

<https://doi.org/10.15407/plit2022.04.013>

УДК 669.1: 669.2: 536.2

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;

В. П. Школяренко, канд. техн. наук, старш. наук. співроб.;

e-mail: hvp@ukr.net; ORCID 0000-000153931077

І. А. Нурадінов, аспірант, *e-mail: inuradinov@gmail.com;*

ORCID 0000-0001-8916-5247

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

ФОРМУВАННЯ СТРУКТУРИ ЛИСТОВИХ ЗАГОТОВОК ПРИ ВАЛКОВІЙ РОЗЛИВЦІ МЕТАЛІВ

Методом фізичного моделювання вивчено процеси формування структури листових заготовок при беззлитковій розливці-прокатці металів. При цьому на основі теоретичного аналізу визначено основні параметри, опираючись на які можна ефективно управляти процесами кристалізації та формування структури листових заготовок. Проведені дослідження дозволили встановити закономірності впливу гідродинамічних та теплофізичних умов розливання металу (швидкості та характеру руху металу у міжвалковому просторі, температури перегріву розплаву та інтенсивності тепловідведення від нього) на процеси його кристалізації та структуроутворення. Як моделювальне середовище використано прозорий органічний сплав камфен ($C_{10}H_{16}$), який дозволяє візуально вивчати ці процеси при беззлитковій прокатці металів. Завдяки прозорості камфена наочно вивчено трансформацію структури листової заготовки на різних стадіях її формування: груба первинна структура кірок, що твердіють на валках, за рахунок часткової деформації в зоні прокатки переходить у дрібнозернисту структуру при виході з неї. Показано залежність лінійної швидкості розливу металу від температури перегріву розплаву та інтенсивності теплообмінних процесів у валковому кристалізаторі. При цьому визначено оптимальні інтервали значень цих параметрів, що забезпечують стабільність процесу валкового розливу металів. Отримані результати стали основою для розробки практичних рекомендацій стосовно валкового розливання реальних металів, зокрема алюмінієвих сплавів різних марок.

Ключові слова: валкове розливання-прокатка металів, валковий кристалізатор, гідродинаміка розплаву, температура перегріву, інтенсивність теплообмінних процесів, листова заготовка, швидкість розливання, трансформація структури.

Проблема зниження собівартості кінцевої металопродукції є головним завданням світової металургії. Найбільш суттєві результати в плані підвищення ресурсо- та енергоефективності сучасного металургійного виробництва досягнуті при беззлитковій розливці-прокатці металів, при якій листова заготовка невеликої товщини піддається прокатці на тонкий металопрокат відразу після виходу з валків-кристалізаторів. Незважаючи на очевидні переваги цього способу розливу металів, широке його застосування в металургійній практиці стримується через недостатню вивченість процесу в цілому залежно від технологічних параметрів розливу: температури перегріву розплаву, інтенсивності тепловідведення, швидкості розливання металу (швидкості обертання валків), ступеня деформації і таке інше. У зв'язку з викладеним, у цій роботі методом фізичного моделювання на прозорому органічному середовищі (камфені – $C_{10}H_{16}$) вивчено процеси формування структури тонкої листової заготовки при валковій розливці.

При вивченні процесів кристалізації та структуроутворення будь-яких литих заготовок принципово важливим є встановлення закономірностей впливу на ці процеси гідродинаміки розплаву в обсязі заготовки, що твердіє, і теплофізичних умов розливання металу (температури перегріву, інтенсивності тепловідведення тощо) [1–5]. Вивчення процесу валкового розливання металів у реальних умовах неможливе у зв'язку з тим, що всі металеві сплави є непрозорими, мають відносно високі температури розливу та формування листових заготовок з них відбувається миттєво (за долі секунд). При цьому, у тому числі, відбувається виключно складна взаємодія різних процесів (гідродинамічних, теплообмінних, кристалізації та інших), характер та інтенсивність перебігу яких, у тому числі, визначатиметься технологічними параметрами розливу металів. Тому, у цій роботі вирішувалося завдання встановлення впливу зовнішніх умов формування листової заготовки на її структуру, оскільки існує спадковий взаємозв'язок первинної структури заготовки та якості кінцевого металопрокату [1–5].

Можна припустити, що найбільш оптимальною гідродинамічною картиною рідкої ванни у міжвалковому просторі, що забезпечує стабільність процесу беззлиткового прокатування металів, є симетричний розподіл потоків розплаву металу щодо поверхонь валків. Очевидним наслідком такої гідродинаміки розплаву між валками має бути ідентичність термодинамічних полів уздовж їх поверхонь і, як наслідок, симетричність кірок металу, які твердіють. Дійсно, результати наших досліджень на прозорому сплаві камфена показали, що в площині зрощення зустрічних фронтів кристалізації за такої гідродинамічної картини розплаву між валками кірки, що затверділи на них, мають однакову товщину (рис. 1, а).

Незалежно від картини гідродинаміки розплаву між валками по висоті рідкої ванни спостерігається дуже помітна їхня різнотовщинність (рис. 1). Серед металургів причини такої нерівномірності товщин кірок, що твердіють, по висоті литих заготовок залишаються дискусійними. Існують теорії послідовної та об'ємної кристалізації сплавів, у яких при поясненні цього явища гідродинаміку розплаву всередині ядра заготовок взагалі не враховують [1, 3, 5]. Тим часом доведено, що конвекція відіграє у цьому явищі вирішальну роль [6, 7]. Але в рухомому кристалізаторі, порівняно з природною конвекцією, більш значна роль належить примусовій конвекції розплаву, яка обумовлена обертанням валків і потоками розплаву, які витікають із розливного пристрою. Вирішальна роль примусової конвекції в загальному балансі гідродинамічної картини в рідкій ванні між валками полягає у помітному впливі на параметри кірок металу, які твердіють. Асиметричність потоків розплаву при виході з розливного пристрою, відносно поверхонь валків, призводить до різної товщини кірок, що твердіють на них (рис. 1, б).

Отримана при асиметричності потоків різнотовщинність кірок на валках обумовлена кількістю тепла перегріву яке підводиться і, відповідно, відводиться через їх поверхні від розплаву металу. Відомо, що кількість тепла, що відводиться, перегріву металу, який розливається, через будь-яку поверхню тепловідведення,



Рис. 1. Залежність товщини кірок камфена, які твердіють на поверхнях валків від гідродинаміки розплаву між ними

головним чином, залежить від коефіцієнта тепловіддачі розплаву (α). Коефіцієнт тепловіддачі, у свою чергу, безпосередньо залежить від швидкості конвективного руху розплаву вздовж поверхні тепловідведення [5]:

$$\alpha = 0,6 \left(\frac{W}{H} \right)^{0,5} A, \quad (1)$$

де, W – швидкість конвективних потоків; H – відстань від дзеркала металу до точки виміру; A – коефіцієнт, що враховує теплофізичні характеристики сплаву.

Крім цього, від швидкості витікання струменя розплаву з розливної склянки (V) залежить також агресивна сила підмиву затверділої кірки металу (F) на валках-кристалізаторах [7]:

$$F = \rho \frac{Q}{4} V (1 - \sin \theta) \frac{1}{D}, \quad (2)$$

де, ρ – щільність рідкого металу; Q – швидкість об'ємної подачі металу; θ – кут нахилу струменя до поверхні затверділої кірки металу; D – відстань від поверхні меніска металу до точки зустрічі струменя із затверділою кіркою.

Очевидно, що рівність цих двох параметрів (α , F) вздовж поверхонь валків забезпечить однакову товщину затверділих кірок металу на їх поверхнях. А симетричність затверділих кірок металу при вході в зону прокатки є головною умовою отримання якісної листової заготовки. Пов'язано це з тим, що при однакових товщинах кірок на валках забезпечується ідентичність їх деформацій у зоні прокатки, у результаті чого відбувається рівномірний розподіл деформаційних та термічних напружень на перерізі всієї заготовки в цілому. Адже нерівномірність напружень у таких заготовках, як відомо, є основною причиною виникнення їхнього головного дефекту – поверхневих тріщин [8–10].

У металургійній практиці, в даний час, найбільшого поширення набули, в основному, дві схеми валкового розливання металів: без деформації (так звана рідка прокатка) і з деформацією (або беззлиткова прокатка) одержуваної заготовки [11]. Але найбільш затребуваною з цих двох варіантів є схема беззлиткової прокатки, тому, що за рахунок часткового обтиснення одержувана при цьому заготовка має структуру та властивості близькі до структури та властивостей деформованого металу. Крім цього, така заготовка має відносно більш високу чистоту поверхні, яка відповідає чистоті поверхні валків (тобто $R_{z,n}/R_{z,b} = 1$) [12–14].

У цих експериментах досліджено процес трансформації структури листової

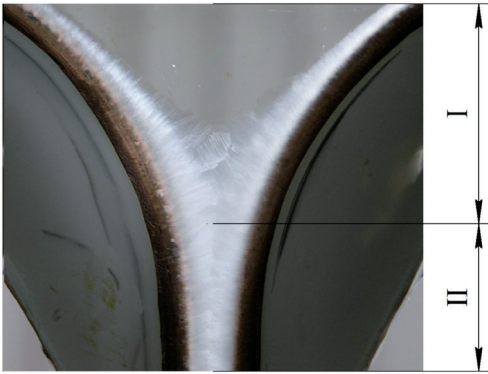


Рис. 2. Трансформація структури листової заготовки з камфену при його беззлитковій прокатці: I – зона кристалізації; II – зона прокатки

заготовки при її отриманні за схемою беззлиткової прокатки на прозорому камфені (рис. 2). Встановлено, що в точці зрощення зустрічних фронтів кристалізації, які намерзли на поверхнях двох валків, що обертаються, первинна структура кірок складається з грубих стовпчастих кристалів (рис. 2, зона I). При пластичній деформації кірок на валках у зоні прокатки відбувається руйнування грубих первинних кристалів і на виході з неї виходить заготовка з дрібнозернистою структурою, близькою до деформованої структури (рис. 2, зона II).

При такій схемі беззлиткової прокатки металів товщина заготовки на виході з валків приблизно на 25 % менше, ніж сумарна товщина кірок на валках при їх вході в зону прокатки. Товщину заготовки за такої схеми прокатки можна визначити за такою формулою [11]:

$$h = 2\xi_B(1 - \varepsilon), \quad (3)$$

де, ξ_B – середня товщина кірок металу на валку в точці зрощення зустрічних фронтів кристалізації; ε – ступінь обтиснення намерзлої кірки.

Враховуючи, що теплофізичні умови розливання металу відіграють істотну роль на формування структури та властивостей литих заготовок, у цій роботі також вивчено вплив температури перегріву розплаву камфена та інтенсивності тепловідведення від валків-кристалізаторів на характер формування листової заготовки та лінійну швидкість розливу.

Стабільність процесу беззлиткової прокатки металів, як відомо з металургійної практики, забезпечується при відповідності температури поверхні заготовки ($t_{\text{пов.}}$) на виході з валків-кристалізаторів наступною умовою $t_{\text{пов.}} \leq t_{\text{сол.}}$ ($t_{\text{сол.}}$ – температура солідуса металевого сплаву, що розливається) [8, 15–17]. Необхідність дотримання цієї умови пов'язана з тим, що при більш високих температурах поверхні заготовки вона перебуватиме в твердо-рідкому стані і через низькі властивості міцності металу при цих температурах може легко зруйнуватися.

Якщо виходити з необхідності дотримання умови $t_{\text{пов.}} \leq t_{\text{сол.}}$, то з одержаних результатів випливає, що температура перегріву розплавленого камфена суттєво обмежує лінійну швидкість обертання валків (рис. 3). Тут представлено закономірності зміни температур в умовній точці переходу зони кристалізації у зону прокатки (рис. 2) для камфена при різних режимах перегріву його розплаву та максимальної інтенсивності охолодження валків ($t_{\text{охл.}} = 5^\circ\text{C}$) для різних швидкостей розливання. З цього рисунку випливає, що швидкість валкового розливання безпосередньо залежить від теплофізичних умов її проведення (температури перегріву та інтенсивності охолодження).

Дійсно, якщо за температури перегріву розплаву $\Delta t_{\text{пер.}} t = 2^\circ\text{C}$ та інтенсивності тепловідведення від валків ($t_{\text{охл.}} = 5^\circ\text{C}$) оптимальна швидкість розливання дорівнює $9 \cdot 10^{-2}\text{м/с}$, то при $\Delta t_{\text{пер.}} = 6^\circ\text{C}$ вона дорівнює $5,3 \cdot 10^{-2}\text{м/с}$. Тобто, при незначному підвищенні температури перегріву розплаву (на 4°C) швидкість розливання зменшується в 1,7 раза, що з практики означає істотне зниження продуктивності процесу загалом.

Аналогічний характер залежності швидкості розливу розплаву камфена отримано і для помірних інтенсивностей тепловідведення від валків-кристалізаторів ($t_{\text{охл.}} = 20$ і 35°C). Наприклад, при інтенсивності тепловідведення від валків $t_{\text{охл.}} = 20^\circ\text{C}$ оптимальна швидкість розливання дорівнює $4,3 \cdot 10^{-2}\text{м/с}$, а при $t_{\text{охл.}} = 35^\circ\text{C}$ – $1,3 \cdot 10^{-2}\text{м/с}$ (рис. 4).

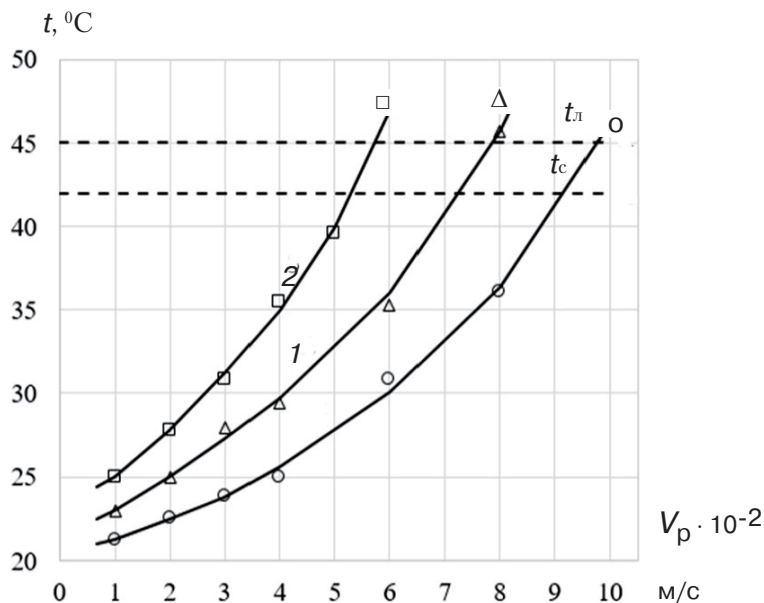


Рис. 3. Залежність температури заготовки в точці переходу зони кристалізації в зону прокатки та швидкості розливу камфена від температури перегріву розплаву: 1 – при температурі перегріву розплаву $\Delta t_{\text{пер.}} = 2$ °C; 2 – $\Delta t_{\text{пер.}} = 4$ °C; 3 – $\Delta t_{\text{пер.}} = 6$ °C

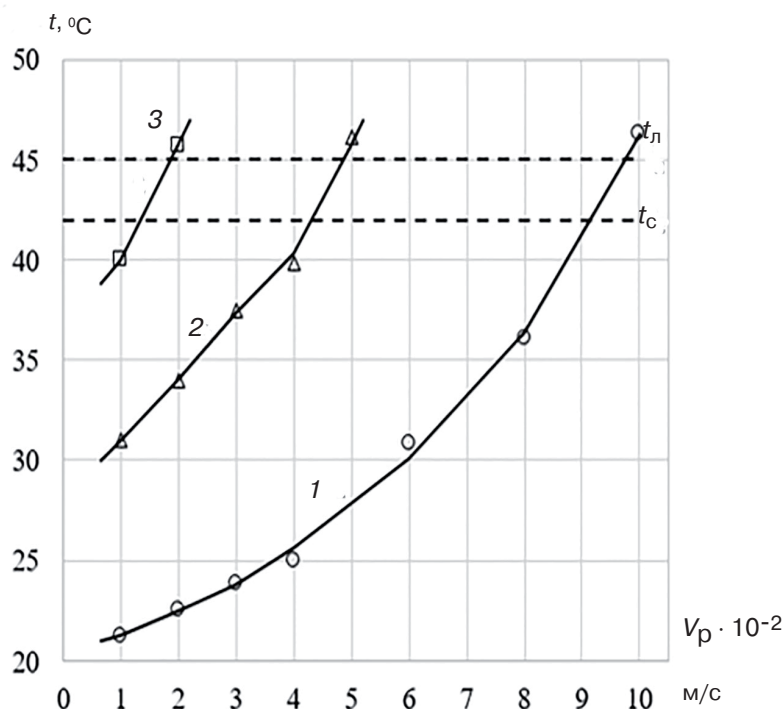


Рис. 4. Залежність температури заготовки в точці переходу зони кристалізації в зону прокатки та швидкості розливу камфена від інтенсивності тепловідведення у валках: 1 – при температурі охолодження валка $t_{\text{охл}} = 5$ °C; 2 – $t_{\text{охл}} = 20$ °C; 3 – $t_{\text{охл}} = 35$ °C

Наочним підтвердженням необхідності дотримання умови ($t_{\text{нов}} \leq t_{\text{сол}}$) при валковому розливанні металів є одержані в ході цих досліджень результати (рис. 5). Справді, бачимо, що з оптимальної швидкості розливу камфена ($V_p = 9 \cdot 10^{-2}$ м/с) на поверхнях валків-кристалізаторів твердіють кірки однакових товщин і у точці мінімального зазору між валками вони зростаються (рис. 5, б). Зате при надто високій швидкості розливу ($V_p = 11 \cdot 10^{-2}$ м/с) зустрічні фронти кристалізації не встигають зістикуватися між собою і в заготовках зберігається рідка серцевина, яка є головною причиною різкого обвалу стабільності процесу валкового розливання через зниження властивостей міцності металевих сплавів у твердо-рідкому стані (рис. 5, а). А при недостатній швидкості розливу ($V_p = 7 \cdot 10^{-2}$ м/с), навпаки, маємо надлишок твердої фази, що є основною причиною формування заготовок різної товщини та жолоблення бандажів валків (рис. 5, в).

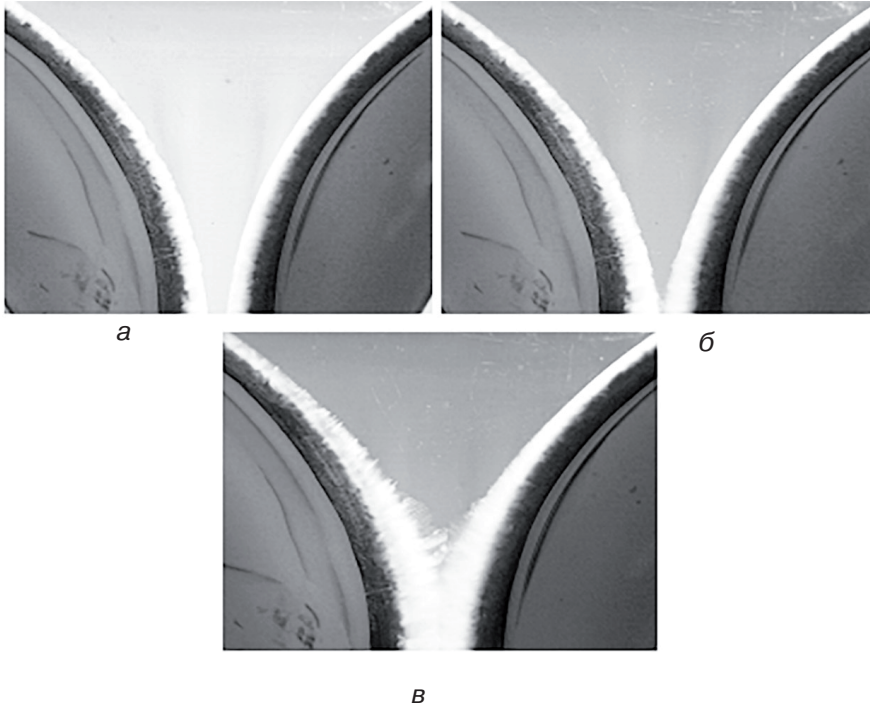


Рис. 5. Вплив швидкості розливання камфену (V_p) на товщину кірки на поверхнях валків при перегріві розплаву $\Delta t_{\text{пер.}} = 2^\circ\text{C}$: а – $V_p = 11 \cdot 10^{-2}$ м/с; б – $V_p = 9 \cdot 10^{-2}$ м/с; в – $V_p = 7 \cdot 10^{-2}$ м/с

Ці результати показують (рис. 3 і 4), що, змінюючи перегрів розплаву, що розливається, і інтенсивність тепловідведення від валків-кристалізаторів, можна керувати швидкістю беззлиткового розливу-прокатки металів у широких межах. Головним чином, це пов'язано із зміною температурного градієнта перед поверхнями тепловідведення валків-кристалізаторів, а це обумовлює зміну лінійної швидкості кристалізації (у нашому випадку – швидкості розливання) [5]:

$$R = \frac{\lambda}{q_{\text{кр}} \cdot \rho} \cdot G, \quad (4)$$

де, λ , ρ – теплопровідність та щільність розплаву; $q_{\text{кр.}}$ – теплота кристалізації; G – градієнт температури на межі твердіння.

В цілому, з аналізу наведених даних випливає, що, незалежно від перегріву розплаву, чим інтенсивніше тепловідведення, тим більше градієнти температур

збільшуються від поверхонь тепловідведення валків до центру рідкої ванни. Це зумовлює одночасний перебіг різних стадій процесу формування заготовки: миттєве зняття теплоти перегріву розплаву, утворення кірок на поверхнях валків та їх охолодження до температур стінок валків. В умовах помірної інтенсивності тепловідведення (в цих експериментах $t_{\text{охл.}} = 20$ і 35 °C), ймовірно, відбувається послідовний перебіг перерахованих вище стадій процесу формування заготовок, а для цього потрібно більш тривалий теплообмін між поверхнею валка і розплавом, що передбачає зниження швидкості розливання за виразом (4).

Відомо також, що градієнт температури перерізу розплаву, який твердіє залежно від його відношення до швидкості кристалізації (G/R) відіграє важливу роль у формуванні первинної структури в литих заготовках. При середніх значеннях цього співвідношення ($G/R < 5,5 \cdot 10^7$) формується дисперсна структура, а при нижчих його значеннях ($G/R < 10^3$) – груба рівновісна структура [16].

Таким чином, на підставі проведених досліджень можна стверджувати, що беззлиткову прокатку металів, незалежно від типу сплаву, необхідно проводити з мінімально можливою температурою перегріву розплаву та максимальною інтенсивністю охолодження валків-кристалізаторів. У таких умовах прискорена кристалізація розплаву металу забезпечить рівномірний розподіл легуючих елементів у литій заготовці, формування дрібнокристалічної первинної структури і, як наслідок, підвищений рівень механічних властивостей кінцевої металопродукції.

Крім цього, використаний метод фізичного моделювання на прозорому середовищі (камфені) дозволив у лабораторних умовах візуально вивчити формування та трансформацію структури листової заготовки при беззлитковій прокатці металів стосовно до процесів тепло- та масообміну в розплаві, який твердіє. Отримані результати з урахуванням масштабів фізичного моделювання можна використовувати при розробці технологічних параметрів ресурсо- та енергоефективної технології одержання листової металопродукції безпосередньо з рідкого стану для різних металевих сплавів.

Список літератури

- 1 Чалмерс Б. Теория затвердевания. Москва: Металлургия, 1968. 288 с.
- 2 Флемингс М. С. Процессы затвердевания. Москва: Мир, 1977. 423 с.
- 3 Баландин Г. Ф. Формирование кристаллического строения отливок. Москва: Машиностроение, 1979. 288 с.
- 4 Овсиенко Д. Е. Зарождение и рост кристаллов из расплава. Киев: Наук. Думка, 1994. 256 с.
- 5 Ефимов. В. А., Эльдарханов А. С. Технологии современной металлургии. Москва: Новые технологии, 2004. 784 с.
- 6 Нурадинов А. С., Нахаев М. Р. Процессы кристаллизации и формирования структуры литых заготовок. Грозный: изд-во ФГБОУ ВО «Чеченский государственный университет», 2020. 170 с.
- 7 Эльдарханов А. С., Ефимов В. А., Нурадинов А. С. Процессы формирования отливок и их моделирование. Москва: Машиностроение, 2001. 206 с.
- 8 Бровман М. Я., Николаев В. А., Полухин В. П. Протяженность зоны пластической деформации и допустимая скорость при бесслитковой прокатке стальных полос. Металлы. 2007. № 1. С. 44–49.
- 9 Бровман М. Я., Николаев В. А., Полухин В. П. Анализ температурного режима и повышение эффективности охлаждения валков и роликов. Производство проката. 2007. № 7. С. 36–43.
- 10 Kawalla R. Properties of Magnesium Strips produced by Twin-Roll-Casting and Hot Rolling. Materials Science Forum, 2011. Vol. 690. P. 21–24.

- 11 Ефимов В. А., Анисович Г. А., Бабич В. Н. и др. Специальные способы литья: Справочник. Москва: Машиностроение, 1991. 436 с.
- 12 Бровман М. Я., Николаев В. А. О повышении качества поверхности полосы при прокатке в валковых совмещенных агрегатах. *Производство проката*. 2006. № 5. С. 9–14.
- 13 Шур И. А. Перспективы развития бесслитковой прокатки алюминиевых сплавов. *Технология легких сплавов*. 2001. № 5–6. С. 38–41.
- 14 Buchner Achim R. Thin Strip Casting of Steel with a Twin Roll Caster-Correlation between Feeding System and Strip Quality. *Steel Research*. 2004. № 1. P. 5–12.
- 15 Кац А. М., Кудин М. В., Шаталов Р. Л. Исследование теплопередачи и затвердевания при бесслитковой прокатке малолегированного цинка. *Цветные металлы*. 2002. № 9. С. 80–85.
- 16 Nuradinov A. S., Nogovitsyn A. V., Nuradinov I. A. and other. Research of possibility of control of the formation of crystal structure of metal alloys. *Science and innovation*. 2020. № 16 (4). P. 67–73.
- 17 Эльдарханов А. С., Нурадинов А. С., Уздиева Н. С. и др. Оптимизация тепловой работы кристаллизатора МНЛЗ. *Металлург*. 2019. № 1. С. 17–23.

Надійшла 19.09.2022

References

- 1 Chalmers B. (1968) Theory of solidification. Moscow: Metallurgy. 288 p. [in russian].
- 2 Flemings M. S. (1977) Solidification processes. Moscow: Mir. 423 p. [in russian].
- 3 Balandyn G. F. (1979) Formation of the crystal structure of castings. Moscow: Mashinostroenie. 288 p. [in russian].
- 4 Ovsienko D. E. (1994) Genesis and growth of crystals from the melt. Kyiv: Nauk. Dumka. 256 p. [in russian].
- 5 Efimov V. A., Eldarkhanov A. S. (2004) Technologies of modern metallurgy. Moscow: New Technologies. 784 p. [in russian].
- 6 Nuradinov A. S., Nakhaev M. R. (2020) Processes of crystallization and formation of the structure of cast blanks. Grozny: publishing house of Chechen State University. 170 p. [in russian].
- 7 Eldarkhanov A. S., Efimov V. A., Nuradinov A. S. (2001) Casting formation processes and their modeling. Moscow: Mashinostroenie. 206 p. [in russian].
- 8 Brovman M. Ya., Nikolaev V. A., Polukhin V. P. (2007) The length of the zone of plastic deformation and the permissible speed during ingotless rolling of steel strips. *Metally*. No. 1. P. 44–49. [in russian].
- 9 Brovman M. Ya., Nikolaev V. A., Polukhin V. P. (2007) Analysis of the temperature regime and improvement of the cooling efficiency of rolls and rollers. *Rolled production*. No. 7. P. 36–43. [in russian].
- 10 Kawalla R. (2011) Properties of Magnesium Strips produced by Twin-Roll-Casting and Hot Rolling. *Materials Science Forum*. Vol. 690. P. 21–24. [in russian].
- 11 Efimov V. A., Anisovich G. A., Babich V. N. et al. (1991) Special methods of casting: Reference book. Moscow: Mashinostroenie. 436 p. [in russian].
- 12 Brovman M. Ya., Nikolaev V. A. (2006) On improving the quality of the surface of the strip during rolling in rolled combined aggregates. *Rolled products production*. No. 5. P. 9–14. [in russian].
- 13 Shur I. A. (2001) Prospects for the development of ingotless rolling of aluminum alloys. *Technology of light alloys*. No. 5–6. P. 38–41. [in russian].
- 14 Buchner Achim R. (2004) Thin Strip Casting of Steel with a Twin Roll Caster-Correlation between Feeding System and Strip Quality. *Steel Research*. No. 1. R. 5–12. [in russian].
- 15 Kats A. M., Kudin M. V., Shatalov R. L. (2002) Investigation of heat transfer and solidification during ingotless rolling of low-alloyed zinc. *Tsvetnye metally*. No. 9. P. 80–85. [in russian].

- 16 Nuradinov A. S., Nogovitsyn A. V., Nuradinov I. A. et al. (2020) Research of possibility of control of the formation of crystal structure of metal alloys. *Science and innovation*. No. 16 (4). P. 67–73. [in russian].
- 17 Eldarkhanov A. S., Nuradinov A. S., Uzdiyeva N. S. et al. (2019) Optimization of the thermal performance of the MNLZ crystallizer. *Metallurg*. No. 1. P. 17–23. [in russian].

Received 19.09.2022

A. S. Nuradinov, *Dr. Sci. (Engin)*, *Leading Research Scientist*;

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

O. V. Nogovitsyn, *Dr. Sci. (Engin.)*, *Head of Department*;

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

V. P. Shkolyarenko, *Ph.D. (Engin)*, *Senior Research Scientist*, *e-mail: hvp@ukr.net*,

ORCID 0000-0001-5393-1077

I. A. Nuradinov, *Leading Research*; *e-mail: inuradinov@gmail.com*;

ORCID 0000-0001-8916-5247

Physico-Technological Institute of Metals and Alloys of the NAS of Ukraine (Kyiv, Ukraine)

FORMATION OF THE STRUCTURE OF SHEET BLANKS DURING ROLL CASTING OF METALS

The physical modeling method was used to study the processes of formation of the structure of sheet blanks during ingotless casting-rolling of metals. At the same time, on the basis of theoretical analysis, the main parameters are determined, with the help of which it is possible to effectively control the processes of crystallization and the formation of the structure of sheet blanks. The studies carried out made it possible to establish the regularities of the influence of hydrodynamic and thermophysical conditions of pouring metal (the speed and nature of metal movement in the inter-roll space, the overheating temperature of the melt and the intensity of heat removal from it) on the processes of its crystallization and structure formation. A transparent organic alloy camphene ($C_{10}H_{16}$) was used as a modeling medium, which makes it possible to visually study these processes during the ingotless rolling of metals. Due to the transparency of camphene, the transformation of the sheet blank structure at different stages of its formation was clearly studied: the rough primary structure of the crusts solidifying on the rolls, due to their partial deformation in the rolling zone, passes into a fine-grained structure upon exiting it. The dependence of the linear rate of metal pouring on the overheating temperature of the melt and the intensity of heat exchange processes in the roller mold is shown. At the same time, the optimal ranges of values of these parameters are determined, which ensure the stability of the process of roll casting of metals. The results obtained were the basis for the development of practical recommendations for roll casting of real metals, in particular aluminum alloys of various grades.

Keywords: roll casting-rolling of metals, roll mold, melt hydrodynamics, overheating temperature, intensity of heat exchange processes, sheet blank, casting speed, structure transformation.