

## **Висновок**

### **про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів дисертації**

**Семенова Олександра Дмитровича**

за темою «Встановлення кінетики формування рідко-твердої та твердо-рідкої зон у виливках із залізовуглецевих сплавів та розрідження в теплових вузлах виливків»,

поданої на здобуття наукового ступеня доктора філософії  
за спеціальності 136 – «Металургія»

Дисертаційна робота Семенова Олександра Дмитровича узагальнює теоретичні уявлення процесів формування виливків і керування процесами їх затвердіння у рамках рішення науково-технічної задачі встановлення кінетики твердіння фронтів виливання, солідус і ліквідус по товщині виливків із залізовуглецевих сплавів, що охолоджуються в кокілі і виливниці, розробки режимів впливу на твердіння металу в осьовій зоні виливків, встановлення причин появи ливарного дефекту «утяжина» і розробленні рекомендацій його попередження.

### **Актуальність роботи**

Значна частина фізико-механічних властивостей у виливках утворюється при твердіння в інтервалі температур ліквідус-солідус, де співіснує рідка фаза в центрі, рідко-тверда зона, яка зберігає рідкотекучість, і твердо-рідка частина, що складається з зони локальних переміщень, в якій реалізується фільтрація розплаву між гілками дендритної фази, і зони мікроскопічних переміщень, в якій утворюється усадкова пористість. Температури ліквідус і солідус значної частини сплавів відомі, але кінетика зміни рідко-твердої та твердо-рідкої зон по товщині виливка, положення границі виливання між цими зонами відомі тільки для окремих залізовуглецевих сплавів.

Відсутність даних про розміри і тривалість находження сплавів Fe-C у рідко-твердому та твердо-рідкому стані не дозволяє регулювати процеси твердіння осьових зон виливків для покращення їх макро- і мікроструктури. Крім того, при твердінні металу в інтервалі температур ліквідус-солідус у виливках виникає значна частина браку: усадкові раковини та пористість, гарячі тріщини, пригар, ливарні напруги, утяжини та інші. Попередити утворення дефектів та розробити рекомендації по їх зменшенню допоможе знання про кінетику твердіння сплавів Fe-C.

Таким чином, робота, що направлена на встановлення кінетики твердіння фронтів виливання, солідус та ліквідус, зміни рідко-твердої та твердо-рідкої зон по товщині вилівка, розроблення режимів впливу на метал в осьовій зоні вилівка в процесі твердіння, визначення причини появи ливарного дефекту «утяжина» та попередження її утворення, є актуальною.

### **Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами**

Виконання дисертаційної роботи пов'язано з тематичними планами наукових досліджень кафедри «Ливарного виробництва» Українського державного університету науки і технологій. Робота є результатом закінченого циклу науково-дослідних робіт, що проводилися кафедрою ливарного виробництва Українського державного університету науки та технологій (раніше - Національної металургійної академії України) ДР 0121U109531. Автор дисертації був виконавцем цієї роботи.

### **Наукова новизна отриманих результатів**

Положення наукової новизни дисертації полягають у наступному:

1. 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  $\tau/R^2$  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.

Експериментальні дослідження кінетики виливання рідкого залишку, що поєднані з введенням радіоактивних ізотопів і об'єднані з вимірами процесу твердіння виливків, відомі тільки при вмістах вуглецю 0,04%; 0,10%; 0,40%; 0,93%; 1,42%; 2,44%; 3,28%; 4,45% та 4,83%, але відсутні дані про кінетику процесу твердіння для всього іншого діапазону хімічних складів. Отримані криві кінетики твердіння залізовуглецевих сплавів у діапазоні 0,04...4,83 %C дозволяють розрахувати масу рідкої та рідко-твердої зон металу і встановити масу модифікатора для ведення в осьову зону виливка, що підвищує його фізико-механічні властивості.

2. Вперше розрахунок процесу графітізуючого модифікування алюмінієм осьової зони чавунних прокатних валків здійснено 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 по температурі солідус шару затверділого металу було неможливо точно встановити об'єм рідкого металу в осьовій зоні шийок і бочки валка, що унеможливило точний розрахунок маси графітізуючого модифікатора, а розміщення алюмінію в нижній частині виливка не забезпечувало його швидке спливання і проникнення до робочого шару бочки. Отримані результати виконання процесу графітізуючого модифікування дозволять усунути утворення карбідів і карбідної сітки в осьовій зоні прокатних валків, підвищити їх експлуатаційні властивості, а в подальшому розробити нові способи виготовлення біметалевих валків за рахунок фізико-механічного впливу на рідко-тверду зону.

3. Вперше експериментально визначено та уточнено, що причиною появи на поверхні виливка ливарного дефекту «утяжина» є розрідження в

усадковій раковині теплового вузла в потовщеній частині виливка поблизу дефекту і зсідання металу на частині поверхні виливка з меншою міцністю.

Виникнення утяжини раніше не пов'язували з утворенням теплового вузла і усадковою раковиною. Отримані результати дозволяють скорегувати діючий термін в ДСТУ 9051:2020. 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».

4. 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 температуру рідкого металу, що заливають у форму.

Раніше утворення «утяжин» у художніх виливках зменшували встановленням стрижня, але у виливках з невеликими розмірами зробити стрижень, який відображує конфігурацію внутрішній поверхні художнього виробу, та закріпити його у порожнині форми технологічно важко. Усунення утяжин у фасонних і художніх виливках зі збільшеною товщиною стінки забезпечує встановлення 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.

### **Практичне значення роботи**

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

2. Рекомендовано результати розрахунків кінетики просування від поверхні до центру виливка фронтів твердіння солідус, виливання і ліквідус у циліндричних виливках за параметричним критерієм  $\tau/R^2$  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 виливка. 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 виливка, яка утворилася внаслідок зсідання металу під час твердіння" на скорегований за результатами роботи: "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" (акт від 24.04.2023 р. Технічного комітету стандартизації 177 «Ливарне виробництво»).

### **Повнота викладу результатів роботи в наукових фахових виданнях**

Основні результати досліджень викладено в дисертації і опубліковано у 17 друкованих працях, 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.

### **Перелік робіт, в яких опубліковано основні результати дисертації**

*Статті у виданнях, що включені до міжнародних науково-метричних баз (Scopus) та Web of Science:*

1. V. Khrychikov, O. Semenov, H. Meniailo, Y. Aftandiliants, S. Gnyloskurenko. The Process of Vacuum Formation in the Shrinkage Cavity at Castings Crystallization. *Archives of Foundry Engineering*. Vol. 2022, Issue 4, 2022, P. 79-84. [The Katowice Branch of the Polish Academy of Sciences](https://www.katowice.pan.olsztyn.pl/). Scopus. DOI: [10.24425/afe.2022.143953](https://doi.org/10.24425/afe.2022.143953).

2. V.E. Khrychikov, H.V. Meniailo, O.D. Semenov, Y.G. Aftandiliants, S.V.Gnyloskurenko. Graphitizing modification of the axial zone of cast iron rolling rolls in the liquidus-solidus temperature range. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*. Dnipro, Ukraine. 2023, № 1. P. 67-73. Scopus. <https://doi.org/10.33271/nvngu/2023-1/067>

*Статті у наукових фахових виданнях:*

3. Семенов О.Д., Хричиков В.Є., Куцова В.З., Меньяйло О.В. Розрахунок кінетики просування фронту твердіння ізосолідус залізовуглецевих сплавів у кокільних циліндричних формах. *Процеси лиття*. 2021. № 2 (144). С. 31-38. <https://doi.org/10.15407/plit2021.02.023>.

4. Хричиков В.Є., Семенов О.Д., Меньяйло О.В., Шалевська І.А., Мьяновська Я.В. Усунення утяжини у художніх виливках з різною товщиною стінки. *Процеси лиття*. 2021. № 4 (146). с. 14-21. <https://doi.org/10.15407/plit2021.04.014>.

5. Семенов О.Д., Хричиков В.Є., Меньяйло О.В., Афтандилянц Є.Г., Гнилокурєнко С.В. Вплив вмісту вуглецю на тривалість твердіння фронту

ізолеквідус сплавів Fe-C у кокільних циліндричних формах. *Теорія і практика металургії*. 2022. №3. с. 57-62. [https://nmetau.edu.ua/file/zh\\_03\\_2022\\_site.pdf](https://nmetau.edu.ua/file/zh_03_2022_site.pdf)

6. Семенов О.Д., Іванова Л.Х. Розрахунок процесу модифікування осьової зони прокатних валків із заевтектоїдної сталі з вмістом вуглецю 1,80%. *Теорія і практика металургії*. 2022. № 6 (137). С. 5-12. [https://nmetau.edu.ua/file/zh\\_06\\_2022\\_v1.pdf](https://nmetau.edu.ua/file/zh_06_2022_v1.pdf)

*Статті у виданнях, що не входять до переліку фахових:*

7. Семенов А.Д. Влияние кремния на формирование зародышей шаровидного графита в чугунах. *Металлургическая и горнорудная промышленность*. 2015. № 4. С. 53-55. [http://nbuv.gov.ua/UJRN/MGRP\\_2015\\_4\\_15](http://nbuv.gov.ua/UJRN/MGRP_2015_4_15)

*Патенти України на винахід:*

8. Чавун для прокатних валків. Патент України № 116726. Іванова Л.Х., Колотило Є.В., Хричиков В.Є., Семенов О.Д. МПК7 С22С 37/08, С22С 37/10, заявл. 29.11.16. власник НМетАУ; опубл.25.04.18, Бюл. № 8. 4с. <https://base.uipv.org/searchINV/search.php?action=viewdetails&IdClaim=246236&chapter=description>

9. Чавун. Патент України № 116725. Іванова Л.Х., Колотило Є.В., Хричиков В.Є., Семенов О.Д. МПК7 С22С 37/10, заявл. 29.11.16. № а201612102; власник НМетАУ; опубл. 25.04.18, Бюл. № 8. 4с. <https://base.uipv.org/searchINV/search.php?action=viewdetails&IdClaim=246235>

10. Спосіб усунення утяжин у виливках з потовщеними частинами стінки. Патент України № 127278. Хричиков В.Є., Семенов О.Д., Меньяло О.В. (in Ukrainian). Дата подання заявки 09.03.2021. МПК (2021.01) В22D 27/13 (2006.01), В22D 25/00. Опубл. 05.07.2023, Бюл. №27. <https://base.uipv.org/searchInvStat/showclaimdetails.php?IdClaim=336807&resId=1>

*Тези доповідей міжнародних науково-технічних та науково-практичних конференцій:*

11. Семенов О.Д., Куцова В.З., Хричиков В.Є. Технологічні особливості формування утяжин у фасонних виливках. Збірник тез Міжнародної науково-

технічної конференції «Литво-2021». *XVII міжнародна науково-практична конференція «Литво-2021». X міжнародна науково-практична конференція «Металургія-2021». 18-20 травня. Запоріжжя. Козак-Палац. с. 175.* [https://nmetau.edu.ua/file/lite.\\_metallurgiya.\\_2021.pdf](https://nmetau.edu.ua/file/lite._metallurgiya._2021.pdf)

12. A. D. Semenov. Removal of shrinkage depression in art castings with different wall thickness. *15th INTERNATIONAL SYMPOSIUM OF CROATIAN METALLURGICAL SOCIETY. SHMD '2022, Croatia, Zagreb, March 22nd – 23rd 2022.* pg. 564. <https://hrcak.srce.hr/file/386178>

13. Семенов О.Д. Теплофизические процессы ввода ФС75 в чугуны, модифицированный магнием. Збірник тез Міжнародної науково-технічної конференції Литьє-2015. *XI международная научно-практическая конференция. IV международная научно-практическая конференция Металлургия 2015. 26-28 мая. Запорожье. Козак-Палац. с. 215-216.* <https://repository.kpi.kharkov.ua/bitstreams/85d00a37-3e22-4cb5-a07b-099df25cae4a/download>.

14. Хричиков В.Є., Меньяло О.В., Семенов О.Д. Твердофазне гідродинамічне модифікування Fe-C сплавів. Збірник тез. *XV Міжнародна науково-технічна конференція «Неметалеві вкраплення і гази у ливарних сплавах». Запоріжжя, 11–12 жовтня 2018 р. ЗНТУ. 2018. С. 67-68.* [http://eir.zp.edu.ua/bitstream/123456789/4347/4/Conf\\_non\\_metallic\\_inclusions\\_2018.pdf](http://eir.zp.edu.ua/bitstream/123456789/4347/4/Conf_non_metallic_inclusions_2018.pdf).

15. Семенов О.Д. Тепловые эффекты ввода магния в чугуны, для поглощения шаровидной формы графита. Материалы XII Международной научно-практической конференции «Литьё. Металлургия. 2016». 24-26 мая. Запорожье. ЗТПП. С. 445-446. [https://repository.kpi.kharkov.ua/bitstream/KhPI-Press/30304/1/Litye\\_Metallurgiya\\_2016.pdf](https://repository.kpi.kharkov.ua/bitstream/KhPI-Press/30304/1/Litye_Metallurgiya_2016.pdf).

16. Семенов О.Д., Хричиков В.Є. Анализ кинетических кривых затвердевания с целью определения продолжительности затвердевания отливок из Fe-C сплавов. *Перспективні технології, матеріали та обладнання у ливарному виробництві: матеріали VI Міжнародної науково-технічної*



конференції, 25–28 вересня 2017 р. / ред. А. М. Фесенка, М. А. Турчаніна. Краматорськ: ДДМА, 2017. С. 112-114. <http://www.dgma.donetsk.ua/docs/kafedry/tolp/publication/tolpkonf/%D0%A2%D0%B5%D0%B7%D0%B8%D1%81%D1%8B2017.pdf>.

17. Хричиков В.Є., Семенов О.Д., Іванова Л.Х., Меньяло О.В., Афтанділянц Є.Г., Гнилокурєнко С.Г. Обговорення доцільності корегування терміну утяжина в ДСТУ:2020. Литво. Металургія. 2023: Матеріали ХІХ Міжнародної науково-практичної конференції (10-12 жовтня 2023 р., м. Харків - м. Київ) / Під заг. ред. д.т.н., проф. Пономаренко О.І. – Харків, НТУ «ХПІ». С. 220-221. <https://doi.org/10.15407/foundry-metallurgy-2023>.

Виходячи з аналізу вищенаведених робіт, можна зробити висновок про успішне виконання встановлених вимог щодо необхідної кількості наукових публікацій перед представленням дисертаційної роботи Семенова О. Д. до захисту. також про достатню повноту висвітлення наукових та практичних результатів в опублікованих матеріалах.

Подана дисертаційна робота характеризується цілісністю та логічною побудовою, написана грамотною технічною мовою, зміст чіткий та зрозумілий. Зміст викладений з використанням сучасних технічних термінів. Назва та оформлення дисертації відповідають встановленим вимогам.

Дисертаційна робота відповідає профілю спеціальності 136 Металургія і не містить додаткової інформації, що може стати предметом винаходу або відкриття, а також матеріалів незакінчених науково-дослідних робіт.

1. Семенов О.Д. є науковим працівником, здатним самостійно ставити та розв'язувати складні науково-технічні задачі, проводити наукове узагальнення одержаних результатів, який постійно підвищує свій професійний рівень.

2. Аналіз дисертаційної роботи та опублікованих ним робіт дозволяє зробити висновок про те, що дисертаційна робота Семенова О.Д. є самостійною та закінченою працею, у якій розв'язана науково-технічна задача, що має актуальне значення для розвитку технології металургійних процесів. Наукова і

практична цінність розробок, новизна рішень, обґрунтованість та значущість висновків дозволяють вважати, що дисертаційна робота Семенова О.Д. відповідає сучасним вимогам до дисертацій на здобуття наукового ступеня доктора філософії.

3. Дисертація Семенова Олександра Дмитровича за матеріалами закінченої дисертаційної роботи на тему: «Встановлення кінетики формування рідко-твердої та твердо-рідкої зон у виливках із залізовуглецевих сплавів та розрідження в теплових вузлах виливків», що представляється на здобуття вченого ступеня доктора філософії, є завершеною науково-дослідницькою роботою, у якій отримано нові науково обґрунтовані теоретичні та експериментальні результати, котрі в сукупності є суттєвими для розв'язання актуальної задачі – встановлення кінетики твердіння фронтів виливання, солідус та ліквідус, зміни рідко-твердої та твердо-рідкої зон по товщині вилівка та розробки режимів дії на метал в осьовій зоні вилівка в процесі твердіння, встановлені причин появи ливарного дефекту «утяжина» і розроблені рекомендації для його попередження.

Це дозволяє оцінити дисертацію «Встановлення кінетики формування рідко-твердої та твердо-рідкої зон у виливках із залізовуглецевих сплавів та розрідження в теплових вузлах виливків» такою, що відповідає вимогам на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 136 «Металургія», і є завершеним науковим дослідженням, що відповідає вимогам, викладеним у постанові КМУ від 12 січня 2022 р. № 44 «Порядок присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії».

Рекомендувати дисертацію Семенова Олександра Дмитровича «Встановлення кінетики формування рідко-твердої та твердо-рідкої зон у виливках із залізовуглецевих сплавів та утворення розрідження в теплових вузлах виливків» до захисту в разовій спеціалізованій вченій раді Українського

державного університету науки та технологій на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальності 136 Металургія.

Резолютивна частина висновку та рекомендація дисертації до розгляду і захисту схвалені учасниками семінару одногосно.

Керівник міжкафедрального наукового семінару  
Українського державного університету  
науки та технологій,  
професор, доктор технічних наук



В.Ю. Селівьорстов