

ВІДГУК
офіційного опонента на дисертаційну роботу
Меняйло Олени Валеріївни
«Наукові і технологічні основи процесів спрямованого твердіння масивних
виливків із залізовуглецевих сплавів у комбінованих кокільно-піщаних формах»,
яка подана на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук
за спеціальністю 05.16.04 – «Ливарне виробництво»

1. Актуальність обраної теми

Завдання підвищення якості металопродукції ті виходу придатного при виробництві валків не може бути успішно вирішене без підвищення ефективності виробництва і впровадження досконалих технологій ливарного виробництва. У вальцеливарному виробництві непродуктивні витрати металу на надливи складають 23-28%. При одержанні масивних виливків для усунення усадкових дефектів у верхній шийці вилівка валка застосовують технологію електрошлакового обігріву надливу. Тривалість електрошлакового обігріву встановлюють достатньо приблизно і це приводить до збільшення непродуктивних витрат. Підвищення якості литих прокатних валків щільно пов'язана з особливостями спрямованого твердіння прокатних валків, умов, при яких утворюються усадкові дефекти та гарячі тріщини. На сьогодні питання підвищення швидкості твердіння центральних зон масивних виливків, зменшення кількості цементиту у структурі осьової зони прокатних валків і утворення гарячих тріщин у валках з литими калібрами потребує розробки. Проблема набула в теперішній час важливого значення у зв'язку зі збільшеннями швидкостей прокатки. Вирішення цих задач належить цілком ливарному виробництву і приведе до економії матеріальних ресурсів та підвищення надійності і довговічності деталей металургійного обладнання. Роботу, яка направлена на аналіз і вирішення наукових питань та розробку технологічних процесів спрямованого твердіння масивних виливків із залізовуглецевих сплавів у комбінованих кокільно-піщаних формах, вважаю актуальною. Дисертаційна робота Меняйло О.В. виконана згідно з науково-дослідними роботами, що проводилися кафедрою ливарного виробництва Національної металургійної академії України (ДР 0210U001444, ДР 0110U003236, ДР 0105U000704, ДР 0115U003177, 0110U003264). Автор дисертації була виконавицею цих робіт.

Все вище обговорене дозволяє зробити висновок, що тема дисертаційної роботи Меняйло О.В. є актуальною як з наукової, так і практичної точок зору.

2. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій

Наукові положення, висновки і рекомендації, що сформульовані у дисертації, базуються на сучасних фундаментальних теоретичних основах ливарного виробництва,

теорії кристалізації та теплофізичних процесів при твердінні виливків різної форми із сплавів заліза з вуглецем, а також аналізі і творчому узагальненні концепцій провідних вітчизняних і закордонних дослідників за темою дисертаційної роботи. Обґрунтованість наукових положень, висновків і рекомендацій, що висвітлені у дисертації Меньяло О.В., не викликає сумнівів, тому що забезпечена достатнім обсягом і узгодженістю результатів лабораторних і промислових досліджень, отриманими авторськими свідоцтвами та патентами на винаходи і впровадженням розробок у вальцеливарне виробництво. Загальні висновки по дисертації відображують одержані автором результати, розкривають його наукові та практичні досягнення.

Дисертація Меньяло О.В. складається зі вступу, 5 розділів, загальних висновків, списку посилань та додатків.

У вступі наведена загальна характеристика роботи, висвітлена її актуальність, наукова новизна, апробація, практична цінність, тощо.

Перший розділ присвячений аналізу та моделюванню процесу утворення усадкових дефектів в масивних виливках, аналітичним способом вирішення задач спрямованого твердіння масивних виливків, моделюванню процесів утворення усадкової поруватості та технологічним особливостям живлення виливків чавунних прокатних валків при їх усадці.

Була сформульована мета та задачі дослідження, з яких основна – встановити кінетику утворення об'ємної усадки масивних прокатних валків відлитих у комбіновану кокільно-піщану ливарну форму, умови спрямованого твердіння чавунних та сталевих прокатних валків і вивчити технологічні особливості процесу та призначити режими регульованого електрошлакового обігріву надливу виливка.

Дисертант обґрунтовує своє рішення проблеми шляхом встановлення умов збільшення швидкості твердіння центральних зон виливків різної форми при знаходженні металу в двофазній рідко-твердій і твердо-рідкій області виливків, в яких утворюються усадкові дефекти і гарячі тріщини та параметрів і умов введення графітизувального модифікатора у рідко-тверду серцевину після затвердіння у кокілі шару металу заданої товщини з метою зменшення кількості цементиту і транскристалічної структури в осьовій зоні прокатних валків.

У другому розділі автором наведені сучасні стандартні методи дослідження, як то металографічний аналіз, хімічний аналіз, високотемпературний диференційний термічний аналіз, розрахункові методи. Розкрито проведення експериментів у промислових умовах щодо електрошлакового обігріву масивних чавунних і сталевих виливків. Це дало можливість одержати різнобічні дані та надійні і достовірні висновки. Автором застосоване також моделювання процесів твердіння виливків різної форми при впливі на розплав.

Третій розділ присвячений встановленню впливу комбінованої кокільно-піщаної ливарної форми на кінетику об'ємної усадки та живлення різних за формою чавунних валків з високоміцного чавуну.

За одержаними результатами проведено моделювання процесу твердіння і аналіз результатів теоретичних і практичних досліджень. Моделювання твердіння і термочасових параметрів електрошлакового обігріву валків дозволило виявити області, які за певних режимів обігріву мають усадкові раковини і поруватість. Одержані результати дали можливість розробити раціональні режими тривалості електрошлакового обігріву надливів чавунних прокатних валків і зменшити час ЕШО.

Встановлені умови та критерії спрямованого твердіння і відсутності усадкових дефектів у нижніх шийках прокатних валків і у виливку в цілому. Моделювання впливу конструкції ливарної форми нижньої шийки з метою запобігання утворенню усадкових дефектів дозволило встановити параметри холодильника, який забезпечує прискорене твердіння металу нижньої шийки у порівнянні з бочкою.

Визначено, що повторне використання флюсу при ЕШО прокатних валків з кулястою формою графіту, в яких підвищення вмісту сірки у розплаві більше 0,01% приводить до демодифікування.

Четвертий розділ дисертації Меньяло О.В. спрямований на дослідження термочасових режимів твердіння і живлення виливків у кокілях різної форми. Враховано вплив вмісту вуглецю на межу солідус, виливання і тривалість обігріву надливу виливків. Визначено тривалість твердіння Fe-C сплавів у виливках різної форми за критерієм Б.Б. Гуляєва. Встановлено тривалості електрошлакового обігріву виливків за показником кінетики усадки розплаву у надливі. Розраховано тривалість електрошлакового обігріву сталевого злитка, що відливається з газодинамічною дією на метал, що кристалізується.

Виведено формули і залежності умов спрямованого твердіння для встановлення тривалості режимів електрошлакового обігріву надливу виливків і злитків з Fe-C сплавів різної форми, що твердіють у кокілі.

Теоретично визначено та експериментально перевірено закономірності обігріву надливу сплавів з різними температурно-часовими режимами заливання і теплофізичними властивостями ливарної форми.

Встановлено тривалість електродугового-електрошлакового обігріву надливу прокатних валків із заевтектоїдної сталі 150ХНМ та вплив комбінованої кокільно-піщаної форми на об'ємну усадку. Одержані результати дозволили розрахувати технологічні режими та зменшити загальну тривалість ЕШО.

Розраховано кінетику твердіння виливків, середню температуру твердого шару

метала, який забезпечує герметизацію на поверхні виливка, і величини напружень у твердій скоринці металу. На цій основі визначені область допустимих значень тиску і розміри надливів, які виготовляються з використанням комбінованої дії газодинамічного впливу і електрошлакового обігріву. Проведені експерименти на вуглецевій, штамповій інструментальній, швидкорізальній сталі і мідистому силуміні показали, що ця технологія є універсальною для різних сплавів.

В п'ятому розділі наведені результати з розроблення гіпотези прискореного твердіння центральних зон масивних виливків за гетерогенним механізмом, при якому гілки дендритів є додатковими центрами кристалізації і забезпечують збільшення швидкості кристалізації. Одержані аналітичні залежності дозволили встановити, що прискореному твердінню центральної зони виливку відповідають тільки результати, що отримані для розрахунку кількості центрів кристалізації на одиницю об'єму не затверділої частини виливку.

Для попередження виникнення гарячих тріщин запропоновано модифікувати макроструктуру сплаву нанесенням дисперсних частинок SiC і TiCN у вигляді пасти або припили на поверхні форми.

Одержані результати апробовано і впроваджено на АТ "ДЗПВ" і в учбовому процесі Національної металургійної академії України. Потенційний економічний ефект у сумі 639 тис. грн. розраховано при ЕШО надливів у вальцеливарному цеху ДЗПВ, що підтверджено необхідною документацією, наведеною у додатках.

Загальні висновки по дисертації відображують одержані автором результати, розкривають наукові та практичні досягнення.

3. Достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій

Наукова достовірність результатів досліджень, висновків та положень, висвітлених у дисертаційній роботі, не викликає сумнівів і забезпечена достатнім об'ємом досліджень проведених як автором дисертації, так і знайдених та проаналізованих з літературних джерел, кваліфікованим підходом до обробки експериментальних даних, коректною оцінкою похибок вимірювань, узгодженістю аналітичних моделей та лабораторних і промислових результатів випробувань.

Достовірність і обґрунтованість одержаних результатів і наукових положень визначається також комплексним застосуванням ряду незалежних сучасних експериментальних методів дослідження, а також позитивним випробуванням і впровадженням одержаних результатів у промисловість. Всі висновки дисертаційної роботи базуються на отриманих автором теоретичних і експериментальних результатах, які між

собою співпадають, не суперечать існуючим науковим даним і тому їх слід вважати достовірними.

4. Новизна наукових положень, висновків і рекомендацій

Автором отримано нові науково обґрунтовані теоретичні та експериментальні результати щодо основних закономірностей процесів твердіння масивних виливків у комбінованих кокільно-піщаних ливарних формах, які базуються на закономірностях теорії тепломасоперенесення та термічного аналізу і у сукупності є суттєвими для розвитку теорії та технології спрямованого твердіння масивних виливків та утворення і попередження дефектів усадкового походження із залізо-вуглецевих сплавів у ливарному виробництві.

У дисертації запропоновано нове рішення науково-технічної проблеми спрямованого твердіння масивних виливків з Fe-C сплавів, отримане теоретичне обґрунтування процесів утворення усадкових раковин і поруватості у твердо-рідкій зоні виливка та розроблені засоби їх попередження, що дозволило зменшити непродуктивні втрати металу, електроенергії та одержати злитки і виливки підвищеної якості. Автором вперше встановлено, що максимальна усадка прокатних валків з високоміцного чавуну масою від 2,2 т до 17,2 т відбувається при досягненні межею виливання центру виливка. Нові експериментальні результати кінетики процесу твердіння дозволили скорегувати технологію ЕШО.

Визначено, що максимальна усадка (до 99%) відбувається при кристалізації рідко-твердої частини бочки і шийок виливка валка, а температура у надливці 1520-1555 °С забезпечила живлення усадки робочого шару бочки та значної частини нижньої шийки без затримки твердіння верхньої шийки валка. Обґрунтовано необхідність припинення живлення усадки раніше 100 %-ї тривалості твердіння, як вважалося досі.

В процесі виконання досліджень, як у лабораторних, так і у промислових умовах, дисертантом отримані результати, аналіз яких дозволяє говорити, що вони відповідають критерію наукової новизни. Встановлено, що перший етап обігріву, який супроводжується максимальною усадкою розплаву з надливу, необхідно проводити з найвищою витратою електроенергії. Розрахована тривалість першого етапу обігріву за критерієм Б.Б. Гуляєва.

Дисертантом ретельно вивчені закономірності кристалізації масивних виливків різної форми. Для забезпечення спрямованого твердіння виведені формули і залежності для встановлення тривалості режимів ЕШО надливу виливків і злитків циліндричної, плоскої і кульової форми при твердінні у кокілі.

Теоретично визначено та експериментально перевірено закономірності тривалості обігріву надливу за кінетикою усадки сплавів у різних за теплофізичними властивостями ливарних формах з різними температурно-часовими режимами заливання.

Запропоновано гіпотезу процесу прискореного твердіння центральних зон виливків пласкої, циліндричної і кулястої форм відповідно до гетерогенного механізму, при якому гілки дендритів є додатковими центрами кристалізації. Одержані аналітичні залежності показали, що прискорене твердіння центральних зон виливків відповідає розрахунку кількості центрів кристалізації, що приходяться на одиницю об'єму незатверділої частини виливка.

На підставі узагальнення експериментальних даних і проведеного аналізу автором для попередження виникнення гарячих тріщин, зародження яких відбувається у твердо-рідкій зоні виливку, запропоновано створювати дрібнозернисту макроструктуру сплаву шляхом нанесення ультрадисперсних модифікаторів SiC і TiCN на поверхневий шар форми.

Встановлено вплив вмісту вуглецю на критерій τ/R^2 при твердінні в кокоті циліндричних, плоских і кульових виливків в рідко-твердій, твердо-рідкій зонах і в інтервалі температур ліквідус-солідус. Визначені зони з максимальною тривалістю знаходження у твердо-рідкому стані при $x/R=1$, в яких утворюється усадкова пористість. Отримані результати дозволяють корегувати вміст хімічних елементів в сплаві у заданому інтервалі для зменшення усадкової пористості.

5. Цінність результатів для науки та практики

Результати роботи сприяють розвитку сучасної промислової технології лиття листота сортопрокатних валків шляхом підвищення їх якості. Одержали подальший розвиток комплексні дослідження закономірностей формування бездефектних масивних виливків.

Розроблено режими комбінованого електрошлакового обігріву надливів виливків чавунних прокатних валків з урахуванням інерційності процесу охолодження рідкого металу і живлення усадки через двофазову зону. Це забезпечує скорочення в 1,5-2,5 рази тривалості ЕШО надливу.

Розроблено регульований режим обігріву надливів виливків прокатних валків, який полягає у зменшенні максимальної сили току і напруги після досягнення межею виливання центру бочки валка.

До несумнівної практичної новизни слід віднести розроблений новий спосіб і пристрій контролю технологічного процесу ЕШО виливків і злитків з газодинамічним впливом на метал, що кристалізується. Закінчення обігріву встановлювали за відсутністю переміщення електроду у надлив.

Використання розроблених графоаналітичних залежностей дозволило: обґрунтувати розміщення кільцевого зовнішнього чавунного холодильника для прискорення кристалізації у нижній шийці порівняно з бочкою валка, зменшити усадкові дефекти у прокатних валках

нових типів за рахунок встановлення режимів ЕШО надливів і встановити час введення та масу графітизувального модифікатора у рідкий метал валка після затвердіння робочого шару чавуну з метою зменшення кількості цементиту і транскристалічності структури в осьовій зоні виливків.

Практична значимість роботи полягає і в тому, що результати теоретичних та експериментальних досліджень дозволили розробити і частково впровадити нові технологічні процеси лиття прокатних валків, а також розробити технологічні інструкції і технологічні рекомендації щодо попередження утворення гарячих тріщин у валках з литими калібрами. Нова технологія лиття прокатних валків із заевтектоїдної сталі 150ХНМ успішно апробована і режими комбінованого електрошлакового обігріву надливу для забезпечення спрямованого твердіння виливків впроваджені у виробництво.

Таким чином, результати розглянутої роботи забезпечують ливарне виробництво необхідною науково-практичною базою, що дозволило впровадити результати роботи у промисловість (акти впровадження результатів у вальцеливарному цеху АТ «ДЗПВ» м. Дніпро у 2015, 2016, 2017 роках).

Наукові результати роботи впроваджено в учбовий процес (акт Національної металургійної академії України від 23.01.2020 р).

6. Повнота відображення в опублікованих роботах наукових положень, висновків і рекомендацій

Дисертація є самостійною завершеною науковою працею, результати якої викладені грамотно і на високому рівні. Вона складається з 5 розділів, списку використаних джерел з 252-х найменувань та 9 додатків. Структура дисертації логічна і послідовна. Викладені у роботі матеріали досліджень добре проілюстровані 82-а рисунками та 18-ю таблицями, які виконані охайно і гарно сприймаються.

Зміст 55 наукових публікацій, у яких повною мірою відображені результати досліджень, а також автореферату ідентичні за змістом основним положенням, висновкам і рекомендаціям дисертації і не повторюють результатів кандидатської дисертації. Автореферат дисертації містить в собі всю необхідну інформацію для її оцінки. Робота відповідає вказаній спеціальності 05.16.04 – «Ливарне виробництво» виконана та оформлена згідно держстандартів України.

7. Рекомендації по використанню результатів дисертації

Враховуючи безумовну наукову та практичну значимість дисертації Меньяло О.В., вважаю необхідним рекомендувати її результати до подальшого впровадження на

підприємствах з вальцеливарним виробництвом, а також в наукових організаціях, які займаються аналогічною проблемою.

8. Загальні зауваження щодо змісту дисертації

Однак, не дивлячись на загальну позитивну оцінку дисертаційної роботи, є ряд недоліків, по яких можуть бути сформульовані наступні зауваження:

1. На протязі читання дисертації відчував, що первинне написання дисертації було російською мовою, а потім було зроблено машинний переклад. Тому зустрічаються як орфографічні помилки, так і русизми. Зокрема: «обсяг» - об'єм, «кордон» - межа, «погрішність» - похибка, «доля твердої фази» - частка твердої фази, «чад» - вигар, «шпаристість» - поруватість тощо.

2. Стор. 103, висновки до розділу 2. Незрозуміло, що означає «підведення струму через другу фазу». Термін фаза використовується в електриці і матеріалознавстві та має різні значення. Якщо це матеріалознавчий термін, то яка фаза перша?

3. Стор 114, 128 тощо. Використовується термін «електродуговий-електрошлаковий обігрів». Відомі терміни: електрошлаковий, електродуговий, дуго-шлаковий. Ці три терміни відрізняються поміж собою і означають різні за фізичним сенсом процеси. Чим від електрошлакової, електродугової та дуго-шлакової технологій відрізняється електродугова-електрошлакова технологія?

4. Стор. 155. Є результати дослідження проведені у ЦЗЛ ПАО «Енергомашспецсталь», про що вказано за текстом. Чи є посилання на це у списку літератури?

5. Стор. 145, підрозділ 3.5. Для обігріву надливу запропоновано використовувати висококремністі і високо- та середньо- манганові флюси АН-60 та АН-1, які використовуються для зварювання та наплавлення вуглецевих нелегованих і низьколегованих сталей, а для чавунів За літературними даними використовуються флюси систем: $\text{Ca-CaF}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$, $\text{CaO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$, $\text{CaO-CaF}_2\text{-FeO}$. Вважаю, що застосування флюсів АН-60 і АН-1 потребує додаткових пояснень. З яких міркувань їх обрано?

6. Стор.146. Температура плавлення флюсу АНФ-6 «перевищує температуру заливання чавуну на 80-120 °С». Тобто температура заливання складає 1300-1340 °С. А аналіз температур фазових перетворень (рис. 3.14, стор. 149) вказує на те, що флюс АН-60 закінчує плавитися при температурі 1305-1350 °С. Тобто за цим параметром він теж не підходить. Аналіз даних фазових перетворень проведено далеко не повністю. І чому немає порівняння впливу різних флюсів (АН-60 та АН-1) на процес твердіння вилівка?

7. Стор. 147. Табл. 3.4. Наведено склад флюсу АН-60, а згідно з ГОСТ 9087-81 вміст SiO_2 повинен бути у межах 42-46%, MnO -36-41%. Тому склад флюсу, що наведено у таблиці є

не стандартним і його властивості потрібно спершу вивчити, а потім використовувати.

9. Висновок щодо відповідності дисертації встановленим вимогам у цілому

У цілому дисертація Меняйло Олени Валеріївни становить собою самостійний завершений науковий труд, який виконано та оформлено згідно Держстандартів України.

Дисертація є вагомим внеском у розвиток теорії та технології чавунного лиття.

Робота містить науково обгрунтований експериментальний матеріал, що підтверджено впровадженням у виробництво розробок дисертації, а також достовірні, суттєві і чітко сформульовані висновки, які у сукупності можуть бути охарактеризовані як успішне вирішення наукової і практичної ливарної проблеми з розробки наукових основ перспективних технологій спрямованого твердіння масивних виливків із залізобуглецевих сплавів у комбінованих кокільно-піщаних формах», попередження дефектів усадкового походження у масивних виливках із залізо-вуглецевих сплавів для поліпшення якості прокатних валків.

Робота відповідає вказаній спеціальності 05.16.04 – «Ливарне виробництво».

Наведені зауваження не мають вирішального значення щодо формулювання наукової новизни та практичної цінності роботи і не впливають на загальну позитивну оцінку дисертаційної роботи. Дисертаційна робота О.В. Меняйло повністю відповідає вимогам п.9, 10 «Порядку присудження наукових ступенів, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 р. №567, а її автор Меняйло Олена Валеріївна за наукові і практичні результати, викладені в дисертаційній роботі, заслуговує присудження наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.16.04 – «Ливарне виробництво»

Офіційний опонент
професор кафедри ливарного виробництва
Національного технічного університету
України «Київський політехнічний
інститут імені Ігоря Сикорського»
д.т.н., доцент



Могилатенко В.Г.

Підпис доктора технічних наук, професора Могилатенка В.Г.

засвідчую

Підпис

ПІБ

Г.О. Ветрова