



<https://doi.org/10.21122/1683-6065-2026-2-70-75>
УДК 621.746.047:669.054.2

Поступила 11.12.2025
Received 11.12.2025

РАЗВИТИЕ ТЕХНОЛОГИИ СИСТЕМЫ РАЗЛИВКИ СТАЛИ–ПРОКАТКИ–ВОЛОЧЕНИЯ, СОЗДАННОЙ НА БАЗЕ МАШИНЫ НЕПРЕРЫВНОГО ЛИТЬЯ И ДЕФОРМАЦИИ ЗАГОТОВКИ

В. В. ТОЧИЛКИН, С. И. ПЛАТОВ, С. В. МИХАЛЕВ, Л. Ф. КЕРИМОВА, А. В. МИХАЛЕВ,
Магнитогорский государственный технический университет им. Г. И. Носова,
г. Магнитогорск, Россия, пр. Ленина, 38. E-mail: toch56@mail.ru
М. М. ЛЕРНЕР, ОАО «Уральский трубный завод» («Уралтрубпром»),
г. Первоуральск, Россия, ул. Сакко и Ванцетти, 28. E-mail: 5777799@gmail.com

Рассматриваются технологии и агрегаты системы разлива стали – прокатки – волочения, созданной на базе машины непрерывного литья и деформации (МНЛДЗ). Развитие технологии и агрегатов системы МНЛДЗ, работающих с жидким металлом, создает условия для эффективного формирования заготовки перед ее прохождением в устройстве для деформации МНЛДЗ и далее на агрегатах, обеспечивающих прокатку и волочение. Для определения рациональной формы и параметров корочки металла на выходе из кристаллизатора проведено моделирование процесса движения жидкого металла в кристаллизаторе машины. Определено – для обеспечения эффективного формирования корочки заготовки необходимо обеспечить рациональную юстировку промежуточного ковша относительно кристаллизатора на этапе подготовки системы промежуточный ковш – кристаллизатор к работе.

Ключевые слова. Машина непрерывного литья заготовок (МНЛЗ), прокатка, волочение, промежуточный ковш (ПК), кристаллизатор, моделирование.

Для цитирования. Точилкин, В. В. Развитие технологии системы разлива стали–прокатки–волочения, созданной на базе машины непрерывного литья и деформации заготовки / В. В. Точилкин, С. И. Платов, С. В. Михалев, Л. Ф. Керимова, А. В. Михалев, М. М. Лернер // *Литье и металлургия*. 2026. № 2. С. 70–75. <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2026-2-70-75>.

DEVELOPMENT OF TECHNOLOGY FOR A STEEL CASTING–ROLLING–DRAWING SYSTEM BASED ON A CONTINUOUS CASTING AND DEFORMATION MACHINE

V. V. TOCHILKIN, S. I. PLATOV, S. V. MIKHALEV, L. F. KERIMOVA, A. V. MIKHALEV,
Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia, 38, Lenina Ave. E-mail: toch56@mail.ru
M. M. LERNER, “Uraltrubprom”, Pervouralsk, Russia, 28, Sacco and Vanzetti str. E-mail: 5777799@gmail.com

This article examines the technologies and units of a steel casting, rolling, and drawing system based on a continuous casting and deformation machine (CCDM). The development of CCDM technology and units operating with liquid metal creates the conditions for efficient blank formation before it passes through the CCDM deformation device and then on to the rolling and drawing units. To determine the rational shape and parameters of the metal crust at the exit of the mold, a simulation of the process of movement of liquid metal in the machine mold was carried out. It has been determined that for the efficient formation of the workpiece crust, it is necessary to ensure rational adjustment of the tundish relative to the mold at the stage of preparing the system for operation.

Keywords. Continuous casting machine (CCM), rolling, drawing, tundish (TL), crystallizer, modeling.

For citation. Tochilkin V. V., Platov S. I., Mikhalev S. V., Kerimova L. F., Mikhalev A. V., Lerner M. M. Development of technology for a steel casting–rolling–drawing system based on a continuous casting and deformation machine. *Foundry production and metallurgy*, 2026, no. 2, pp. 70–75. <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2026-2-70-75>.

Важнейшее направление рационального развития и совершенствования технологий и машин непрерывной разлива и деформации для получения непрерывнолитой заготовки связано с широким применением средств, обеспечивающих рациональный процесс деформации заготовки на машине непрерывного литья и далее при прокатке и волочении [1].

На рис. 1 показана компоновка оборудования машины непрерывного литья и деформации заготовок (МНЛДЗ) [1, 3]. Непрерывная разлива обеспечивается агрегатами и устройствами: комплектом

оборудования промежуточного ковша; кристаллизатором; устройством для деформации заготовки, расположенной в зоне вторичного охлаждения.

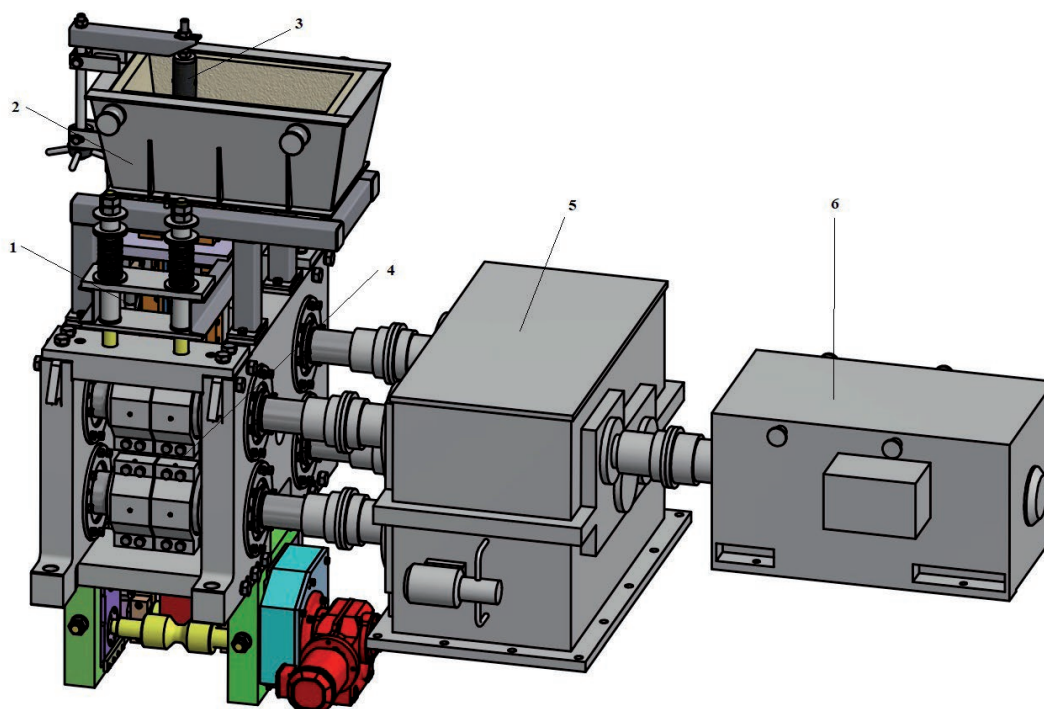


Рис. 1. Схема МНЛДЗ, работающая в системе разлива стали – прокатки – волочения:
1 – кристаллизатор; 2 – промежуточный ковш; 3 – стопор разливочного отверстия промежуточного ковша;
4 – устройство для деформации; 5 – редуктор; 6 – электродвигатель

Анализ специфики работы агрегатов в системе разлива стали – прокатки – волочения показал, что значительная интенсивность напряжений в агрегатах системы разлива стали – прокатки – волочения при волочении (рис. 2) требует получения качественной промежуточной заготовки на этапе непрерывной разлива стали МНЛДЗ [1, 4].

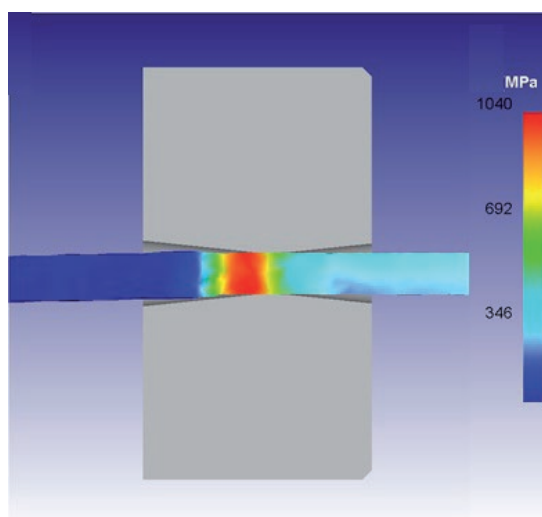


Рис. 2. Интенсивность процесса волочения в агрегатах системы

Подготовка качественной заготовки – основная задача МНЛДЗ (см. рис. 1) [1, 5]. Промежуточный ковш (ПК) 2 и кристаллизатор (КР) 1 являются одними из основных агрегатов МНЛДЗ, их работа в значительной степени определяет устойчивость и стабильность процесса разлива [6]. Основное назначение ПК – согласование поступления металла из сталеразливочного ковша в кристаллизатор с одновременным усреднением состава и температуры поступающей порции металла по ручьям МНЛЗ. Конструкция ПК оказывает большое влияние на повышение качества разливаемого на МНЛЗ металла [7, 8].

В металле, поступающем в ПК, содержатся неметаллические включения (НВ), которые с течением времени всплывают, что связано с меньшей плотностью включения по сравнению с плотностью стали [9, 10].

Основными источниками загрязнения стали неметаллическими включениями являются [1] продукты раскисления стали, частицы шлака и огнеупоров футеровки, продукты вторичного окисления металла. НВ удаляются из расплава в промежуточном ковше за счет всплытия к поверхности и коагуляции [3]. При этом покровный шлак, наводимый на поверхности стали в ПК, должен обеспечивать защиту металла от вторичного окисления атмосферным воздухом и ассимилировать всплывающие частицы.

Всплытие связано с действием на частицу архимедовых сил, что обусловлено разными плотностями стали и НВ. Скорость всплытия зависит от размеров частицы, ее агрегатного состояния (жидкие НВ или твердые), формы и смачиваемости [1, 3].

Разделение НВ на крупные и мелкие связано с тем, что включения размером ≤ 20 мкм практически не удаляются из стали за счет всплытия. В работе [1] отмечается, что под воздействием межфазных поверхностных сил всплытие мелких НВ под действием разности плотностей полностью исключается и они все попадают в затвердевающую заготовку.

Мелкие НВ удаляются из расплава за счет коагуляции. При этом возможны три вида коагуляции: путем коалесценции (слияние жидких частиц), коагуляции (слияние твердых частиц), адгезии (прилипание жидких частиц к твердым).

На коагуляцию влияют концентрация НВ в расплаве, соотношение диаметров крупных $d_{>20}$ и мелких $d_{\leq 20}$ частиц и наличие внешних гидродинамических сил (турбулентное или электромагнитное перемешивание и др.). Наиболее эффективно процесс укрупнения происходит при соотношении размеров $\frac{d_{>20}}{d_{\leq 20}} > 20$ [1, 10].

Типовые конструкции модернизируемых промежуточных ковшей с целью интенсификации процесса рафинирования стали оснащают специальными рафинирующими устройствами. По механизмам рафинирования [7] их можно разделить на газорафинирующие, гидродинамические и фильтрационные (рис. 3).

Газорафинирующие устройства рафинируют металл за счет продувки его инертным газом. К ним относятся различные сопла (цилиндрические или щелевые), пористые блоки, пористые пробки, фурмы и т.д. Флотация неметаллических включений газовыми пузырями и последующий вынос к покровному шлаку способствуют удалению мелких частиц, которые самостоятельно не всплывают к поверхности [1, 7]. Недостатками газорафинирующих устройств являются возникающее переохлаждение металла из-за взаимодействия с «холодным» газом, необходимость оснащения площадки системой подготовки газа и собственно расход инертных газов.

К гидродинамическим устройствам можно отнести устройства, которые за счет своей формы и расположения в промежуточном ковше изменяют течение металла в нем, что способствует удалению неметаллических включений из расплава. К ним можно отнести различные перегородки, пороги, металлоприемники и т.д. [1, 8]. Главным недостатком практически всех гидродинамических устройств является небольшая эффективность удаления мелких неметаллических включений. В то же время они не требуют затрат на эксплуатацию. Некоторые устройства просты в конструкции, что обеспечивает простоту изготовления и монтажа.

Чаще остальных гидродинамических устройств применяются перегородки, которые разделяют объем промежуточного ковша на две и более камеры. Камеру, куда поступает металл из сталеразливочного ковша (СРК), принято называть приемной, камеру, где происходит истечение металла из промежуточного ковша в кристаллизатор – разливочной. В теле перегородок выполняют переливные отверстия, через них происходит истечение металла в разливочные камеры. Затопленные струи, истекающие в разливочную камеру, за счет градиента давления от периферии к оси струи захватывают неметаллические включения, чем и достигается рафинирующий эффект перегородок.

Помимо перегородок в производстве часто применяют пороги [1, 7]. Они позволяют создать восходящие потоки стали, обеспечивают прием первой холодной порции металла. Как правило, пороги применяются совместно с другими гидродинамическими устройствами – перегородками и металлоприемниками [7]. Металлоприемник представляет собой стакан с заплечиками, в который ударяет падающая из сталеразливочного ковша струя металла. Он выполняет следующие функции:

- рассеивается и гасится струя из стакана ковша;
- уменьшается затягивание покровного шлака;

- создаются благоприятные условия для всплытия неметаллических включений;
- улучшается эрозионная защита футеровки проковша и повышается его стойкость;
- уменьшаются всплески.

На практике для достижения максимального эффекта промежуточный ковш оснащают не одним, а несколькими различными рафинирующими устройствами. Комбинации разных гидродинамических устройств образуют систему распределения потоков стали (СРП). Классификация рафинирующих устройств показана на рис. 3.

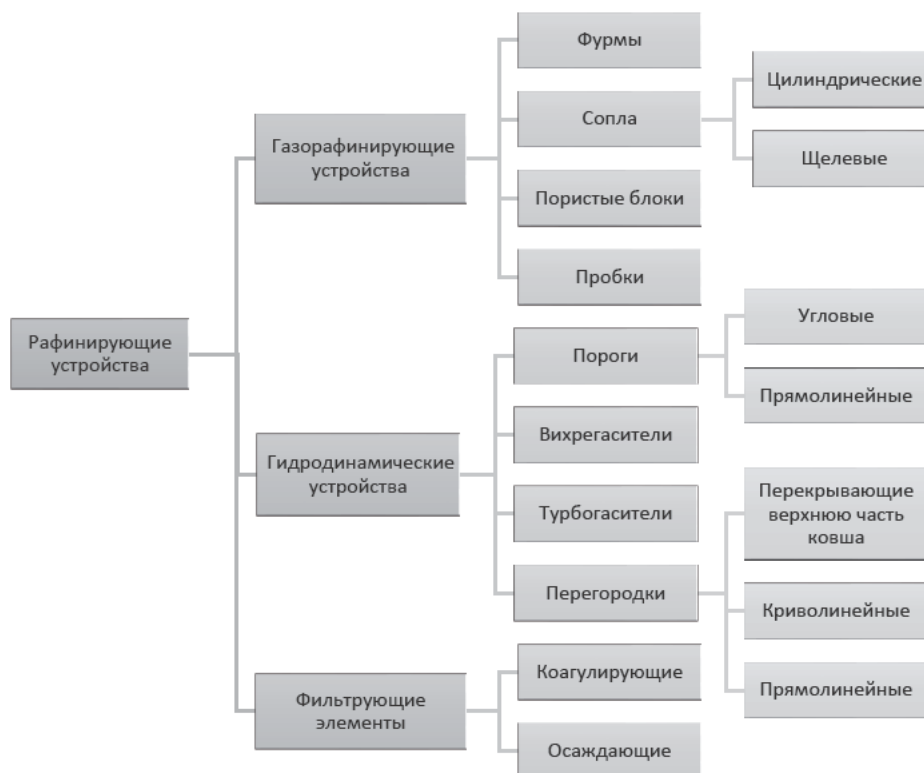


Рис. 3. Основные типы рафинирующих устройств

Герметизация промежуточного ковша может обеспечиваться как техническими средствами, так и с помощью наводимого на поверхности расплава покровного шлака. Последнее в типовых промежуточных ковшах является предпочтительным.

Шлакообразующие покрытия уменьшают потери тепла и вторичное окисление стали. Кроме того, они должны ассимилировать всплывающие неметаллические включения. По ходу разливки защитное покрытие расходуется, и изменяются его физические характеристики в результате ассимиляции всплывающих включений, попадания шлака из сталеразливочного ковша и разрушения футеровки. Интенсивные волнообразные течения на поверхности расплава нарушают сплошности покровного шлака и герметизацию промежуточного ковша.

При использовании шлакообразующих покрытий для снижения вторичного окисления стали необходимо выполнить следующие рекомендации [1]:

- наводить покровный шлак в промежуточном ковше с начала поступления металла;
- осуществлять перелив стали из сталь-ковша в промежуточный по погружным защитным трубам под уровень шлака;
- потоки перемещающегося в ковше металла не должны вызывать колебания открытой поверхности и появления незащищенных участков, способных вызвать повторное окисление стали.

В связи с тем что качество заготовки в большей степени определяется характером конвективных потоков металла в промежуточном ковше, оснащение ПК гидродинамическими устройствами является важным направлением развития технологии непрерывной разливки.

Задача проектирования гидродинамических устройств состоит в определении конструкции и мест их установки в промежуточном ковше. Решение этой задачи возможно при всестороннем анализе источников поступления НВ и механизмов их удаления.

Создана модель для оценки параметров потоков металла для различных этапов разлива металла в системе непрерывного литья – прокатки и волочения. Разработанная модель представляет собой скоростные параметры потоков жидкости и особенности поведения неметаллических включений [1, 3, 7] в ПК и КР. При ее составлении использованы уравнения Навье-Стокса, неразрывности потока, конвективной диффузии [3]. Геометрия модели определяется компоновкой ковша и расположением оборудования внутренней полости ПК [1, 3, 7].

Зависимости имеют вид [1, 7]:

$$\begin{cases} \frac{\partial \bar{V}}{\partial t} + (\bar{V} \cdot \nabla) \bar{V} = \bar{F} - \frac{1}{\rho} \nabla p + \nu \nabla^2 \bar{V}, \\ \nabla \bar{V} = 0, \\ \bar{u} \nabla C - D \nabla^2 C = 0, \end{cases}$$

где \bar{V} – вектор скорости жидкости; \bar{F} – объемные силы; p – давление жидкости; ∇p – градиент давления; ν – коэффициент кинематической вязкости; ∇^2 – лапласиан \bar{V} ; ρ – плотность стали; \bar{u} – вектор скорости движения частиц включений; t – время; ∇ – оператор; C – концентрация примеси; D – коэффициент диффузии.

На рис. 4 представлены картины векторов движущихся потоков жидкого металла в кристаллизаторе в период разлива из промежуточного ковша при рациональном расположении струи металла из ПК. При этом отсутствуют смещения осей струи стали и кристаллизатора.

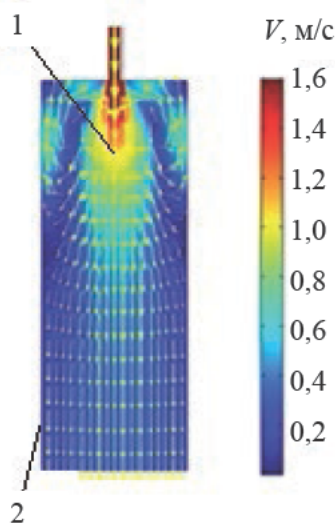


Рис. 4. Расположение векторов потоков металла в кристаллизаторе при отсутствии смещений потока металла относительно продольной оси гильзы: 1 – поток жидкого металла; 2 – гильза кристаллизатора

Картина векторов движущихся потоков жидкого металла показывает:

1. При рациональном расположении струи металла в кристаллизаторе, при отсутствии смещений оси струи относительно продольной оси кристаллизатора формируется равномерная корочка заготовки по всему периметру гильзы КР.
2. Равномерное формирование толщины корочки заготовки способствует созданию рациональной формы заготовки перед деформацией в зоне вторичного охлаждения МНЛДЗ [1].

Выводы

1. Выполненный анализ работы агрегатов в системе разлива стали – прокатки – волочения показал, что значительная интенсивность напряжений при волочении требует получения качественной промежуточной заготовки катанки на этапе непрерывной разлива стали МНЛДЗ.
2. Подготовка качественной заготовки на МНЛДЗ требует решения задачи проектирования рациональных гидродинамических устройств промежуточного ковша машины, при этом необходимо определить их конструкции и места установки в промежуточном ковше.

3. Рациональная форма и размеры корочки металла, получаемой после прохождения кристаллизатора, определяют качественные параметры заготовки, получаемой в агрегате деформации МНЛДЗ. Проведено моделирование процесса движения жидкого металла в кристаллизаторе МНЛДЗ. Определено – для эффективного формирования корочки заготовки необходимо обеспечить юстировку промежуточного ковша относительно кристаллизатора на этапе подготовки системы к работе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Проектирование оборудования литейно-прокатных комплексов: учебник / А.И. Рудской [и др.]. – СПб.: ПОЛИТЕХ-ПРЕС, 2025. – 375 с.
2. Демченко, Е.Б. Охлаждение горизонтальной отливки за пределами кристаллизатора / Е.Б. Демченко, Е.И. Марукович // *Литье и металлургия*. – 2024. – № 1. – С. 16–19.
3. Гидравлический привод литейно-прокатных комплексов: учебник / А.И. Рудской [и др.]. – СПб.: ПОЛИТЕХ-ПРЕС, 2024. – 343 с.
4. Оценка напряженно-деформированного состояния сталемедной проволоки при волочении в монолитной волоке на основе моделирования / Д.В. Терентьев [и др.] // *Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова*. – 2024. – Т. 22, № 3. – С. 170–177.
5. Женин, Е.В. Влияние параметров непрерывной разливки на качество сортовой заготовки / Е.В. Женин, А.Н. Шаповалов // *Теория и технология металлургического производства*. – 2023. – № 2. – С. 26–33.
6. Aksel'rod, L.M. Refractories for continuous casting machines: Experience in the solution of problems and prospects / L.M. Aksel'rod // *Refractories*. – 1993. – № 34. – P. 287–290.
7. Конструкции и расчет металлоприемника промежуточного ковша симметричной многорулевой МНЛЗ / К.Н. Вдовин [и др.] // *Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова*. – 2019. – Т. 17, № 3. – С. 25–30.
8. Промежуточный ковш для непрерывной разливки металла: патент № 2842794 РФ, МПК B22D 41/00; B22D 11/10 / А.В. Михалев, В.В. Точилкин, С.И. Платов, М.М. Лернер, С.В. Михалев, Е.А. Плесняев; заявл. 27.03.2025; опубл. 01.07.2025 // *Бюл.* – 2025. – № 19.
9. Innovations in the construction and reconstruction of continuous-casting machines / V.Y. Avdonin [et al.] // *Steel Transl.* – 2007. – № 37. – С. 614–617.
10. Анисович, А.Г. Антипродукция: к вопросу обнаружения неметаллических включений в стали / А.Г. Анисович // *Литье и металлургия*. – 2025. – № 3. – С. 69–79.

REFERENCES

1. Rudskoy A.I., Platov S.I., Terentyev D.V., Tochilkin V.V. *Proektirovanie oborudovaniya litejno-prokatnykh kompleksov: uchebnik* [Design of equipment for casting and rolling complexes: textbook]. St. Petersburg, POLYTECH-PRES Publ., 2025, 375 p.
2. Demchenko E.B., Marukovich E.I. Ochlazhdenie gorizontальной otlivki za predelami kristallizatora [Horizontal casting cooling beyond the crystallizer]. *Lit'e i metallurgiya = Foundry production and metallurgy*, 2024, no. 1, pp. 16–19.
3. Rudskoy A.I., Platov S.I., Terentyev D.V., Tochilkin V.V. *Gidravlicheskiy privod litejno-prokatnykh kompleksov: uchebnik* [Hydraulic drive of casting and rolling complexes: textbook]. St. Petersburg, POLYTECH-PRES Publ., 2024, 343 p.
4. Terentyev D.V., Usanov M.Yu., Shemetova E.S. [et al.] Ocenka napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya stalemednoy provoloki pri volochenii v monolitnoy voloke na osnove modelirovaniya [Assessment of the stress-strain state of steel-copper wire during drawing in a monolithic die based on modeling]. *Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. G.I. Nosova = Bulletin of Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov*, 2024, vol. 22, no. 3, pp. 170–177.
5. Zhenin E.V., Shapovalov A.N. Vliyanie parametrov nepreryvnoy razlivki na kachestvo sortovoy zagotovki [Influence of continuous casting parameters on the quality of billets]. *Teoriya i tekhnologiya metallurgicheskogo proizvodstva = Theory and technology of metallurgical production*, 2023, no. 2, pp. 26–33.
6. Aksel'rod L.M. Refractories for continuous casting machines: Experience in the solution of problems and prospects. *Refractories*, 1993, no. 34, pp. 287–290.
7. Vdovin K.N., Tochilkin V.V., Dobrynin S.M. [et al.] Konstrukcii i raschet metallopriemnika promezhutochnogo kovsha simmetrichnoy mnogoruch'evoy MNLZ [Design and calculation of the metal receiver of the tundish of a symmetrical multi-strand continuous casting machine]. *Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. G.I. Nosova = Bulletin of Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov*, 2019, vol. 17, no. 3, pp. 25–30.
8. Mihalev A.V., Tochilkin V.V., Platov S.I., Lerner M.M., Mihalev S.V., Plesnyaev E.A. Promezhutochnyj kovsh dlya nepreryvnoy razlivki metalla: patent № 2842794 RF, MPK B22D 41/00; B22D 11/10 [Tundish for continuous metal casting: Russian Federation Patent No. 2842794, IPC B22D 41/00; B22D 11/10], declared 27.03.2025, published 01.07.2025. *Bull.*, 2025, no. 19.
9. Avdonin V.Y., Bulanov L.V., Busygin V.V. [et al.] Innovations in the construction and reconstruction of continuous-casting machines. *Steel Transl.*, 2007, no. 37, pp. 614–617.
10. Anisovich A.G. Antiprodukcija: k voprosu obnaruzheniya nemetallicheskih vkljuchenij v stali [Anti-production: on the issue of detecting non-metallic inclusions in steel]. *Lit'e i metallurgiya = Foundry production and metallurgy*, 2025, no. 3, pp. 69–79.