

ВІДГУК

офіційного опонента Пономаренко Ольги Іванівни на дисертацію

Семенова Олександра Дмитровича

«ВСТАНОВЛЕННЯ КІНЕТИКИ ФОРМУВАННЯ РІДКО-ТВЕРДОЇ ТА
ТВЕРДО-РІДКОЇ ЗОН У ВИЛИВКАХ ІЗ ЗАЛІЗОВУГЛЕЦЕВИХ СПЛАВІВ ТА
РОЗРІДЖЕННЯ В ТЕПЛОВИХ ВУЗЛАХ ВИЛИВКІВ»,

представленої на здобуття наукового ступеня доктора філософії по
спеціальності 136 «Металургія»

Актуальність обраної теми

Металургійна та машинобудівна промисловість забезпечують виробами із залізобуглецевих сплавів, широкий спектр галузей промисловості: будівельній індустрії, сільськогосподарському машинобудуванні, при виробництві автомобілів, тепловозів, прокатних станів, літаків та ін. Досить відзначити, що трактор, танк на $\approx 60\%$ складається з литих деталей, турбіна – на 70-80%, екскаватор і дизель на $\approx 80\%$, верстат – на 80-90%. Постійне підвищення цін на енергоресурси та металеву шихту обумовлюють скорочення обсягів виробництва. В дисертаційній роботі зменшити ці негативні наслідки пропонується підвищенням якості та експлуатаційних властивостей виливків за рахунок встановлення термочасових режимів твердіння металу в інтервалі температур кристалізації, розроблення режимів впливу на процес твердіння металу в ливарній формі і зменшення браку у виливках.

Таким чином, робота, що направлена на встановлення кінетики твердіння фронтів виливання, солідус та ліквідус, зміни рідко-твердої та твердо-рідкої зон по товщині вилівка та розробка режимів впливу на метал, який твердіє в ливарній формі та зменшення ливарного браку, є актуальною.

Оцінка структури та змісту дисертації

Дисертаційна робота складається зі вступу та основної частини з трьох розділів з висновком до кожного з них і списком використаних джерел,

Фронтів виливання
до редакції
вченої ради ІФ
Солюба СВР
04.12.2023р.
спеціалізований
08.04.2024
Ніжин К.Г.

загальних висновків і додатків. Загальний обсяг дисертаційної роботи викладено на 157 сторінках машинописного тексту, з яких 132 сторінки основного тексту, містить 43 рисунки, 3 таблиці і 3 додатки.

Повнота викладення результатів досліджень в опублікованих працях

За результатами виконаних досліджень опубліковано 17 друкованих праць, в тому числі: у 2 виданнях, що індексуються у базі даних Scopus на англійській мові; у 4 фахових виданнях; у 3 патентах України на винахід; 1 видання, що не входить до переліку фахових; у 7 тезах доповідей на міжнародних науково-технічних та науково-практичних конференціях, одна з яких за кордоном.

Розділи дисертації висвітлено в опублікованих працях Семенова О. Д. згідно номерам, наведеним у списку дисертації:

- Розділ 1 – фахові №3, №5, №6; доповіді на конференціях №16.
- Розділ 2 – Scopus №2; не фахові №7; патент №8, №9; в доповіді на конференціях №13, №14, №15.
- Розділ 3 - Scopus №1, фахові №4; патент №10; в доповіді на конференціях №11, №12, №17.

Аналіз наукових результатів дисертації

Перший пункт наукової новизни: «Вперше теоретично визначено вплив хімічного складу залізовуглецевих сплавів у діапазоні 0,04...4,83 %C на кінетику просування фронтів твердіння виливання, солідус і ліквідус у циліндричних виливках за параметричним критерієм τ/R^2 і відносним розміром x/R , що дозволило встановити тривалість находження розплаву у рідко-твердій і твердо-рідкій зонах в процесі твердіння від поверхні до центру виливків різних розмірів, що охолоджуються у кокілі».

В дисертації автор базує свою роботу на експериментальних дослідженнях наукової школи Б.Б. Гуляєва по твердінню сплавів системи Fe-C без домішок інших хімічних елементів, в яких суміщено процес вимірів температури, виливання рідкого залишку металу та введення радіоактивних

ізоотопів W^{185} , Ag^{110} , Ca^{45} , Co^{60} , Zn^{65} , Zr^{94} . За такою методикою встановлено твердіння сплавів Fe-C з вмістом вуглецю 0,04%, 0,10%, 0,40%, 0,93%, 1,42%; 2,44%, 3,28%, 4,45%, 4,83%, але відсутні дані про кінетику процесу твердіння для всього діапазону хімічних складів.

Автор виконав оцифровку дев'яти експериментальних досліджень твердіння циліндричних виливків за допомогою програми AutoCAD 2010, отримав масив даних в координатах відносної товщини затверділого шару металу x/R і параметричного критерію τ/R^2 . Після чого дисертант, за допомогою інтерполяції, побудував графіки кінетики твердіння границь виливання, солідус та ліквідус для діапазону хімічних складів 0,04 ... 4,83%С.

Завдяки цьому автор встановив вплив вмісту вуглецю на параметричний критерій Б.Б.Гуляєва (τ/R^2) процесу твердіння фронту виливання (стор. 41, рис. 1.7), солідус (стор. 35, рис. 1.5) і ліквідус (стор. 43, рис. 1.8), що раніше не було відомо. Отримані результати дозволяють розрахувати масу рідкої та рідко-твердої зон металу, встановити масу графітізуючого модифікатора для ведення в осьову зону виливка і підвищити його фізико-механічні властивості.

На прикладі лиття валків із заєвтектоїдних сталей, які поступово замінюють валки ковані, автор вперше побудував по отриманим результатам кінетичні криві твердіння сталі з 1,80% С (стор. 57, рис. 1.16) і запропонував методику розрахунку часу і маси введення алюмінію (1,357 кг, стор. 58) в осьову зону валків різних розмірів відповідно до кількості рідкої та рідко-твердої фаз, які залишаються після твердіння робочого шару у бочці масою 2080 кг.

Вперше побудовано кінетику твердіння сталей з вмістом вуглецю 0,20%, 0,25%, 0,45%, 0,55%, 0,80%, 1,20%, 1,80% (стор. 46-55) за отриманими результатами твердіння фронту виливання (стор. 41, рис. 1.7), солідус (стор. 35, рис. 1.5) і ліквідус (стор. 43, рис. 1.8) і наведено приклади їх практичного використання для розробки технології підвищення властивостей виливків.

Отримані за експериментальними дослідженнями розрахунки кінетики просування фронтів твердіння ліквідус, солідус і виливання рідкого металу від

поверхні до центру виливків за параметричним критерієм τ/R^2 і відносним розміром x/R автор рекомендує використовувати для оцінки точності комп'ютерного моделювання процесів затвердіння сплавів Fe-C і подальшої адаптації математичних моделей завдяки корегуванню теплофізичних коефіцієнтів для металу виливків і матеріалу ливарної форми.

Другий пункт наукової новизни: «Вперше розрахунок процесу графітизуючого модифікування алюмінієм осьової зони чавунних прокатних валків встановлено по кількості рідкої та рідко-твердої фаз, що залишаються після твердіння робочого шару в бочках та шийках валків різних розмірів, розподілу алюмінію по висоті і радіусу виливків при відцентровому обертанні алюмінію в осьовій зоні».

Раніше при розрахунку шару затверділого металу по температурі солідус було неможливо точно встановити об'єм рідкого металу в осьовій зоні шийок і бочки валка, що унеможливило встановлення маси графітизуючого модифікатора. Відомо, що підвищення вмісту алюмінію (графітизатора) в чавуні більше 0,1% призводить до появи газових раковин у виливках. Саме тому автор наголошує на важливості точності розрахунку маси рідкого та рідко-твердого металу в осьовій зоні прокатного валка, що приведено на стор. 82-83.

Крім того, в відомих конструкціях ливарної форми розміщення алюмінію в нижній частині виливка не забезпечувало його швидке спливання і проникнення до робочого шару бочки (стор. 78, рис. 2.3; стор. 80, рис. 2.5). Автор запропонував виконувати розподіл алюмінію по висоті валка, а розплавлення і переміщення модифікатора - за рахунок обертання електричним двигуном (стор. 83, рис. 2.6).

Практичне випробування розробки виконано при литті валка з чорною масою 1619 кг в умовах ливарного цеху (стор. 90, рис. 2.10), що дозволило усунути транскристалічність, зменшити кількість цементиту в осьовій зоні і відправити валок замовнику для експлуатації на прокатному стані. Після

механічної обробки дослідних валків відбілений робочий шар лише на $\approx 8\%$ більше у порівнянні з розрахунком по границі виливання, що підтверджує доцільність прийнятої методики, а в подальшому розробити нові способи виготовлення біметалевих валків за рахунок фізико-механічного впливу на рідко-тверду зону..

Третій пункт наукової новизни: «Вперше експериментально визначено та уточнено, що причиною появи на поверхні вилівка ливарного дефекту «утяжина» є розрідження в усадковій раковині теплового вузла в потовщеній частині вилівка поблизу дефекту і зсідання металу на частині поверхні вилівка з меншою міцністю».

В теорії ливарних процесів причини виникнення утяжини раніше не пов'язували з утворенням теплового вузла, усадкової раковини і розрідження.

Автор припустив, що причиною виникнення утяжин є формування в масивних частинах вилівка теплових вузлів, з центру яких розплав фільтрується для живлення усадки на всі найближчі поверхні вилівка. При переміщенні розплаву з теплового вузла в його центрі утворюється усадкова раковина та розрідження. Тому атмосферний тиск призводить до втягування і викривлення затверділого шару металу на частині поверхні вилівка з меншою міцністю.

Вперше досліджено кінетику утворення розрідження в усадковій раковині вилівка у формі куля $\varnothing 120$ мм (стор. 120, рис. 3.8) та процес твердіння центру кулі (стор. 121, рис. 3.9) у піщано-глинистій формі. Зміна різниці рівня висоти водяних стовпів у U-образному водяному манометрі в центрі усадкової раковини вилівка підтверджує наявність розрідження, а на вилівку після охолодження зафіксовано утворення утяжини у верхній частині (стор. 123, рис. 3.10).

Експериментально отримані результати дозволили автору скорегувати діючий термін в ДСТУ 9051:2020 Виливки з чавуну і сталі. Дефекти. Терміни та визначення. з «Утяжина – дефект у вигляді заглибини із закругленими краями

на поверхні виливка, яка утворилася внаслідок зсідання металу під час твердіння» на «Утяжина – дефект у вигляді заглибини із закругленими краями на поверхні виливка, який формувався поблизу теплового вузла і усадкової раковини, де виникає розрідження і зсідання металу на частині поверхні виливка з меншою міцністю».

Четвертий пункт наукової новизни: «Вперше попередження утворення «утяжин» у виливках здійснено при з'єднанні усадкової порожнини термічного вузла виливка з атмосферою навколишнього середовища по тонкій трубчастій голці, температура плавлення якої більша за температуру рідкого металу, що заливають у форму».

Раніше утворення «утяжин» у фасонних виливках з різною товщиною стінки зменшували встановленням зовнішніх і внутрішніх охолоджувачів, стрижнів, але у виливках з невеликими розмірами зробити стрижень, який відображує конфігурацію внутрішньої поверхні, та закріпити його у порожнині форми технологічно важко. Автор запропонував виконувати усунення утяжин у фасонних і художніх виливках зі збільшеною товщиною стінки встановленням голки медичної трубчастої, один кінець якої розміщують в центрі теплового вузла, другий закріплюють в стінці ливарної форми з боку неробочої поверхні виливка і з'єднують з атмосферою. Це забезпечує вирівнювання тиску в усадковій раковині з атмосферним і попереджує умови виникнення утяжини. За даним науковим положенням автор отримав патент України (стор. 134, рис. 3.16) № 127278 «Спосіб усунення утяжин у виливках з потовщеними частинами стінки».

Як правильно відмічає автор, усадкова раковина і пористість в середині виливка залишаються, але для художніх і ювелірних виливків це не ознака браку на відміну від високих вимог до точності форми поверхні таких литих виробів. Крім того, знання причини утворення ливарного дефекту «утяжина» дозволить технологам-ливарникам розробити методи усунення усадкових

раковин, які знаходяться в теплових вузлах, і отримати бездефектні фасонні виливки.

Практична значимість:

1. Розроблено рекомендації по підвищенню експлуатаційних властивостей чавунних прокатних валків за рахунок графітуючого модифікування рідкої та рідко-твердої зон вилівка після твердіння робочого шару, який розраховували по границі виливання за встановленими формулами.

2. Рекомендовано результати розрахунків кінетики просування від поверхні до центру вилівка фронтів твердіння солідус, виливання і ліквідус у циліндричних виливках за параметричним критерієм τ/R^2 і відносним розміром x/R використовувати для оцінки точності комп'ютерного моделювання процесів твердіння сплавів Fe-C і подальшого корегування теплофізичних коефіцієнтів, які прийняті в розрахунках.

3. Запропоновано для усунення ливарного дефекту «утяжина» в виливках зі стінками різної товщини установлювати в центр усадкової раковини голку медичну із аустенітної неіржавіючої сталі, а другий кінець голки з'єднати з атмосферним повітрям і розміщувати в ливарній формі з боку не робочої поверхні, що недоступна для огляду і не порушує естетичний вид вилівка. Розроблені рекомендації захищені патентом України № 127278 «Спосіб усунення утяжин у виливках з потовщеними частинами стінки».

4. Впроваджено результати дисертаційної роботи в учбовий процес кафедри ливарного виробництва ННІ ІПБТ Українського державного університету науки та технологій (акт від 03.05.2023 р.).

5. Прийнято для впровадження рекомендації щодо зміни в ДСТУ 9051:2020 (Виливки з чавуну і сталі. Дефекти. Терміни та визначення) діючого терміну "Утяжина – дефект у вигляді заглибини із закругленими краями на поверхні вилівка, яка утворилася внаслідок зсідання металу під час твердіння" на скорегований за результатами роботи: "Утяжина – дефект у вигляді заглибини із закругленими краями на поверхні вилівка, який формувався

поблизу теплового вузла і усадкової раковини, де виникає розрідження і зсідання металу на частині поверхні вилівка з меншою міцністю" (акт від 24.04.2023 р. Технічного комітету стандартизації 177 «Ливарне виробництво»). Акти впровадження наведені у Додатку В (стор. 156) та Додатку Г (стор. 157).

Відповідність змісту дисертації спеціальності

Дисертаційна робота Семенова О. Д. «Встановлення кінетики формування рідко-твердої та твердо-рідкої зон у виливках із залізвуглецевих сплавів та розрідження в теплових вузлах виливків», за своїм змістом відповідає паспорту спеціальності 136 «Металургія».

Зауваження по дисертаційній роботі

По дисертаційній роботі можна зробити наступні зауваження:

1. В розділі 1.2.2 наведена схема формування кристалічної структури і просування ділянки твердіння. Але як встановити розмір зони мікроскопічних переміщень автор не вказав.

2. На рис. 1.5 наведено графік «Вплив вмісту вуглецю на параметричний критерій Б.Б.Гуляєва (τ/R^2) при твердінні в кокілі 100% твердої фази...». Я розумію, що графік побудовано по 9 експериментальним вимірам, але чим пояснити мінімум тривалості твердіння при вмісті вуглецю $\approx 0,4\%$?

3. В розділі 3 наведено спосіб попередження утворення утяжин у художніх виливках. А як усунути утяжину у виливку зі сталі, адже голка трубчаста із аустенітної неіржавіючої сталі вигнеться при заливанні форми перегрітим металом?

4. В розділі 1 дисертант оцифрував експериментальні результати і отримав масив даних в координатах відносної товщини вилівка x/R та параметричного критерію τ/R^2 . Але вважаю, що доцільно було по графікам автора рис. 1.5, 1.7 та 1.8 розробити математичну модель розрахунку кінетики твердіння, яку в подальшому можливо використовувати в сучасних програмах комп'ютерного моделювання ливарних процесів.

Однак, зроблені зауваження не знижують загальної позитивної оцінки дисертації.

Загальний висновок та оцінка роботи

Дисертаційна робота Семенова Олександра Дмитровича на тему «Встановлення кінетики формування рідко-твердої та твердо-рідкої зон у виливках із залізовуглецевих сплавів та розрідження в теплових вузлах виливків» є завершеним науково-прикладним дослідженням, виконаним на високому науковому рівні та відповідає вимогам, передбаченим «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії» (затвердженого постановою Кабінету Міністрів України №44 від 12 січня 2022 р.), положенням Вимог до оформлення дисертації (затверджених наказом Міністерства освіти і науки України №40 від 12 січня 2017 р.), а здобувач Семенов Олександр Дмитрович заслуговує на присудження **наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 136 – «Металургія».**

Офіційний опонент:

професор кафедри ливарного виробництва

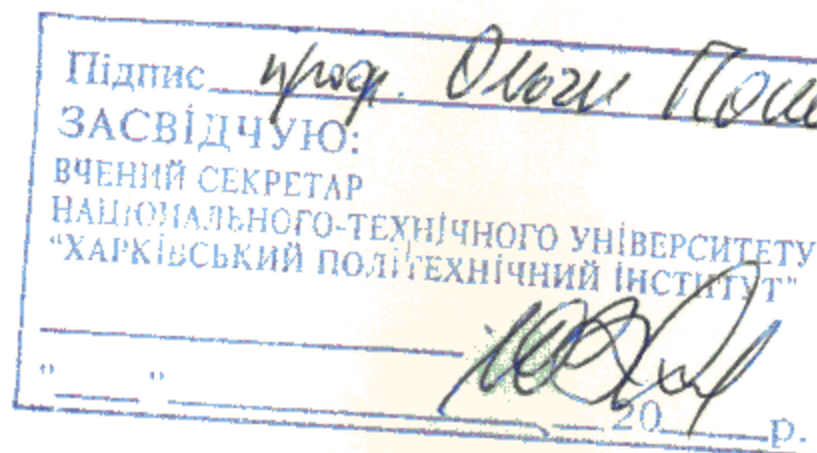
Національного технічного університету

«Харківський політехнічний інститут»

доктор технічних наук, професор



Ольга ПОНОМАРЕНКО



ЗАЦЕВ Ю.І.