

Ніколаєнко Анатолій Миколайович, професор, кандидат технічних наук, Запорізький національний університет. ORCID: 0000-0002-2588-6907

ПРОГНОЗУВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ МЕТАЛУ ПІД ЧАС ВИРОБНИЦТВА АЛЮМІНІЄВОЇ КАТАНКИ

Запропоновано методику розрахунків температурного графіка в технологічній лінії ливарно-прокатного агрегату з виробництва алюмінієвої катанки, яку створено на підставі аналізу літературних джерел, присвячених математичному моделюванню подібних процесів. Прогнозування температури металу здійснюється з використанням існуючих формул і рівнянь, за допомогою яких обчислюють змінювання температури зливка у процесі охолодження кристалізатора водою; повітряне охолодження заготовки на шляху від кристалізатора до прокатного стана та катанки під час укладання її в бунт; змінювання температури штаби протягом гарячої прокатки; зменшення її температури за примусовим охолодженням емульсією у прокатному стані та катанки у гартувальному пристрої. Похибка прогнозу температури заготовки на виході з ливарного колеса складає 1,7%, а перед прокатним станом 0,8%. Розрахункова температура катанки на виході з прокатного стана відрізняється від фактичної на 3%, а після гартувального пристрою розбіжність складає 1,3%. Модельна температура катанки у кінці технологічної лінії майже співпадає з фактичною. Наявність математичної моделі термограми алюмінієвого зливка дає змогу дослідити вплив різноманітних теплових втрат, що відбуваються за кристалізації металу, на температуру заготовки після ливарного колеса, зафіксувати та зрозуміти характер змінювання температури штаби від першої до останньої кліті прокатного стана, обчислити температуру катанки після її охолодження в гартувальному пристрої. Все це дає змогу обґрунтовано коригувати технологію на окремих ділянках ливарно-прокатного агрегату й удосконалювати алгоритми управління технологічними параметрами та механізмами.

Ключові слова: ливарно-прокатний агрегат, прогнозування температури металу, алюмінієва катанка, графік, математична модель

Вступ. Під час виробництва алюмінієвої катанки методом безперервного лиття та прокатки процеси кристалізації металу в ливарному колесі і пластичної деформації зливка в прокатному стані відбуваються за певних теплових режимів, які забезпечують одержання готового прокату із заданою якістю [1; 2]. Параметрами, що характеризують зазначені процеси на діючих ливарно-прокатних агрегатах (ЛПА), є температура заготовки на виході з кристалізатора та температура катанки після прокатного стана. Для підтримки таких величин на заданих значеннях здійснюють примусове охолодження рідиною кристалізатора та валків і штаби в клітях прокатного стана. При цьому початкова структура заготовки формується в процесі твердіння зливка, а металева зернистість і механічні властивості катанки – під час її охолодження та деформування у прокатному стані [2–4]. У зв'язку з цим за необхідності вдосконалення виробництва алюмінієвої катанки або алгоритмів управління технологічними процесами велике значення має прогнозування температури металу на всій технологічній лінії ЛПА. Проте можливість виконання таких досліджень ускладнюється через відсутність математичної моделі.

Постановка завдання. Розробка методики побудови температурного графіка в технологічній лінії виробництва алюмінієвої катанки ЛПА на підставі результатів аналізу літературних джерел, присвячених математичному моделюванню подібних процесів.

Засоби дослідження. Розрахунок температури уздовж лінії виробництва алюмінієвій катанки здійснювали за допомогою наступних алгоритмів:

- змінювання температури зливка у процесі охолодження кристалізатора водою;
- повітряного охолодження заготовки на шляху від кристалізатора до прокатного стана та катанки під час її укладання у бунт;
- змінювання температури штаби протягом гарячої прокатки;
- зменшення температури штаби в процесі примусового охолодження емульсією у міжкільтовому просторі та катанки у гартувальному пристрої.

Прогнозну формулу змінювання температури розплаву в процесі охолодження у ливарному колесі було отримано за допомогою теплового балансу кристалізатора [5]. Відповідно до розрахунків його статей сумарна кількість теплоти, яку втрачають на нагрівання виливниці, сталеві стрічки, що охоплює мідну виливницю, сталевих дисків ливарного колеса, а також до довкілля та з охолодною водою, складає 347106 Вт [5]. Якщо використовувати наведене значення втрат у рівнянні [6]:

$$Q_{втр} = [C_{роз} \cdot (T_{роз} - T_{пл}) + L + C_{заг} \cdot (T_{пл} - T_{заг_n})] \cdot P_{лм}, \quad (1)$$

де $C_{роз}$, $C_{заг}$ – теплоємність технічного алюмінію за температурами 973 К та 723 К Дж/(кг·К), відповідно, $C_{роз} = 1263$ Дж/(кг·К), $C_{заг} = 1098$ Дж/(кг·К); $T_{роз}$ – температура алюмінієвого розплаву, К, $T_{роз} = 973$ К; $T_{пл}$ – температура плавлення технічного алюмінію, К, $T_{пл} = 971$ К; L – теплота твердіння алюмінієвого розплаву, $L = 362,3$ Дж/кг; $T_{заг_n}$ – температура заготовки на виході з ливарної машини, $P_{лм}$ – продуктивність ливарної машини, кг/с, $P_{лм} = 1,24$ кг/с, – та розв'язати його відносно параметра $T_{заг_n}$, то можна отримати розрахункову температуру заготовки на виході з ливарного колеса:

$$T_{заг_n} = \frac{C_{роз} \cdot T_{роз} - C_{роз} \cdot T_{пл} + L + C_{заг} \cdot T_{пл} - Q_{втр} / P_{лм}}{C_{заг}}. \quad (2)$$

Повітряне охолодження заготовки, на шляху від кристалізатора до прокатного стана, а також катанки в процесі укладання її у бунт. можна обчислити, визначивши променисте та конвективне передавання теплоти до навколишнього середовища. Відповідно до закону Ньютона [7] питомий тепловий потік дорівнює:

$$q = \alpha_{\Sigma} \cdot (T_n - T_{нов}), \text{ Вт/м}^2 \quad (3)$$

де $\alpha_{\Sigma} = \alpha_{кон} + \alpha_{вип}$ – сумарний коефіцієнт тепловіддавання конвекцією ($\alpha_{кон}$) та випромінюванням ($\alpha_{вип}$), Вт/(м²·К); T_n – початкова температура охолоджувальної ділянки, К; $T_{нов}$ – температура навколишнього середовища (повітря), К.

Коефіцієнт теплопередавання випромінюванням визначають за допомогою закону Стефана-Больцмана [8], а коефіцієнт теплопередавання конвекцією обчислюють з використанням критеріїв Нуссельта Nu та Рейнольдса Re [9].

Тоді температуру заготовки (катанки) наприкінці повітряного охолодження можна визначити за формулою [11]:

$$T_k = \left[T_n \cdot C_0 - \frac{q \cdot k \cdot \Delta\tau}{D \cdot \rho_{ал}} \right] \cdot \frac{1}{C_1}, \quad (4)$$

де T_n , T_k – початкова та кінцева температура заготовки (катанки) на ділянці повітряного охолодження, К; $\Delta\tau$ – час руху заготовки (катанки) на ділянці повітряного охолодження, с; C_0 , C_1 – теплоємність технічного алюмінію у твердому стані за температурами T_n і T_k , відповідно, Дж/(кг·К); $C_0 = C_1 = 1098$ Дж/(кг·К); k – коефіцієнт матеріального навантаження для циліндра; $k = 2$; $\rho_{ал}$ – щільність технічного алюмінію, кг/м³; $\rho_{ал} = 2727$ кг/м³.

Протягом гарячої прокатки температура металу змінюється внаслідок теплового випромінювання, конвективного теплообміну до навколишнього середовища,

теплопровідності (валкам), за дією теплоти, що виділяється в процесі пластичної деформації, а також примусового охолодження емульсією [12]. Оскільки температура заготовки під час гарячої прокатки суттєво впливає на опір деформації, пластичність металу, його структуру та механічні властивості [11], то виникає необхідність управління нею. Тому дослідження температурного режиму прокатки виконано без урахування останньої складової теплового балансу, або на підставі отриманих результатів визначитися з алгоритмом примусового охолодження штаби рідиною. Дослідження виконано за допомогою формули, яку отримано внаслідок розв'язання рівняння теплового балансу та використовують для розрахунків змінювання температури алюмінієвої штаби під час прокатки на реверсивному стані [13]:

$$\Delta T_i = F(T_{i-1}) \cdot \frac{2\tau_i}{h_i} + 56f(5,23\delta \cdot \tau_i) \cdot (T_{i-1} - T_p) \cdot \frac{(R \cdot \Delta h)^{0,5}}{h_i \cdot \omega_i \cdot R} - 4,7 \ln \lambda_i \cdot \frac{K_i}{10}, \quad (5)$$

де ΔT_i – змінювання температури штаби між клітями, К; $\Delta T_i = T_i - T_{i-1}$, T_p , T_{i-1} – температура металу перед і після прокатки у i -тій кліті, К; $F(T_{i-1})$ – функція, яку визначають з відповідного графіка; $f(5,23\delta\tau_i)$ – функція Іванцова, що знаходять зі спеціальної таблиці; τ_i – час проходження штаби між сусідніми клітями, с; h_i – товщина штаби після прокатки, мм; δ – час контакту штаби з валками, с; $\delta_\tau = (R \cdot \Delta h)^{0,5} / (\omega_i \cdot R)$; T_p – середня розрахована температура навколишнього середовища, К; R – радіус валків, мм; Δh – абсолютне обтиснення, мм; ω_c – кутова швидкість валків, c^{-1} ; K_i – середній опір деформації, МПа; λ – коефіцієнт витяжки.

Прокатка заготовки відбувається у калібрах, тому розрахунок її базових параметрів, під час проходження клітей прокатного стану, виконували методом зведеної штаби, де площа поперечного перетину та ширина співпадають з такими самими параметрами заготовки [14]. Середній опір деформації технічного алюмінію визначали за методикою Хензеля-Шпіттеля [15].

Для дослідження змінювання температури штаби у міжклітьовому просторі прокатного стану та катанки у гартувальному пристрої, де примусове охолодження відбувається емульсією, використовували формулу, яку виведено з рівняння теплового балансу, за яким кількість теплоти, що втрачається металом, дорівнює кількості теплоти, котру поглинає вода [11; 16]:

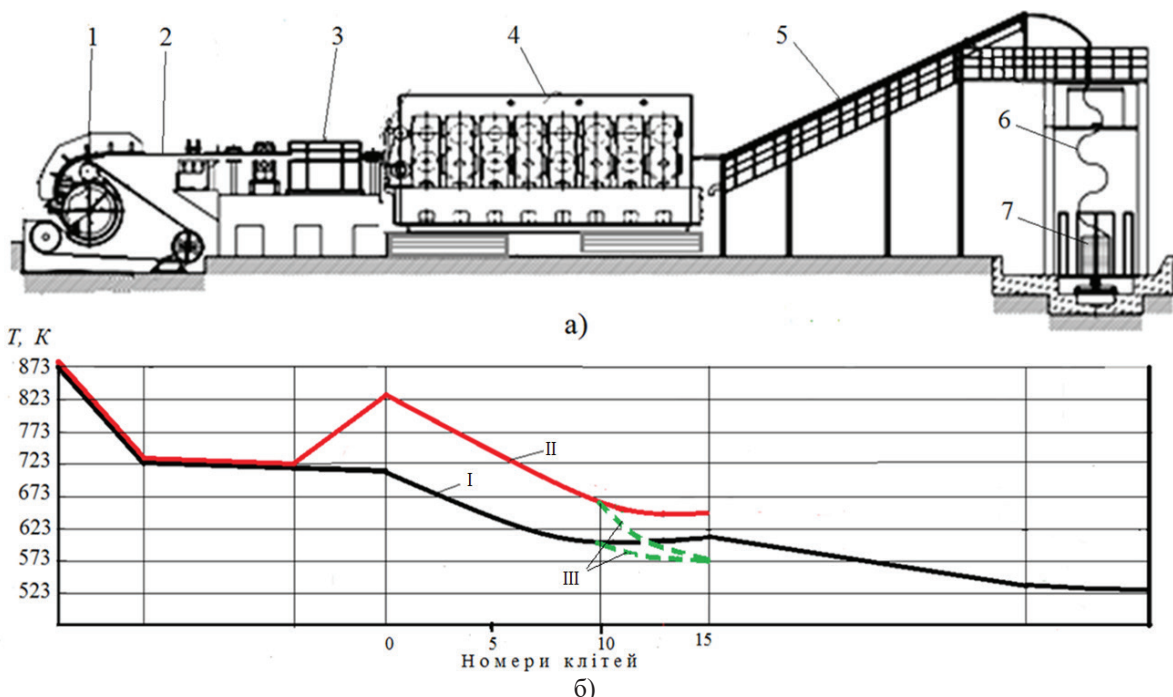
$$T_k = T_n - \frac{C_w \cdot w \cdot k \cdot (T_{вк} - T_{вн})}{3,6 F \cdot V \cdot \rho_{ал} \cdot C_{ал}}, \quad (6)$$

де T_n , T_k – початкова та кінцева температури охолоджувальної ділянки катанки, К; C_w – теплоємність води за температури 303 К, Дж/кг; w – витрата охолодної води, m^3/c ; k – коефіцієнт ефективності охолодження, пов'язаний з втратами води $k = 0,75 \dots 0,80$; $T_{вн}$, $T_{вк}$ – початкова та кінцева температура охолоджувальної води, К; V – швидкість руху катанки на дослідженій ділянці, м/с; $C_{ал}$ – теплоємність технічного алюмінію за температури T_n , Дж/кг.

Результати досліджень. Результати розрахунків прогнозованої температури металу уздовж технологічної лінії ливарно-прокатного агрегату наведено на рис. 1, б, з якого видно, що розплав технічного алюмінію за температури 873 К охолоджується у кристалізаторі до 723 К крива (а). Далі, на шляху до прокатного стану температура заготовки за дією природного повітряного охолодження знижується на 2 градуси.

В прокатному стані втрата теплоти заготовкою суттєво збільшується та її температура на шляху до 11-ої кліті зменшується за законом експоненти з 721 К до 595 К. Такий характер змінювання температури пояснюється тим, що на початковій стадії прокатки загальні втрати теплоти штабою суттєво перевищують кількість теплоти, що виділя-

ється металом під час його деформування. При цьому більше 90% втрат теплоти відбувається за рахунок тепловіддавання валкам стана. За ходом прокатки втрата теплоти штабою зменшується внаслідок зменшення її контактної поверхні та збільшення швидкості руху, а прихід теплоти від зминання у валках збільшується, оскільки зниження температури металу потребує більших зусиль під час його деформування.



1 – ливарне колесо (кристалізатор); 2 – заготовка; 3 – індукційний нагрівач;
 4 – прокатний стан; 5 – пристрій для охолодження; 6 – катанка; 7 – моталка кошикового типу;
 I – за температури заготовки 723 К; II – за температури заготовки 833 К;
 III – під час охолодження штаби після 10-ої кліти прокатного стана
 Рисунок 1 – Технологічна лінія безперервного лиття та прокатки алюмінієвої катанки (а)
 а температурні режими ливарно-прокатного агрегату (б)

Після 11-ої кліти кількість теплоти, що виділяється у процесі пластичної деформації штаби, починає перевищувати втрати і температура катанки збільшується до 604 К на виході з прокатного стана. У гартувальному пристрої її температура, за рахунок примусового охолодження емульсією, знову починає зменшуватися та на виході становить 531 К. Під час укладання катанки у бунт відбувається додаткове охолодження її у навколишньому середовищі до температури 530 К. Похибка прогнозу температури заготовки на виході з ливарного колеса складає 1,7%, а перед прокатним станом 0,8%. Розрахункова температура катанки на виході з прокатного стана відрізняється від фактичної на 3%, а після гартувального пристрою розбіжність складає 1,3%. Модельна температура катанки у кінці технологічної лінії майже співпадає з фактичною.

Як видно з термограми, штаба у прокатному стані швидко охолоджується до температури 595 К навіть без використання емульсії. З урахуванням примусового охолодження валків і штаби рідиною, яке обов'язково відбувається на діючих ЛПА, температура штаби ще більше знизиться та для управління тепловим режимом не залишиться достатнього температурного діапазону, оскільки за технологією температура штаби на виході з прокатного стана має бути в межах 573 К. Окрім того, прокатка в умовах занижених температур є менш економічною, оскільки потребує більших енергетичних витрат під час деформування металу [17].

У зв'язку з цим виконано дослідження температурного режиму в прокатному стані за підвищеною початковою температурою заготовки 833 К, яку можна забезпечити за допомогою індукційного нагрівача, рис. 1, б, крива *b*. Як видно з термограми характер змінювання температури є таким самим, як у випадку *a*, але зниження температури закінчується у 13 кліті, де вона має значення 647 К і до кінця прокатування залишається майже на цьому рівні.

Таким чином, прокатка штаби за більш високої початкової температури заготовки забезпечує економію енергоресурсів під час деформування металу в валках, проте висока температура в останніх клітках, біля 650 К, не сприяє одержанню штабою структури з дрібним металевим озерненням, а отже і необхідного ліміту міцності катанки – одного з важливіших показників якості. У зв'язку з цим для забезпечення більш економічної роботи прокатного стану та одержання бажаних механічних властивостей катанки, управління температурним режимом стану потрібно виконувати з огляду на температуру штаби наприкінці прокатки, тобто управляти витратою емульсії не на весь прокатний стан, як це зазвичай відбувається, а тільки в зону охолодження після 10-ої кліті, де температура штаби практично не змінюється і додаткове зниження температури до 573 К на останніх етапах прокатки (рис. 1, б, крива *c*), створить умови для покращення її структури й одержання катанки з бажаним лімітом міцності. Проте висока швидкість прокатки у кінці стану, невелика відстань між клітками і досить значний перепад між поточною та заданою температурами, можуть ставити вимогу більш інтенсивного охолодження штаби, яке можна забезпечити, наприклад, за рахунок використання додаткової витрати води у міжклітьовому просторі [18].

Висновки. Таким чином, на підставі аналізу літературних джерел підібрано формули та рівняння, за допомогою яких можливе визначення прогнозної термограми технологічної лінії з виробництва алюмінієвої катанки на ливарно-прокатному агрегаті, що дає змогу дослідити вплив різноманітних теплових втрат, які відбуваються під час кристалізації металу, на температуру заготовки після ливарного колеса, відстежити та зрозуміти характер змінювання температури штаби від першої до останньої кліті прокатного стану, обчислити температуру катанки після її охолодження у гартувальному пристрої. Все це дає можливість обґрунтовано коригувати технологію на окремих ділянках ливарно-прокатного агрегату й удосконалювати алгоритми управління технологічними параметрами та механізмами.

Бібліографічний перелік

1. Техническая документация технологической линии по производству алюминиевой катанки. «Continuous Properzi S.P.A.». 1992.
2. Rosenber Yu.A., Shokhirev N.V., Korkushko V.S. On the singular expansion method applied to the analysis of a diffractiol ineshape. Thirteenth Internatinal Congress. Internat in aluminium of crystallography. 18 August, 1984. «Acta. Crystallography», Hamburg, 1984. A 40, S 4, C 435.
3. Хэтч Дж. Е. Алюминий: свойства и физическое металловедение : справ. изд-е ; пер. с англ. Москва : Металлургия, 1989. 422 с.
4. Клейменова Ю.Ю., Ерхина В.Ф. Исследование структуры и свойств катанки из алюминиевого сплава АВЕ, полученной совмещенными методами. Сибирский федеральный университет. Красноярск, 2016. С. 91–94.
5. Ніколаєнко, А.М., Трегулова І.П., Баріщенко О.М. Дослідження теплообміну у роторній ливарній машині. *Металургія : наукові праці Запорізької державної інженерної академії*. Запоріжжя : РВВ ЗДІА, 2017. Вип. 1(41). С. 64–69.
6. Черняк С.Н., Коваленко П.А., Симонов В.Н. Бесслитковая прокатка алюминиевой ленты. Москва : Металлургия, 1976. 136 с.
7. Телегин А.С., Гордон Я.М., Зобнин Б.Ф., Казяев М.Д. Теплотехнические расчеты металлургических печей. Москва : Металлургия, 1993. 368 с.

8. Михеев М.А., Михеева И.М. Основы теплопередачи. Москва : Энергия, 1977. 344 с.
9. Юдаев Б.Н. Теплопередача. Москва : Высшая школа, 1981. 319 с.
10. Никитенко Н.И. Теория тепломассопереноса. Киев : Наукова думка, 1983. 352 с.
11. Шилов В.А., Пономарев А.А., Николаев М.С. Моделирование температурных режимов прокатки на новом мелкосортно-проволочном стане. Труды международной научно-технической конференции «Современные металлические материалы и технологии» (СММТ-2011). 21-24.06.2011. СПб : Изд-во Сан-Петербургского политехнического университета, 2011. С. 70–71.
12. Никитин Г.С., Восканьянц А.А., Крюков К.А. Расчет энергосиловых параметров при горячей прокатке в непрерывной группе сортового стана: метод. указания. Москва : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2010. 28 с.
13. Сидельников С.Б., Константинов И.Л., Ворошилов Д.С. Технология прокатки : учебник. 3-е изд., доп. и перераб. Красноярск : Сибирский федеральный университет, 2016. 180 с.
14. Загиров Н.Н., Константинов И.Л., Иванов Е.В. Основы расчетов процессов получения длинномерных металлоизделий методами обработки металлов давлением : учеб. пособие. Красноярск : Сибирский федеральный университет, 2011. 312 с.
15. Остапенко А.Л., Курдюкова Л.А. Сопротивление деформации алюминия, меди и их сплавов. *Производство проката*. 2011. № 1. С. 10–24.
16. Яловой Н.И., Тылкин М.А., Полухин П.И., Васильев Д.И. Тепловые процессы при обработке металлов давлением. Москва : Высшая школа, 1973. 631 с.
17. Жучков С.М., Кулаков Л.В., Лохматов А.П. Исследование влияния технологических факторов на температурный режим прокатки на непрерывном мелкосортном стане. Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии : сб. науч. тр. ИЧМ. Киев : Наукова думка. 2001. Вып. 4. С. 121–127.
18. Генкин А.Л., Куделин Р.А., Шаталов Р.Л. Алгоритм и система управления показателями качества полосы при горячей прокатке с межклетевым охлаждением раската. *Производство проката*. 2007. № 9. С. 30–36.

References

1. Tekhnicheskaya dokumentaciya tekhnologicheskoy linii po proizvodstvu alyulinievoy katanki. «Continuous Properzi S.P.A.». 1992.
2. Rosenber Yu.A., Shokhirev N.V., Korkushko V.S. On the singular expansion method applied to the analysis of a diffraction in shape. Thirteenth International Congress. International in aluminium of crystallography. 18 August, 1984. «Acta. Crystallography», Hamburg, 1984. A. 40, S 4, C 435.
3. Khetch, Dzh. E. Aluminium: svoystva i fizicheskoe metallovedenie : spravochnik. Izd-e; per. s ang. Moskva : Metallurgiya, 1989. 422 s.
4. Klejmeneva Yu.Yu., Erkhina V.F. Issledovanie struktury i svoystv katanki iz alyuminievogo splava AVE, Poluchennoy sovmeshchennymi metodami. Sibirskiy federal'nyy universitet. Krasnoyarsk, 2016. S. 91–94.
5. Nikolaenko, A.N., Tregulova I.P., Barishenko O.N. Doslidzhennya teploobminu u rotorniy lyvarniy mashini. *Metallurgiya : nauk praci Zaporiz'koj dezhavnoj inzhenernoj akademii*. Zaporizhzhya : RVV ZDIA, 2017. Iss. 1(41). S. 64–69.
6. Chernyak S.N., Kovalenko P.A., Simonov V.N. Besslitkovaya prokatka alyuminievoy lenty. Moskva : Metallurgiya, 1976. 136 s.
7. Telegin A.S., Gordon Ya.M., Zobnin B.F., Kazyaev M.D. Teplotekhnicheskie raschety metallurgicheskikh pechey. Moskva : Metallurgiya, 1993. 368 s.
8. Mikheev M.A., Mikheeva I.M. Osnovy teploperedachi. Moskva : Energiya, 1977. 344 s.
9. Yudaev B.N. Teploperedacha. Moskva : Vysshaya shkola, 1981. 319 s.
10. Nikitenko N.I. Teoriya teplomassoperenosa. Kiev : Naukova dumka, 1983. 352 s.
11. Shilov V.A., Ponomarev A.A., Nikolaev M.S. Modelirovanie temperaturnykh rezhimov prokatki na novom melkosortno-prokatnom stane. Trudy mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferencii «Sovremennye metallucheskije materially i tekhnologii» (SMMT-2011). 21-24.06.2011. SPb : Izd-vo San-Petrburgskogo politekhnicheskogo universiteta, 2011. S. 70–71.
12. Nikitin G.S., Voskan'yanc A.A., Kryukov K.A. Raschet energosilovykh parametrov pri goryachey prokatke v nepreryvnoy gruppe sortovogo stana: metod. ukazaniya. Moskva : Izd-vo MGTU im. N.E. Bauman, 2010. 28 s.
13. Sidel'nikov S.B., Konstantinov I.L., Voroshilov D.S. Tekhnologiya prokatki : uchebник. 3-e izd., dop. i pererab. Krasnoyarsk : Sibirskiy Federal'nyy Universitet, 2016. 180 s.

14. Zagirov N.N., Konstantinov I.L., Ivanov E.B. Osnovy raschetov processov polucheniya dlinomernykh metalloizdeliy metodami obrabotki metallov davleniem. ucheb. posobie. Krasnoyarsk : Sibirskiy Federal'nyy Universitet, 2011. 312 s.

15. Ostapenko A.L., Kurdyukova L.A. Sopotivlenie deformacii alyuminiya, medi i ikh splavov. *Proizvodstvo prokata*. 2011. No 1. S. 10–24.

16. Yalovoy N.I., Tylkin M.A., Polukhin P.I., Vasil'ev D.I. Teplovye processy pri obrabotke metallov davleniem. Moskva : Vysshaya shkola, 1973. 631 s.

17. Zhuchkov S.M., Kulakov L.V., Lokhmatov A.P. Issledovanie bliyaniya tekhnologicheskikh faktorov na temperaturnyy rezhim prokatki na nepreryvnom melkosortnom stane. *Naukova dumka*, 2001. Iss. 4. S. 121–127.

18. Genkin A.L., Kudelin R.A., Shatalov R.L. Algoritm i sistema upravleniya pokazatelyami kachestva polosy pri goryachey prokatke s mezhklet'evym okhlazhdeniem raskata. *Proizvodstvo prokata*. 2007. No 9. S. 30–36.

Nikolaenko Anatoliy, professor, candidate of technical sciences, Zaporozhe national university. ORCID: 0000-0002-2588-6907

PREDICTION OF METAL TEMPERATURE IN PRODUCTION ALUMINIUM WIRE ROD

A method is proposed for calculating the temperature schedule in the technological line of a casting and rolling unit (LPA) for the production of aluminum wire rod. The technique was created on the basis of an analysis of literary sources devoted to the mathematical modeling of similar processes. Temperature prediction is carried out using formulas and equations existing in the literature, which are used to calculate: the change in the temperature of the ingot in the process of cooling the mold with water; air cooling of the billet on the way from the mold to the rolling mill and wire rod when laying it in a coil; change in strip temperature during hot rolling; decrease in the temperature of the strip during forced cooling by emulsion in the rolling mill and wire rod in the quenching device. The error in predicting the temperature of the billet at the exit from the casting wheel is 1.7%, and in front of the rolling mill 0.8%. The calculated temperature of the wire rod at the exit from the rolling mill differs from the actual one by 3%, and after the quenching device the discrepancy is 1.3%. The simulated wire rod temperature at the end of the production line almost coincides with the actual one. The presence of a mathematical model of the thermogram of an aluminum ingot makes it possible to study the effect of various heat losses occurring during metal crystallization on the temperature of the workpiece after the casting wheel, see and understand the nature of the change in the temperature of the strip from the first to the last stand of the rolling mill, calculate the temperature of the wire rod after its cooling in the quenching device. All this makes it possible to reasonably correct the technology in individual sections of the casting and rolling unit and improve the control algorithms for technological parameters and mechanisms.

Keywords: casting and rolling unit, temperature prediction, aluminum wire rod, graph, mathematical model

Стаття надійшла: 26.03.2021 р.