Загальна оцінка змісту дисертації

Дисертація складається зі вступу, 6 розділів, загальних висновків, списку використаних літературних джерел з 339 найменувань. Дисертація має загальний обсяг 300 сторінок і додатків на 2 сторінках, містить 135 ілюстрації та 32 таблиці.

У вступі обґрунтована актуальність теми дисертації, проаналізовано стан проблеми, сформульована мета і завдання дослідження, вказано предмет і об'єкт дослідження, визначена наукова новизна і практичне значення отриманих результатів, висвітлено особистий внесок здобувача в розробку проблеми.

Наведені дані про апробації результатів, повноту їх висвітлення в публікаціях. Зазначено внесок здобувача в публікаціях, підготовлених автором як особисто, так і за участю співавторів.

У першому розділі виконано критичний аналіз можливостей та перспектив сучасних процесів ЕШП для одержання сталей особливо високої якості. Показано, що сьогодні принципово існує два типи ЕШП - традиційні електрошлакові технології, із застосуванням витратних електродів та електрошлакові процеси з подачею рідкого металу. На підставі даних попередніх досліджень показано низку переваг технологій ЕШП РМ: периферійне струмопідведення разом з подачею рідкого металу дозволяє варіювати швидкість формування злитка в широких межах; оптимізуються геометричні параметри металеві ванни та знижується ступінь розвитку ліквідаційних процесів; зменшується собівартість процесу за рахунок відсутності витрат на виготовлення витратних електродів; стає можливим виготовлення електродів із складнолегованих та важкодеформованих сплавів, для яких виробництво звичайного витратного електрода суттєво ускладнено або неможливо. Виникає також й можливість виготовляти композитні вироби з коаксіальними і горизонтальними шарами (ротори, прокатні вали, шестерні тощо) з мінімізованою зоною змішування, в тому числі різнорідних металів, наприклад сталь-мідь тощо.

За результатами виконаного літературного огляду, сформульовано мету та конкретні задачі дослідження для вирішення обраної наукової проблеми. Обґрунтовано також, що для розширення сфер застосування ЕШП РМ необхідно провести ряд досліджень для більш детального вивчення фізико-хімічних і тепломасообмінних процесів, які протікають на поверхні контакту шлаку і металу, про що йде мова у технологічних розділах дисертації.

У другому розділі виконано порівняльний аналіз умов протікання фізико-хімічних і тепломасообмінних процесів на основних поверхнях взаємодії (плівка на торці витратного електрода, крапля в шлаку, струмінь, контакт шлакової та металеві ванн) електрошлакового переплаву з витратним електродом і з рідким металом. Проведено порівняння здатності рафінувати метал цими технологіями у співставних умовах (однакова марка сталі, однакова кількість і хімічний склад шлаку) та чистоти одержуваного металу за неметалевими включеннями. Експериментально доведено, що при традиційному ЕШП шлакова ванна, перегріта до 1873-2073 К за рахунок її електричного опору, повільно плавить торець витратного електрода.

Надано також характеристики крапель/струменю в порівняльних процесах ЕШП, що існують в системі за однакової масової продуктивності переплаву, та оцінено величини поверхонь взаємодії шлаку і металу для цих варіантів технології.

У третьому розділі за критеріями подібності наведено результати розрахунків параметрів руху та нагріву крапель рідкого металу в шлаку в процесі ЕШП та ЕШП РМ. Здобувачем, на відміну від прийнятих у інших роботах систем критеріальних розрахунків, у цьому розділі запропоновано нові варіанти граничних умов та припущень, які відрізняються від класичного для твердої сфери. Для таких умов встановлено, що зі збільшенням розміру краплі відхилення швидкості її руху від прогнозованої за Стоксом для твердої сфери того ж діаметра зростає - чим більше розмір краплі, тим швидкість її руху та відхилення від Стоксівської моделі є більшими.

Розрахунками доведено, що ступінь деформації рідких крапель при русі в розплаві шлаку при дрібному розмірі є несуттєвою і не впливає на швидкість падіння та нагрів крапель, а при збільшенні розміру скорочує швидкість їх руху. Так, наприклад, 6-відсоткова деформації краплі діаметром 10 мм зменшує її швидкість на 25-30 відсотків відносно швидкості руху краплі правильної сферичної форми.

У четвертому розділі, який на думку опонента є найбільш цікавим з точки зору наукової новизни та практичної цінності для наступних технологічних випробувань, теоретично обґрунтовано та експериментально досліджено технологію ЕШП РМ для отримання композиційних злитків з теплостійких сталей 12Х13 та 38ХН3МФА з зоною з'єднання гарантованої якості для роторів турбін нового покоління.

Чисельним прогнозуванням за побудованою моделлю продемонстровано шляхи оптимізації геометричних параметрів кристалізатора для отримання композитних злитків з зоною з'єднання гарантованої якості і мінімізованою глибиною проплавлення. За даними здобувача, верифікація розробленої математичної моделі за глибиною проплавлення та розподілом хімічних елементів в лабораторних злитках ЕШП РМ показала відхилення результатів розрахунків від експериментальних даних 10-12 %, що робить її придатною для практичних розрахунків.

Експериментально доведено, що в злитку-прототипу композитного ротора, одержаного ЕШП РМ, при рівних параметрах плавки максимальна глибина проплавлення становила не більш як 15-20 мм, що складає 8-11 % від діаметру злитка. Цей показник є значно меншим порівняно з ЕШП зі зміною електродів, де металева ванна (перехідна зона) в 3,5-5,0 раз більша за таку в композитному злитку ЕШП РМ.

Придатність технологічних режимів ЕШП РМ для формування злитків композитного ротора доведено металографічними дослідженнями металу злитка-прототипу, на підставі яких побудовано термокінетичні діаграми для сталей складу перехідної зони, що дозволило обрати ефективні режими їх термічної обробки. Показано відсутність ризику утворення в зоні з'єднання двох сталей крихких структур. Чистота металу зони з'єднання композитного

злитка за вмістом і розміром неметалевих включень відповідає вимогам до металу ЕШП, що виплавляється за класичною схемою.

У п'ятому розділі виконано розрахунково-аналітичне та експериментальне обґрунтування т. зв. «гібридного процесу», що поєднує електрошлаковий підігрів меніску металу і безперервне розливання сталі (ЕШП+БР) з метою зменшення швидкості витягування заготовки без порушення формування її поверхні для виробництва довгомірної продукції (заготовок залізничних рейок і вісей, важких балок та швелерів тощо).

На прикладі заготовок рейок з високоміцної сталі встановлено, що для безперервнолитих злитків діаметром 500 мм зниження швидкості розливання веде до відповідного пропорційного зменшення глибини металевої ванни (лунки). При цьому доля рідкого металу, що перебуває в двофазній зоні, зменшується з 55 до 20 %, що є передумовою зниження осьової пористості та ліквациї в литих заготовках.

Комплекс досліджень злитків ЕШП, виплавлених в лабораторних умовах під шлаком АНФ-28М, показав, що збільшення швидкості витягування вдвічі з 40 до 20 мм/хв не погіршує макро- та мікроструктуру металу рейкової сталі, не змінює розподіл сірки, дисперсність перліту, морфологію і розмір неметалевих включень. Контактно-стикове зварювання з оплавленням рейкового металу ЕШП для обох швидкостей витягування в литому й деформованому стані показало, що метал задовільно зварюється.

У шостому розділі наведено низку власних даних і розрахунків, поруч з літературними джерелами, які можуть бути корисними при проектуванні технологічного процесу ЕШП РМ для виготовлення злитків суцільного перерізу діаметром 500...2500 мм та розроблено відповідні технологічні рекомендації. Проведено розрахунково-аналітичне та експериментальне обґрунтування гібридного процесу, що поєднує електрошлаковий підігрів меніску металу і безперервне розливання сталі (ЕШП+БР) з метою зменшення швидкості витягування литої заготовки без порушення формування її поверхні для виробництва довгомірної продукції (заготовок залізничних рейок і вісей, важких балок та швелерів тощо) на прикладі рейок з високоміцної сталі. Розроблено схеми реалізації ЕШП РМ в складі гібридного процесу для МБЛЗ з використанням струмопідвідного кристалізатора.

Застосування ЕШП РМ у виробництві рейок дозволяє знизити швидкості витягування заготовки майже втричі за рахунок підігріву меніску і, тим самим, покращити внутрішню структуру, щільність та однорідність металу заготовки зі збереженням якості її поверхні. Запропоновано перспективні схеми виробництва рейок електрошлаковим переплавом на спеціалізованому мікрометалургійному заводі. Техніко-економічним розрахунком доведено технічну та економічну доцільність застосування електрошлакового процесу з рідким металом для виробництва злитків суцільного перерізу великого діаметра.

Виконані здобувачем розрахунки свідчать, що при однаковій продуктивності з ЕШП, процес ЕШП РМ може забезпечити суттєву економію витрат на електроенергію, що відкриває перспективу широкого впровадження такої технології та обладнання в промисловості.

Загальні висновки по дисертації та автореферату базуються на викладених результатах власних досліджень і літературних джерелах, та дають необхідне уявлення щодо змісту роботи та виконання поставлених у неї завдань.

Список використаних літературних джерел оформлений відповідно до прийнятих стандартів.

Додатки до дисертаційної роботи засвідчують наміри електрометалургійного заводу «Дніпроспецсталь» використати рекомендації здобувача по управлінню якістю металу в процесі ЕШП (*додаток А*) та підтверджують використання матеріалів дисертаційної роботи під час виконання студентських науково-дослідницьких робіт, дипломних і випускних робіт бакалаврів і магістрів, що навчаються за спеціальністю 136 – *Металургія у НТУУ «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського (додаток Б)*.

Дисертація в цілому добре оформлена, написана грамотною технічною мовою, характеризується цілісністю за змістом, достатньо високим науковим рівнем; деякі зауваження по її оформленню наведено нижче. Назва і оформлення дисертації відповідає вимогам МОН України. За своїм змістом і рівню досліджень, по своїй завершеності і практичним результатам дана робота відповідає вимогам, що пред'являються до докторських дисертацій.

4. Наукова новизна та практична цінність отриманих результатів

Основними елементами, яким притаманна наукова новизна даної роботи, є розвинення теоретичних уявлень щодо фізико-хімічних й тепломасообмінних процесів при ЕШП та розширення використання електрошлакового процесу з рідким металом, який поєднує базові можливості електрошлакового переплаву, обігріву та підживлення, для одержання суцільних і композитних злитків практично необмежених за розміром та масою.

Так, відносно **наукової новизни** може йти мова про наступні положення:

- базуючись на експериментальних результатах щодо аналогічного вмісту сірки у металі після обробки способами ЕШП та ЕШП РМ – як доказу повноти взаємодії металу зі шлаком та асиміляції неметалевих включень на межі металевої та шлакової ванн – здобувачем уперше експериментально доведено, що при класичному ЕШП плівка на торці електрода не є вирішальною стадією в процесі рафінування;

- уперше аналізом умов протікання фізико-хімічних і масообмінних процесів в системі шлак-метал при електрошлаковому переплаві з витратним

електродом і з рідким металом показана вдвічі менша поверхня реагування при ЕШП РМ порівняно з класичним ЕШП (з коефіцієнтом заповнення 0,6-0,7). Показана можливість подання металу до кристалізатора за 70-90 градусів нижчу температуру, що дозволяє збільшити продуктивність процесу ЕШП РМ порівняно з класичним ЕШП до 15% при збереженні такої ж якості злитка;

- уперше розрахунковим шляхом за моделлю, яка враховує потоки в об'ємі рідкої краплі, визначено прискорення її руху і збільшення відхилення швидкості від прогнозованої за Стоксом для твердої сфери того ж діаметра, яке зростає зі збільшенням розміру крапель (при діаметрах 3...10 мм на 3...26 %, відповідно);

- підтверджено, що ступінь деформації рідких крапель при русі в розплаві шлаку збільшується при зростанні їх розміру (від 0,3 % для краплі діаметром 2 мм до 6 % для краплі 10 мм) і зменшує швидкість їх руху (на 25...30 % для краплі діаметром 10 мм (0,447 проти 0,641 м/с для правильної сфери).

Щодо **практичної цінності** роботи опонент зазначає наступні положення:

- уперше, в струмопідвідному кристалізаторі (СПК) виготовлено прототип ротора – композитний злиток діаметром 180 мм, в якому протяжність перехідної зони змінного складу є меншою за 11 % діаметра злитка (15...20 мм). За прогнозом математичної моделі протяжність цієї зони в злитках діаметром 700 і 1200 мм складе 12...15 % (100...120 і 150...160 мм, відповідно);

- одержали подальший розвиток уявлення про можливості зменшення швидкості розливання на МБЛЗ шляхом електрошлакового підігріву меніску (процес ЕШП+БР) з метою покращення внутрішньої структури заготовок (на прикладі рейкового металу). Моделювання тверднення заготовки діаметром 500 мм з підігрівом меніску СПК прогнозує скорочення швидкості розливання в 2 рази, що зменшить глибину металевої ванни/лунки в 3 рази і протяжність двофазної зони на 35 %.

- виконано розрахунково-аналітичне та експериментальне обґрунтування гібридного процесу, що поєднує електрошлаковий обігрів меніску металу і безперервне розливання сталі (ЕШП+БЛ) з метою зменшення швидкості витягування литої заготовки без порушення формування її поверхні для виробництва довгомірної продукції (заготівки для залізничних рейок і вісій, важких балок та швелерів тощо) на прикладі сучасних рейок з високомічної сталі;

- виконано розрахунки та рекомендації для проектування технологічного процесу ЕШП РМ виготовлення злитків суцільного перерізу діаметром 500-2500 мм.

5. Повнота викладення основних результатів дисертаційної роботи в наукових публікаціях та апробація роботи

Результати дисертації опубліковано в 29 наукових працях, 16 із них задовольняють вимогам відповідного «Порядку» МОН України до публікацій, 5 робіт внесені до реєстру міжнародних наукометричних баз SCOPUS/WoS.

Основні положення і результати дисертації доповідалися на 22 міжнародних науково-практичних конференціях та отримали позитивну оцінку наукової спільноти.

Аналіз публікацій дає підставу вважати, що наукові положення, висновки та рекомендації, які отримані в дисертаційній роботі, повністю висвітлені в наукових працях та виступах.

Анотування дисертаційної роботи ідентичний за змістом з основними положеннями дисертації й достатньо повно відображає основні наукові результати, отримані здобувачем.

6. Зауваження по роботі

Даючи роботу в цілому позитивну оцінку, звертаю увагу здобувача на наступних зауваженнях; викладаю зауваження в черговості не за значенням, а за текстом роботи:

1. Характеризуючи у вступі та анотуванні актуальність роботи, здобувачем, на мою думку, недостатньо обґрунтовано - чому застосування ЕШП з рідким металом особливо актуально для виробництва злитків з **теплостійких і високоміцних сталей**.

2. Як вже зазначено вище, можливості використання технології ЕШП-РМ для досить значного сортаменту електросталі не викликають сумніву. Однак, що стосується виробництва **магістральних рейок преміум класу**, то у фахівців існують певні сумніви в доцільності використання даних розробок для масового виробництва подібної довгомірної продукції. Ця металопродукція передбачає використання високопродуктивних виробничих агрегатів, у т. ч. киснево-конвертерної плавки, позапічної обробки, а в окремих випадках - вакуумної обробки металу. Це добре відомо здобувачеві, яка на стор.51 аналізує питання необхідності високої якості рейок для високошвидкісних магістралей, що забезпечується саме позапічною обробкою з обов'язковим вакуумуванням. Бажано отримати пояснення з цього питання під час захисту.

3. У розділі 2 на стор.81 здобувач зазначає, що при більш нижчій температурі шлаку ЕШП РМ знижується в'язкість шлаку. Чи не є це **технічною опіскою**? Бо надалі у розділі 5 на рис.5.20, 5.22. дисертантом навпаки чітко показано зниження в'язкості шлакового розплаву при зростанні температури.

4. На підставі експериментальних даних здобувачем доводиться, що при класичному ЕШП плівка металу на торці електрода не є вирішальною стадією в процесі рафінування металу від сірки, оскільки при ЕШП РМ досягається така ж ступінь рафінування металу від сірки за рахунок взаємодії металу зі шлаком і

асиміляції неметалічних включень на кордоні метал/шлакова ванна. Але як видно з наведених даних, рідкий метал, який порціонно додавався в рідку ванну, так само є електрошлакового походження, тобто **вже пройшов відповідне рафінування на першому етапі обробки**. Чи враховано це при порівнянні технологій??

5. Висновки у дисертації (розділ 3) та авторефераті (стор.11-12), які зроблені на підставі отриманої здобувачем **математичної моделі**, не враховують повною мірою розбризкування струменя металу на краплі, що сприяє збільшенню питомої поверхні взаємодії по межі метал-шлак. У цій ситуації, на думку опонента, доречно було б використовувати **фізичну модель** з вивчення поведінки струменя металу в шлакової ванні, результати якої могли б використовуватися в подальших розрахунках параметрів плавки ЕШП РМ.

6. В цьому ж розділі 3 при розрахунках характеру руху і нагріву крапель рідкого металу в розплавленому шлаку не враховано наявність інтенсивних потоків шлакового розплаву під впливом **електромагнітних сил**, що мають місце при електрошлаковому процесі.

7. Безумовно, кожен автор маж власні міркування щодо логічності та послідовності викладення матеріалу. Але на думку опонента, було б доцільно усі питання щодо методики експерименту та обладнання згрупувати у **окремий підрозділ**. Тоді б не було необхідності з певними повторами декілька разів описувати лабораторну піч УШ-149 (стор.88, стор.184), методику та обладнання для металографічних досліджень (стор.91-92, стор.190, стор.204) тощо.

8. По неметалевим включенням. На думку здобувача, наявність у кінцевому злитку складних включень системи Al-O-Mn-S-Si (стор.93), яких не було знайдено в металі витратного електрода, свідчить, що ці включення видаляються вже на **стадії плавлення електрода**. Не заперечуючи цьому твердженню, посилаюсь на системне дослідження неметалевих включень у роботі «Атлас мікроструктур неметалевих включень» авторів В.П. Пірожкової, М.Ю. Яценко, В.В. Луньова та опонента, де детально обгрунтовано інший механізм утворення аналогічних за складом та описом неметалевих включень системи Mn-S-O-Al в **процесі кристалізації злитка** при формуванні окисно-сульфідного розчину складного складу.

9. Зауваження щодо **оформлення** роботи:

- **двічі** на стор.83 та 84 дослівно зазначено, що розмір крапель металу залежить від діаметру електрода та щільності струму;
- на окремих рисунках, де наведено фото мікроструктури зразків металу, відсутні **показники збільшення** зображення - рис.5.36, 5.45, 5.53;
- є окремі **невдалі вирази** – наприклад, «для це оцінимо...» на стор.219; неузгодженості у закінченнях слів – «Порівняльний аналіз ...мають...» на стор.79 (*треба – має*), «можливості... не дозволяє» - стор.166 (*треба – не дозволяють*) тощо;

- термін «вторинна металургія» багаторічно вживається усіма фахівцями не в тому значенні, як пропонується здобувачем на стор.241, а є загальноприйнятою назвою для підгалузі, яка займається металобрухтом.

7. Загальний висновок

Вказані зауваження не знижують загальної позитивної оцінки дисертації Полішко Г.О. «Наукові основи електрошлакового процесу з рідким металом для одержання суцільних і композитних злитків», яка є завершеним науковим дослідженням, що розв'язує важливу науково-технологічну проблему підвищення економічності ЕШП, якості та стабільності комплексу властивостей теплостійких та висококоміцних сталей за рахунок створення сприятливих умов рафінування і формування злитків.

Дисертаційна робота відповідає вимогам пунктів 9, 10, 13 «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 р. № 567 щодо докторських дисертацій, а її автор, ПОЛІШКО Ганна Олексіївна, заслуговує на присудження наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.16.02 – Металургія чорних і кольорових металів та спеціальних сплавів.

Офіційний опонент –
Завідувач лабораторією Інституту
біологічної хімії ім. Ф. Д. Овчаренка
НАН України, доктор технічних наук,
професор, Заслужений діяч науки і техніки
України, Лауреат Державних премій України

С.Г. Грищенко

«12» січня 2021 р.

Підпис проф. д.т.н. С.Г. Грищенко засвідчую

Засл. дир. Інституту біологічної хімії ім. Ф. Д. Овчаренка НАН України
К.Х.Н. О.А. Цуланович

