

А.С. Нурадінов, д-р техн. наук, пров. наук. співроб.;

e-mail: nla_73@ukr.net; ORCID 0000-0002-7286-8648;

О.В. Ноговіцин, д-р техн. наук, зав. відділу;

e-mail: alexey.nogovitsyn@gmail.com; ORCID 0000-0003-2929-5300

О.Л. Гончаров, канд. техн. наук, старш. наук. співроб.;

e-mail: alexqoncharov51@qmail.com;

І.А. Нурадінов, д-р філософії, мол. наук. співроб.;

e-mail: inuradinov@gmail.com; ORCID 0000-0001-8916-5247

О.В. Чистяков, аспірант, e-mail: chistyakov1971@gmail.com;

ORCID: 0000-0002-7119-3562

Н.Ф.Зубеніна, головний технолог відділу;

e-mail: zubeninanina50@qmail.com

Фізико-технологічний інститут металів та сплавів НАН України (Київ, Україна)

МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ПЕРЕГРІВУ НА ПЕРЕОХОЛОДЖЕННЯ МЕТАЛІВ ТА ЇХ СПЛАВІВ

Робота присвячена розробці методики фізичного моделювання для вивчення впливу перегріву розплавів металів на їх переохолодження перед кристалізацією, адже плавлення та кристалізація є важливими технологічними процесами для одержання якісних литих заготовок. Оскільки процеси, пов'язані з розливкою металів та їх сплавів, протікають при дуже високих температурах, є непрозорими та іноді відбуваються в агресивному середовищі, безпосереднє вивчення таких процесів надзвичайно ускладнене. У зв'язку з цим для проведення даних досліджень ми застосували метод фізичного моделювання і як об'єкти вивчення використали низькотемпературні металеві сплави та органічні сполуки. Для проведення досліджень було створено спеціальну експериментальну установку та розроблено методику фізичного моделювання. На початку експериментів із кожного модельного сплаву на електронних вагах (із точністю зважування 0,01 г) готували по три дослідних зразки однакової маси. Для забезпечення абсолютної ідентичності умов плавлення й кристалізації модельних сплавів усі три дослідних зразки одночасно поміщали в камеру, у якій їх поступово нагрівали для розплавлення та перегріву. Після відповідної витримки розплаву в перегрітому стані його охолоджували до температури утворення зародків, яку фіксували за допомогою термопар. Сигнал від термопар у вигляді абсолютних значень температур у цифрах та температурних кривих охолодження розплавів дослідних середовищ спостерігали на екранах потенціометра й ноутбука. Величину переохолодження розплаву, при якому в них відбувається зародження кристалів, визначали за характерними ознаками на температурній кривій охолодження модельного середовища — появі плат на них через виділення тепла кристалізації. Прозорі модельні середовища дозволяли спостерігати за зародженням кристалів ще й візуально. У результаті проведених досліджень встановлено, що вплив перегріву на переохолодження досліджених сплавів, найімовірніше, зумовлений зміною концентрації обмежено розчинних домішок. Таке припущення ґрунтується на тому, що розчинення домішок у розплаві будь-якого металу відбувається внаслідок дифузії, що є відносно тривалим у часі процесом, і для отримання більшої однорідності розплаву металу необхідно або підвищити температуру його перегріву, або забезпечити його тривалішу витримку в перегрітому стані. Зрештою, результати

проведених досліджень підтвердили ці припущення, коли з підвищенням ступеня розчинення домішок змінюється переохолодження модельних розплавів, при якому відбувається зародження кристалів, що, найімовірніше, зумовлено зміною їх фізико-хімічних властивостей.

Ключові слова: модельні сплави, розплав металу, температура перегріву, переохолодження, обмежено розчинні домішки, зародження кристалів.

Вступ

Споживчі та спеціальні властивості кінцевої металопродукції визначаються переважно характеристиками первинної кристалічної структури заготовок на стадії їх лиття. Щоб керувати процесом структуроутворення литих заготовок, необхідно вміти впливати на зародження й зростання кристалів у розплавах металів, що тверднуть. Важливим параметром, який суттєво впливає на зародження та зростання кристалів і, відповідно, на структуру литих заготовок, є переохолодження (Δt^-) розплаву металу перед кристалізацією. Тому проблемі зародження й зростання кристалів присвячено багато робіт, у яких підтверджується важливість переохолодження в процесах кристалізації та загальна закономірність його плавного збільшення зі зростанням ступеня (температури) перегріву (Δt^+) розплаву з поступовим виходом на плато (насичення) [1–6].

Є різні теорії, що пояснюють залежність переохолодження розплаву від перегріву, які умовно можна поділити на теорії поверхневої та об'ємної кристалізації. У першому випадку вважається, що кристалізація починається на поверхні між розплавом і тиглем (або оксидною плівкою) та перегрів впливає на стан цієї поверхні (припускається збереження твердого металу в порах тигля або в порах оксидної плівки при перегріві до певної критичної температури) [7–9]. У теорії об'ємної кристалізації допускається існування в розплаві мікроугруповань атомів (кластерів), які зберігаються при невеликому перегріві розплаву над ліквідусом і слугують зародками при кристалізації, але руйнуються при більших перегрівах [2, 10, 11]. Однак обидві теорії знайшли часткове експериментальне підтвердження під час проведення дослідів із чистими металами.

Суперечливість відомих результатів пов'язана, на нашу думку, з відсутністю надійних методик визначення моменту зародження кристалів. Особливо це актуально для чистих металів, у яких зародження кристалів відбувається при великих пересиченнях (переохолодженнях) з утворенням величезної кількості центрів кристалізації. Тому в цій роботі поставлено завдання створити надійну методику дослідження залежності переохолодження металів від режимів їх плавлення (тобто температури перегріву) і тверднення (у тому числі в умовах різних зовнішніх впливів).

Матеріали та методика. Для створення нових і вдосконалення наявних металургійних технологій, пов'язаних із розливкою металів та їх сплавів, необхідно вивчати процеси, які протікають при дуже високих температурах, є непрозорими та іноді відбуваються в агресивному середовищі. Тому безпосереднє вивчення таких процесів надзвичайно ускладнене, у зв'язку з чим широко використовуються непрямі методи вивчення в лабораторних умовах, зокрема метод фізичного моделювання натурних об'єктів на низькотемпературних сплавах [12–14]. При проведенні цих досліджень застосовано також метод фізичного моделювання, у яких як об'єкти вивчення використано низькотемпературні металеві сплави й органічні сполуки. Ці матеріали вибирали з таких міркувань: прозорість (для органічних середовищ) — забезпечує візуальність досліджуваних процесів; температура плавлення не вище 100 °C — забезпечує зручність проведення експериментів тощо. З урахуванням наведених вимог об'єктами для вивчення стали такі матеріали: низькотемпературні металеві сплави Вуда (12,5 % олова, 25 % свинцю, 50 % вісмуту, 12,5 % кадмію) та Розе (25 % олова, 25 % свинцю, 50 % вісмуту) та прозорі органічні речовини дифеніламін ($C_{12}H_{11}N$) і камфен ($C_{10}H_{16}$) (табл. 1).

Властивості модельних середовищ

Середовище Властивості	Сплав Вуда	Сплав Розе	Камфен	Дифеніламін
Густина, кг/м ³	9720	7600	845	1200
Температура ліквідус, °C	68	94	45	53
Температура солідус, °C	68	94	42	53
Інтервал кристалізації, °C	0	0	3	0

У цій роботі досліджено вплив температури перегріву розплаву на його переохолодження, при якому відбувається зародження кристалів. Для проведення досліджень було розроблено методику фізичного моделювання та створено спеціальну експериментальну установку (рис. 1). Дослідження проводили за такою методикою. На початку експериментів із кожного модельного сплаву на електронних вагах (із точністю зважування 0,01 г) готували по три дослідних зразки однакової маси в кварцових пробірках діаметром 5 мм. Для забезпечення абсолютної ідентичності умов плавлення й кристалізації модельних сплавів усі три пробірки з дослідними зразками 1 одночасно за допомогою спеціального кріплення поміщали в камеру 2, у який із термостата 3 подавався прозорий теплоносіє (вода). Температура в камері із заданою швидкістю поступово підвищувалася до певного рівня з метою розплавлення та перегріву модельного сплаву. Після відповідної витримки розплаву в перегрітому стані починали його охолодження з певною швидкістю шляхом охолодження теплоносія в термостаті 3. Для фіксації температури утворення зародків у пробірці 1 із дослідними зразками опускали термопари 4, сигнал від яких у вигляді абсолютних значень температур у цифрах спостерігали на екрані цифрового потенціометра 5 та зберігалися на карті пам'яті. Із картки пам'яті ці цифрові значення температур за допомогою ноутбука в спеціальній програмі перетворювалися в температурні криві охолодження розплавів дослідних середовищ. За характерними ознаками на температурній кривій охолодження модельного середовища (тобто при появі плат на ній через виділення тепла кристалізації) визначали величину переохолодження розплаву, при якому відбувається зародження кристалів. В експериментах із прозорим модельним середовищем (дифеніламін, камфен) за зародженням кристалів спостерігали ще й візуально через прозорі грані камери. При потребі камеру 2 для забезпечення більшої наочності спостережуваних процесів через його прозорі грані просвічували променем від лампи.

Основні результати та їх обговорення. На початку, при відпрацюванні методики було встановлено, що розкид переохолоджень (ΔT) для дослідних металевих сплавів (Вуда, Розе) за

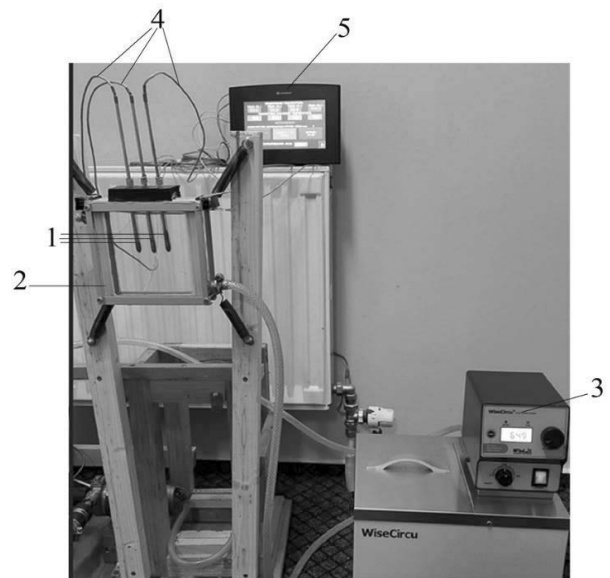


Рис. 1. Загальна схема експериментальної установки

Твердіння сплавів

інших рівних умов дорівнює $\pm 1^\circ\text{C}$ (рис. 2). Розкид переохолоджень (Δt) для органічних середовищ (дифеніламін, камфен) залежав від їх насиченості вологою (вони є гігроскопічними речовинами), і, залежно від ступеня їх насичення, ці показники могли відрізнятись один від одного в 5 разів (рис. 3, криві 1, 3). Тому дослідні зразки з органічних середовищ піддавали попередній термічній обробці при температурі 95°C протягом 60 хв, після чого їх щільно закривали пробкою від контакту з атмосферою. Після термічної обробки розкид переохолоджень (Δt) дослідних зразків із цих середовищ не перевищував $\pm 3^\circ\text{C}$ (рис. 3, криві 2, 4).

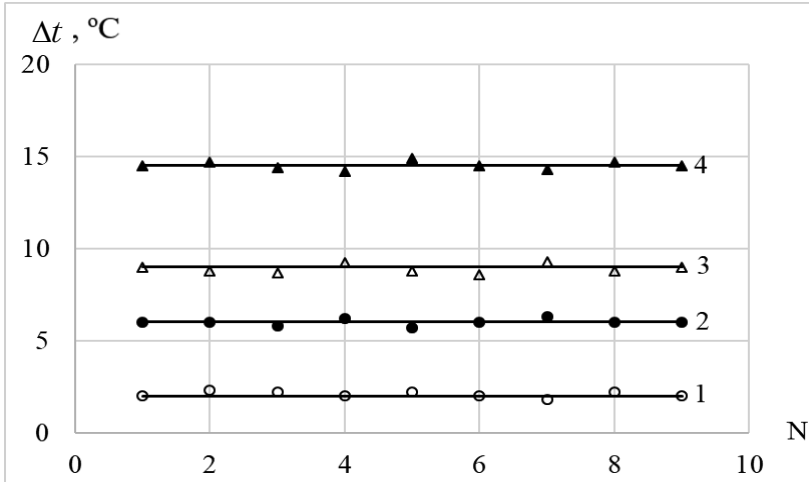


Рис. 2. Залежність переохолодження сплавів Вуда (3, 4) та Розе (1, 2) від кількості повторних випробувань зразків обсягом $5 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3$: 1, 3 при перегріві $\Delta t^* = 10^\circ\text{C}$; 2, 4 – $\Delta t^* = 30^\circ\text{C}$

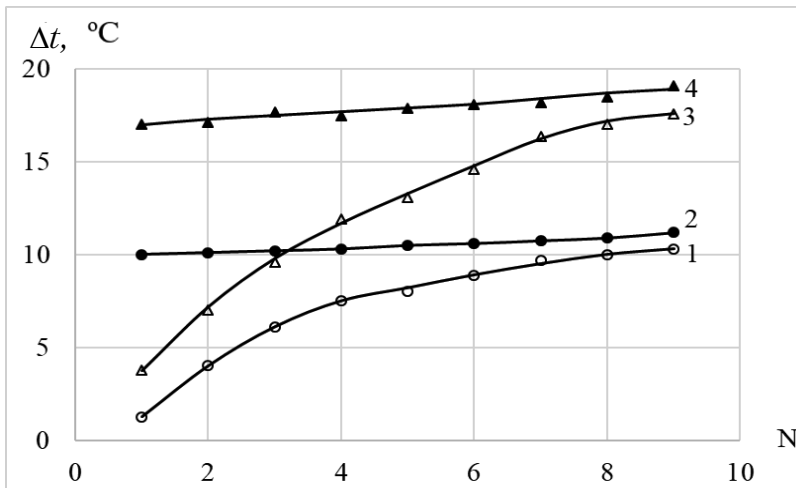


Рис. 3. Залежність переохолодження сплавів камфену (1, 2) та дифеніламіну (3, 4) від кількості повторних випробувань зразків обсягом $12 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3$ при перегріві $\Delta t^* = 10^\circ\text{C}$: 1, 3 без термічної обробки; 2, 4 — з термообробкою при температурі 95°C протягом 60 хв

У ході подальших досліджень для всіх модельних середовищ були отримані класичні криві, що підтверджують залежність переохолодження перед кристалізацією (Δt) від величини перегріву їх розплавів (Δt^*) (рис. 4). Ця закономірність у літературі пояснюється дезактивацією твердих підкладок і розплавленням кристалічної фази в мікропорах на їх поверхнях [1]. Але раніше на інших дослідних середовищах ми отримали результати, які показують, що вплив перегріву розплаву на його

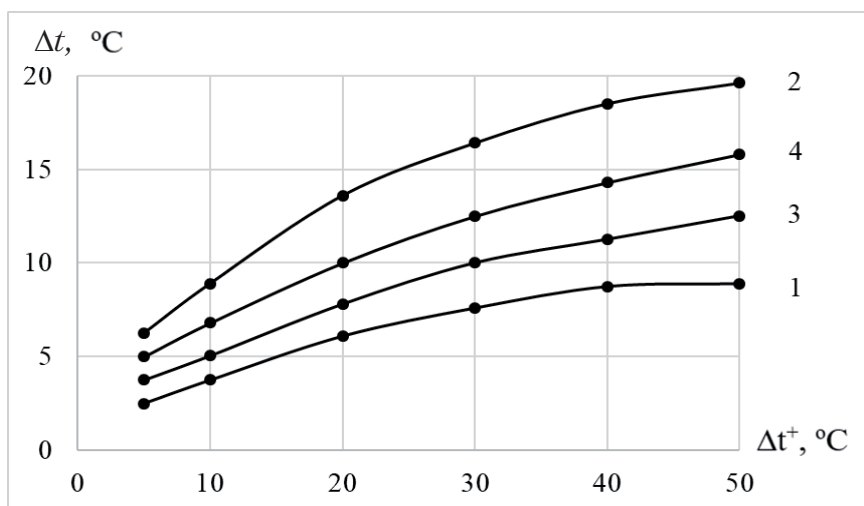


Рис. 4. Залежність переохолодження зразків із досліджуваних модельних сплавів об'ємом $2 \times 10^{-6} \text{ м}^3$ від температури перегріву протягом 2 хв: 1 — сплав Розе; 2 — сплав Вуда; 3 — камфен; 4 — дифеніламін

переохолодження може бути зумовлений зміною концентрації обмежено розчинних домішок [15].

Отже, у роботі [15] розплав салолу ми насичували парами води (вода є обмежено розчинною домішкою для салолу). Унаслідок цього при першому охолодженні пересиченого парами води розплаву за інших рівних умов переохолодження салолу виявилось у 6–7 разів меншим, ніж для ненасиченого. Із підвищенням температури перегріву або збільшенням часу витримки в перегрітому стані в подальших переплавах насиченого вологою розплаву салолу його переохолодження збільшувалося. Такий характер впливу температури перегріву (або часу витримки в перегрітому стані) на переохолодження насиченого парами води розплаву салолу найлогічніше пояснюється зміною концентрації розчинної домішки в ньому (в даному випадку — води). Очевидно, що розчинність води в салолі з підвищенням температури зростає, унаслідок чого змінюються фізико-хімічні властивості його розплаву [15].

У тій самій роботі [15] отримано результати, які переконливо доводять вирішальний вплив розчинних домішок на переохолодження розплавів металів перед кристалізацією залежно від температури їх перегріву — це залежність переохолодження галію від швидкості розігріву та часу витримки в перегрітому стані. Було встановлено, що з підвищенням швидкості розігріву дослідних зразків галію з $2 \text{ }^\circ\text{C/хв}$ до $30 \text{ }^\circ\text{C/хв}$ із невеликою витримкою в перегрітому стані ($\leq 2 \text{ хв.}$) їх переохолодження знижується в 2 рази. Ці результати, на нашу думку, важко пояснити інакше, крім як різним ступенем розчинення одних і тих же домішок у розплаві галію. Розчинення домішок у розплаві будь-якого металу відбувається внаслідок дифузії, що є відносно тривалим у часі процесом, і для забезпечення однорідності розплаву металу необхідно забезпечити тривалішу його витримку в перегрітому стані. Дійсно, суттєве збільшення часу витримки розплаву галію в перегрітому стані ($\geq 30 \text{ хв}$) знівелювала цю залежність [15].

Під час проведення даних досліджень на інших модельних сплавах (камфен, дифеніламін, сплави Вуда та Розе) ми підтвердили результати наших попередніх досліджень на салолі та галії. Крім того, для всіх дослідних сплавів отримано нові дані, що підтверджують нашу гіпотезу про вирішальну роль обмежено розчинних домішок у залежності переохолодження металів перед кристалізацією від температури перегріву їх розплавів. Далі на прикладі сплаву Вуда розглянемо отримані результати (рис. 5). На цьому рисунку наведено залежність переохолодження (Δt^-) сплаву Вуда від об'єму дослідних зразків для двох температур перегріву: $\Delta t^+ = 10 \text{ }^\circ\text{C}$ (крива 1) та

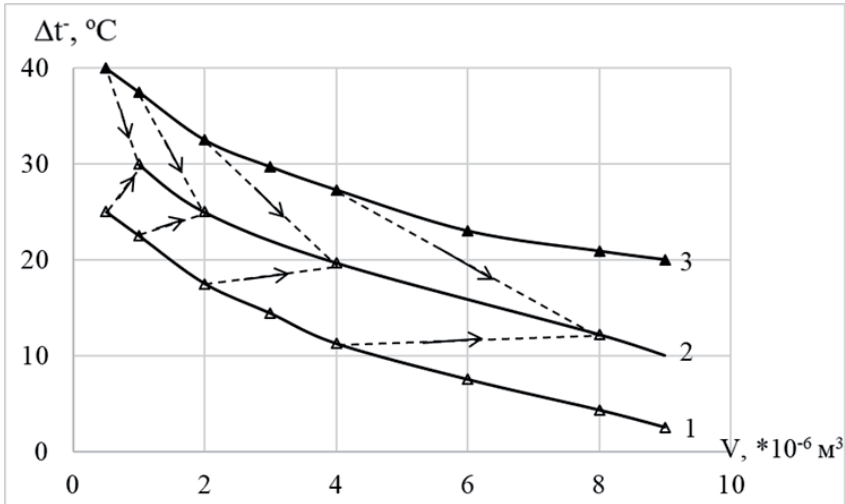


Рис. 5. Залежність переохолодження сплаву Вуда від обсягу дослідного зразка при різних температурах їх перегріву: 1 — із перегрівом $\Delta t^* = 10^\circ\text{C}$; 3 — $\Delta t^* = 25^\circ\text{C}$; 2 — зразки, отримані об'єднанням відповідних зразків кривих 1 та 2

$\Delta t^* = 25^\circ\text{C}$ (крива 3) за інших однакових умов проведення експерименту. Крива 2 на цьому рисунку побудована за даними випробування зразків, отриманих об'єднанням двох однакових зразків сплаву, які були перегріті відповідно на 10°C та 25°C . При чому перед об'єднанням температуру зразка, перегрітого на 25°C , повільно опускали до температури перегріву іншого зразка (тобто $\Delta t^* = 10^\circ\text{C}$). Потім зразки зливали (об'єднували) в одну пробірку та визначали величину переохолодження (t^-) нового зразка (показано стрілками на рис. 5).

На нашу думку, проведені дослід з поєднанням двох однакових зразків, перегрітих на різні температури, переконливо показує, що зміна їх переохолодження не зумовлена дезактивацією механічних домішок. У всіх випадках переохолодження для нового зразка виявлялося вищим, ніж величина переохолодження зразка, перегрітого на $\Delta t^* = 10^\circ\text{C}$ (порівняй криві 1 і 2, рис. 5). Здавалося, який би обсяг не доливали до зразка, що дає менше переохолодження, активність механічних домішок чи кристалів, які залишилися в порах на них, не повинна була змінитися. Однак для кристалізації всіх нових зразків (об'єднаних) необхідно було більше переохолодження. Це свідчить про те, що перегрів змінює величину переохолодження сплаву Вуда також унаслідок зміни концентрації обмежено розчинних домішок.

Від ступеня переохолодження (Δt^-) розплаву, при якому відбувається зародження та зростання кристалів, суттєво залежить дисперсність литої структури (рис. 6). Бачимо, що чим більше величина переохолодження, необхідного для початку кристалізації камфену при інших рівних умовах, тим менший розмір його макрозерна (рис. 6).

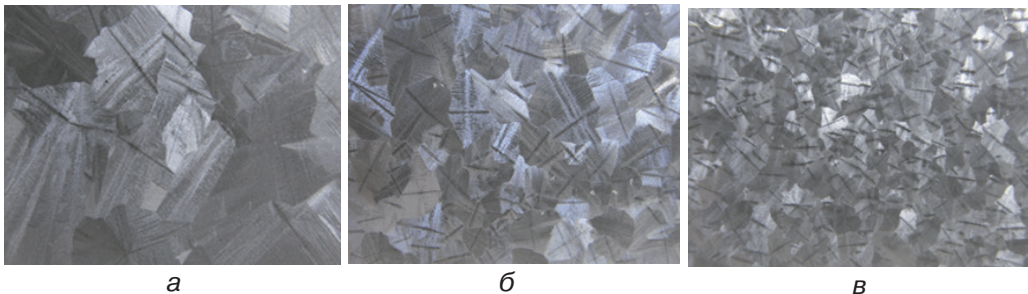


Рис. 6. Макроструктура камфену залежно від переохолодження, при якому відбувається його кристалізація: а — $\Delta t = 2^\circ\text{C}$; б — $\Delta t = 12^\circ\text{C}$; в — $\Delta t = 36^\circ\text{C}$, $\times 5$

Висновок

Таким чином, на дослідних зразках із модельних металевих сплавів та органічних середовищ встановлено, що вплив перегріву відносно температур їх плавлення на ступінь переохолодження випробуваних розплавів перед кристалізацією зумовлений температурною залежністю концентрації наявних у них обмежено розчинних домішок.

Список літератури

- 1 Овсиенко Д.Е. Зарождение и рост кристаллов из расплава. Киев: Наукова думка, 1994. 256 с.
- 2 Абрамов А.А., Ткаченко В.Г., Щерецкий А.А., Максимчук И.Н., Вовчок А.С. Особенности переохладения жидких металлических сплавов с различным химическим взаимодействием компонентов. *Электронная микроскопия и прочность материалов*: Сб. научн. тр. Киев: ИПМ НАН України, 2014. Вып. 20. С. 52–64.
- 3 Jinku Y., Qi Q., Lian L., Qihua J., Dongying N. Investigation on the undercooling and crystallization of pure aluminum melt by DSC. *Phase Transitions*. 2010. Vol. 83, No. 7. P. 543–549.
- 4 Mei Q., Li J. Dependence of Liquid Supercooling on Liquid Overheating Levels of Al Small Particles. *Materials*. 2016. Vol. 9, No. 1, article 7. P. 1–8.
- 5 Mueller B.A., Perepezko J.H. The Undercooling of Aluminum. *Metallurgical Transactions A*. 1987, Vol. 18A. P. 1143–1150.
- 6 Perepezko J.H., Furrer D.U., Mueller B.A. Undercooling of Aluminum Alloys. *Dispersion Strengthened Aluminum Alloys*, Editors Y-W. Kim, W.M. Griffith. TMS, Warrendale, PA, 1988. P. 77–102.
- 7 Yang B., Perepezko J.H., Schmelzer J.W.P., Gao Y., Schick C. Dependence of crystal nucleation on prior liquid overheating by differential fast scanning calorimeter. *The Journal of Chemical Physics*. 2014. – Vol. 140, 104513. P. 1–7.
- 8 Zhao B., Li L., Lu F., Zhai Q., Yang B., Schick C., Gao Y. Phase transitions and nucleation mechanisms in metals studied by nanocalorimetry: A review. *Thermochimica Acta*. 2015. Vol. 603. P. 2–23.
- 9 Uttormark M.J., Zanter J.W., Perepezko J.H. Repeated nucleation in an undercooled aluminum droplet. *Journal of Crystal Growth*. 1997. Vol. 177. P. 258–264.
- 10 Aleksandrov V.D., Frolova S.A. Supercooling of In_2Bi and InBi Melts. *Inorganic Materials*. 2004. Vol. 40, No. 3. P. 227–230.
- 11 Aleksandrov V.D., Frolova S.A. Effect of the Overheating of the Gallium Melt on Its Supercooling during Solidification. *Russian Metallurgy (Metally)*. 2014. No. 1. P. 14–19.
- 12 Нурадинов А.С., Нахаев М.Р. Процессы кристаллизации и формирования структуры литых заготовок. Грозный: ФГБОУ ВО ЧГУ. 2020. 170 с.
- 13 Дымнич А.Х., Корниец И.В. Основы теории подоби́я и физического моделирования. Киев: Наш формат, 2016. 172 с.
- 14 Еронько С.П., Быковских С.В. Физическое моделирование процессов внепечной обработки и разли́вки стали. Киев: Техника, 1998. 136 с.
- 15 Нурадинов А.С., Ногови́цин О. В., Школяренко В.П., Баранов І.Р., Нурадінов І.А. Залежності впливу температури перегріву на зародження кристалів у розплавах металів. *Процеси лиття*. 2023. № 3 (153). С. 27–33.

Надійшла 16.08.224

References

- 1 Ovsienko D.E. Nucleation and growth of crystals from the melt. Kiev: Naukova dumka, 1994. 256 p. [in Russian].
- 2 Abramov A.A., Tkachenko V.G., Sherecky A.A., Maksimchuk I.N., Vovchok A.S. Peculiarities of supercooling of liquid metal alloys with different chemical interaction of components. *Electron microscopy and strength of materials: Collection of scientific works*. Kiev: IPM of the National Academy of Sciences of Ukraine, 2014. Vip. 20. pp. 52–64 [in Russian]
- 3 Jinku Y., Qi Q., Lian L., Qihua J., Dongying N. Investigation on the undercooling and crystallization of pure aluminum melt by DSC. *Phase Transitions*. 2010. Vol. 83, No. 7. pp. 543–549.
- 4 Mei Q., Li J. Dependence of Liquid Supercooling on Liquid Overheating Levels of Al Small Particles. *Materials*. 2016. Vol. 9, No. 1, article 7. p
- 5 Mueller B.A., Perepezko J.H. The Undercooling of Aluminum. *Metallurgical Transactions A*. 1987, Vol. 18A. pp. 1143–1150.
- 6 Perepezko J.H., Furrer D.U., Mueller B.A. Undercooling of Aluminum Alloys. *Dispersion Strengthened Aluminum Alloys*, Editors Y-W. Kim, W.M. Griffith. TMS, Warrendale, PA, 1988. pp. 77–102.
- 7 Yang B., Perepezko J.H., Schmelzer J.W.P., Gao Y., Schick C. Dependence of crystal nucleation on prior liquid overheating by differential fast scanning calorimeter. *The Journal of Chemical Physics*. 2014. Vol. 140, 104513. pp.
- 8 Zhao B., Li L., Lu F., Zhai Q., Yang B., Schick C., Gao Y. Phase transitions and nucleation mechanisms in metals studied by nanocalorimetry: A review. *Thermochimica Acta*. 2015. Vol. 603. pp. 2–23.
- 9 Uttormark M.J., Zanter J.W., Perepezko J.H. Repeated nucleation in an undercooled aluminum droplet. *Journal of Crystal Growth*. 1997. Vol. 177. pp. 258–264.
- 10 Aleksandrov V.D., Frolova S.A. Supercooling of In_2Bi and InBi Melts // *Inorganic Materials*. 2004. Vol. 40, No. 3. pp. 227–230.
- 11 Aleksandrov V.D., Frolova S.A. Effect of the Overheating of the Gallium Melt on Its Supercooling during Solidification. *Russian Metallurgy (Metally)*. 2014. No. 1. pp. 14–19.
- 12 Nuradinov A.S., Nakhaev M.R. Processes of crystallization and structure formation of cast billets. Grozny: FGBOU VO ChSU. 2020. 170 p. [in Russian].
- 13 Dymnich A.H., Korniets I.V. Fundamentals of the theory of similarity and physical modeling. Kiev: Nash Format, 2016. 172 p. [in Russian].
- 14 Eronko S.P., Bykovskikh S.V. Physical modeling of processes of out-of-furnace treatment and casting of steel. Kiev: Tehnika, 1998. 136 p. [in Russian].
- 15 Nuradinov A.S., Nogovitsyn O.V., Shkolarenko V.P., Baranov I.R., Nuradinov I.A. Dependences of the influence of overheating temperature on the nucleation of crystals in metal melts. *Process of casting*. 2023. No. 3 (153). pp. 27–33 [in Ukrainian].

Received 16.08.2024

A. S. Nuradinov, Doctor of Science (Engineering), Leading Researcher.;

e-mail: nla_73@ukr.net; ORCID 0000-0002-7286-8648;

O. V. Nogovitsyn, Doctor of Science (Engineering), Head of Department;

e-mail: alexey.nogovitsyn@gmail.com; ORCID 0000-0003-2929-5300

O. L. Goncharov, Candidate of Science (Engineering), Senior Research Scientist;

e-mail: alexqoncharov51@gmail.com;

I. A. Nuradinov, Doctor of Philosophy, Junior Research Scientist;

e-mail: inuradinov@gmail.com; ORCID 0000-0001-8916-5247

O. V. Chystyakov, PhD Student; e-mail: chistyakov1971@gmail.com;

ORCID: 0000-0002-7119-3562

N. F. Zubenina, Chief Technologist (Department);

e-mail: zubeninanina50@gmail.com

Physical and Technological Institute of Metals and Alloys of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv

METHODOLOGY FOR STUDYING THE EFFECT OF OVERHEATING ON SUPERCOOLING OF METALS AND THEIR ALLOYS

This work is devoted to the development of a physical modeling technique to study the effect of overheating of metal melts on their supercooling before crystallization, since melting and crystallization are important technological processes for obtaining high-quality castings. Due to the fact that the processes involved in casting metals and their alloys operate at very high temperatures, are opaque and sometimes take place in aggressive environments, direct study of such processes is extremely difficult. In this regard, we have applied the method of physical modeling to conduct these studies, in which low-temperature metal alloys and organic compounds are used as objects of study. To conduct the research, a special experimental setup was created and a physical modeling technique was developed. At the beginning of the experiments, three prototypes of equal weight were prepared from each model alloy on an electronic balance (with a weighing accuracy of 0.01 g). To ensure the absolute identity of the melting and crystallization conditions of the model alloys, all three test samples were simultaneously placed in a chamber in which they were gradually heated to a certain level in order to melt and superheat. After appropriate exposure of the melt in the superheated state, it was cooled at a certain rate by cooling to the temperature of nucleation, which was recorded using thermocouples. The signal from the thermocouples in the form of absolute temperature values in digits and temperature curves of the cooling of the melts of the test media was observed on the screens of the potentiometer and laptop. The magnitude of melt supercooling, at which crystals nucleate, was determined by characteristic features on the cooling temperature curve of the model medium, such as the appearance of boards on them due to the release of crystallization heat. Transparent model environments allowed us to observe the nucleation of crystals visually. As a result of the researches, it was found that the effect of overheating on supercooling of the studied alloys is most likely due to a change in the concentration of limitedly soluble impurities. This assumption is based on the fact that the dissolution of impurities in the melt of any metal occurs as a result of diffusion, which is a relatively time-consuming process, and to obtain greater homogeneity of the metal melt, it is necessary either to increase the temperature of its overheating or to ensure its longer exposure to the overheated state. Ultimately, the results of the studies confirmed these assumptions, when, with an increase in the degree of dissolution of impurities, the supercooling of model melts changes, at which crystals are formed, and this was most likely due to a change in their physical and chemical properties.

Keywords: model alloys, metal melt, overheating temperature, supercooling, limited soluble impurities, crystal nucleation.