

## ТЕХНОЛОГИИ ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ MATERIAL PROCESS ENGINEERING

ISSN 1995-2732 (Print), 2412-9003 (Online)  
УДК 621.746.047:669.054.2  
DOI: 10.18503/1995-2732-2024-22-4-106-110



### СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ И ОБОРУДОВАНИЯ МАШИН НЕПРЕРЫВНОГО ЛИТЬЯ И ДЕФОРМАЦИИ МЕТАЛЛА

Лернер М.М.

Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Магнитогорск, Россия

**Аннотация. Постановка задачи (актуальность работы).** В статье рассматриваются технологии и агрегаты машины непрерывного литья и деформации заготовок (МНЛДЗ), работающие с жидким металлом. Развитие технологии и агрегатов МНЛДЗ, работающих с жидким металлом, создает условия для эффективного формирования заготовки перед ее прохождением в устройстве для деформации МНЛДЗ и определяет эффективность процесса деформации и качества получаемой в последующем непрерывнолитой заготовки. Анализ специфики прохождения жидкой стали из разливочного отверстия промежуточного ковша в кристаллизатор позволил создать рациональные параметры расположения оборудования машины. **Цель работы.** Рационализация технологий и агрегатов МНЛДЗ, используя модернизируемые конструкции кристаллизатора и результаты моделирования. **Используемые методы.** Основные законы механики движения жидкой стали – ньютоновской жидкости, находящейся в диапазоне температур, определяемых условиями разливки стали. Используется программный продукт, основанный на применении метода конечных элементов в задачах механики жидкости. **Новизна.** Впервые рассмотрены параметры движения жидкой стали в агрегатах МНЛДЗ, определяющих параметры заготовки перед деформацией в зоне вторичного охлаждения машины. Разработана математическая модель движения жидкого металла в процессе комплексного процесса разливки и деформации на МНЛДЗ. **Результат.** В статье даны рекомендации по рационализации технологий и модернизации агрегатов для обеспечения технологического процесса деформации. Определены необходимые параметры технологического процесса непрерывной разливки и процесса деформации, организованные в едином процессе получения литой заготовки. **Практическая значимость.** Представлена методика оценки совместной работы агрегатов МНЛДЗ, обеспечивающих перемещение жидкого металла. Определены рациональные параметры расположения агрегатов машины для эффективной организации процесса получения заготовки на машине.

**Ключевые слова:** машина непрерывного литья и деформации заготовок (МНЛДЗ), разливка стали, жидкий металл, промежуточный ковш, кристаллизатор, непрерывнолитая заготовка, математическое моделирование

© Шевелев М.М., 2024

#### Для цитирования

Лернер М.М. Совершенствование технологии и оборудования машин непрерывного литья и деформации металла // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2024. Т. 22. №4. С. 106-110. <https://doi.org/10.18503/1995-2732-2024-22-4-106-110>



Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License.  
The content is available under Creative Commons Attribution 4.0 License.

# IMPROVEMENT OF TECHNOLOGY AND EQUIPMENT OF CONTINUOUS CASTING AND METAL DEFORMATION MACHINES

Lerner M.M.

Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia

**Abstract. Problem Statement (Relevance).** The article discusses the technologies and units of the continuous casting and deformation machine (CCDM) working with liquid metal. The development of technology and CCDM units working with liquid metal creates the conditions for effective formation of the blank before its going through the CCDM and determines the efficiency of the deformation process and the quality of the subsequently continuously cast blank. The analysis of the specifics of liquid steel going through from the teeming hole of the intermediate ladle into the mold made it possible to choose the rational parameters of the location of the machine equipment. **Objectives.** It is required to rationalize the technologies and units of the CCDM using the modernized mold designs and simulation results. **Methods Applied.** The basic laws of the mechanics of the liquid steel motion such as a Newtonian fluid located in the temperature range determined by the conditions of steel casting are applied. A software product based on the use of the finite element method in fluid mechanics problems is used. **Originality.** For the first time, the parameters of the liquid steel motion in CCDM units that determine the parameters of the blank before deformation in the secondary cooling zone of the machine are considered. A mathematical model of the liquid metal motion in the process of complex casting and deformation in CCDM has been developed. **Results.** The article gives recommendations for rationalizing technologies and modernizing units to ensure the technological process of deformation. The necessary parameters of the technological process of continuous casting and deformation, organized in a single process of obtaining a cast blank, are determined. **Practical Relevance.** A method for assessing the joint operation of CCDM units that ensure the liquid metal motion is presented. Rational parameters of the location of machine units for the effective organization of the process of obtaining a blank on the machine are determined.

**Keywords:** continuous casting and deformation machine (CCDM), steel casting, liquid metal, intermediate ladle, mold, continuously cast blank, mathematical modeling

## For citation

Lerner M.M. Improvement of Technology and Equipment of Continuous Casting and Metal Deformation Machines. *Vestnik Magnitogorskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2024, vol. 22, no. 4, pp. 106-110. <https://doi.org/10.18503/1995-2732-2024-22-4-106-110>

## Введение

В статье рассмотрены вопросы организации движения потоков стали в системе агрегатов МНЛДЗ [1]: промежуточный ковш (К) – открытая струя (С) – кристаллизатор (КР). Отмечены особенности управления потоками жидкой стали, подаваемой из промежуточного ковша в кристаллизатор МНЛДЗ [2], при этом прохождение потоков металла между широкими стенками кристаллизатора машины требует минимального смещения струи металла, поступающего из разливочного стакана промежуточного ковша в кристаллизатор.

Даны особенности МНЛДЗ, которые обеспечивают рациональное размещение металла, поступающего из промежуточного ковша для формирования корочки металла в кристаллизаторе в соответствии с требованиями устройства для деформирования МНЛДЗ [1, 3].

## Материалы и методы исследования

Компоновка агрегатов МНЛДЗ представлена на рис. 1.

Она выполнена на базе установки для деформации 4 и кристаллизатора 1. Жидкий металл подается в кристаллизатор 1 из промежуточного ковша 2 [1, 4].

На рис. 2 отмечена особенность размещения открытой струи металла в кристаллизаторе МНЛДЗ между широкими стенками. Рассмотрена специфика размещения потока металла между широкими стенками кристаллизатора [5]. Определяющее требование при подаче жидкого металла в кристаллизатор – исключение возможного взаимного смещения оси 4 потока металла 2, поступающего из промежуточного ковша, относительно центральной оси кристаллизатора 3.

Для выявления характера прохождения потоков металла в системе промежуточный ковш – открытая струя – кристаллизатор, а также выявления возможного диапазона отклонений взаимного положения осей потока металла из промежуточного ковша и центральной оси кристаллизатора проведено моделирование движения потоков в рассматриваемой системе агрегатов [6].

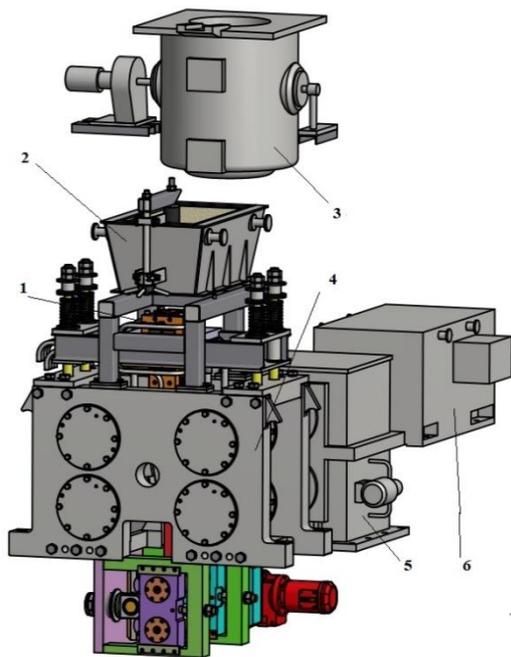


Рис. 1. Компонка МНЛДЗ: 1 – кристаллизатор; 2 – промежуточный ковш; 3 – сталеразливочный ковш; 4 – установка для деформации; 5 – привод; 6 – электродвигатель  
 Fig. 1. CCDM layout: 1 is a mold; 2 is a intermediate ladle; 3 is a steel-teeming ladle; 4 is a deformation unit; 5 is a drive; 6 is a electric motor

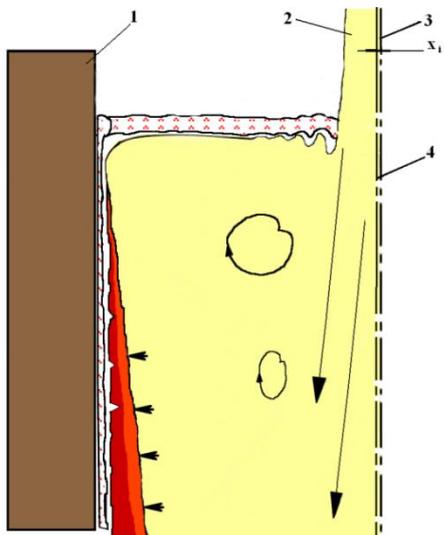


Рис. 2. Размещения открытой струи металла в кристаллизаторе МНЛДЗ: 1 – широкая стенка кристаллизатора; 2 – поток металла; 3 – центральная ось кристаллизатора; 4 – ось потока металла из ковша;  $x_i$  – отклонения осей потока и кристаллизатора между собой  
 Fig. 2. Placement of an open metal jet in the mold of the CCDM: 1 is a wide wall of the mold; 2 is metal flow; 3 is central axis of the mold; 4 is axis of metal flow from the ladle;  $x_i$  is deviations of the axes of the flow and the mold between each other

Полученные результаты и их обсуждение

Модель основных элементов – разливочного отверстия промежуточного ковша и кристаллизатора – представлена на рис. 3. Моделирование движения металла из ковша в кристаллизатор и дальнейшее его размещение там выполнено на базе решения дифференциальных уравнений, определяющих движение потоков стали с учетом уравнений неразрывности потока. Приняты начальные условия: температура, скорости движения потоков, вязкость стали [4, 6].

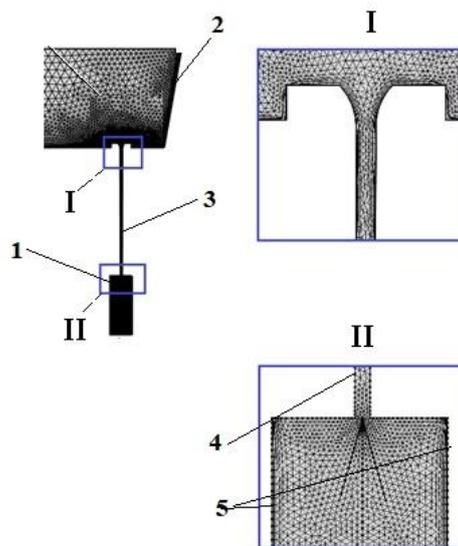


Рис. 3. Сетка модели движения металла из промежуточного ковша в кристаллизатор МНЛДЗ: I – разливочное отверстие ковша; II – сетка модели в кристаллизаторе; 1 – кристаллизатор; 2 – промежуточный ковш; 3 – поток металла из ковша в кристаллизатор; 4 – струя металла, поступающая в кристаллизатор; 5 – боковые широкие стенки кристаллизатора  
 Fig. 3. The model grid of the metal motion from the intermediate ladle into the mold of the CCDM: I is ladle teeming hole; II is model grid in the mold; 1 is mold; 2 is intermediate ladle; 3 is metal flow from the ladle into the mold; 4 is metal jet entering the mold; 5 is side wide walls of the mold

Уравнения представлены в виде

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

где  $\bar{u}$  – вектор скорости жидкости;  $\bar{F}$  – вектор объёмных сил;  $p$  – давление жидкости;  $\nabla p$  – градиент давления;  $\nu$  – коэффициент кинематической вязкости;  $\nabla^2 \bar{u}$  – лапласиан  $\bar{u}$ ;  $\rho$  – плотность стали.

В математической модели были сделаны следующие допущения [6, 7]:

1. Плотность металла постоянная.
2. Жидкий металл и неметаллические включения имеют одни и те же поля давлений.
3. Жидкость – сталь является ньютоновской жидкостью, имеет вязкость и несжимаема.

На **рис. 4** представлен характер размещения линий тока в кристаллизаторе при различных смещениях оси потока металла и центральной оси кристаллизатора. При отсутствии смещения ( $x_i = 0$ ) – отклонения осей потока и кристаллизатора между собой – линии тока металла равномерно расположены в объеме кристаллизатора и омывают стенки кристаллизатора в безвихревом режиме [6, 7]. Это способствует формированию заданной толщины корочки металла на выходе заготовки из кристаллизатора, а также обеспечивает номинальные режимы работы установки для деформации. При наличии смещения – отклонения осей потока и кристаллизатора между собой – линии тока металла в кристаллизаторе смещаются в сторону широкой стенки кристаллизатора 2.

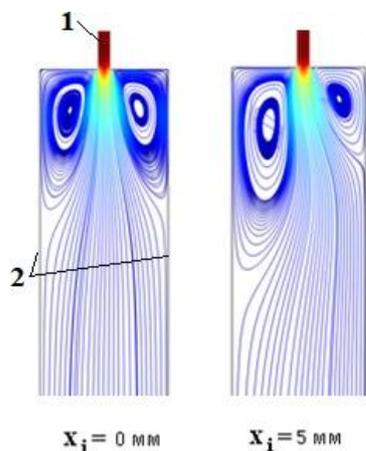


Рис. 4. Линии тока в кристаллизаторе при смещениях потока металла: 1 – поток стали; 2 – широкие стенки кристаллизатора

Fig. 4. Current lines in the mold at metal flow displacements: 1 is steel flow; 2 is wide walls of the mold

При этом возникают вихревые движения в верхней части кристаллизатора. Наличие смещений приводит к одностороннему уменьшению толщины стенки непрерывнолитой заготовки с одной стороны. Это приводит к неравномерному формированию корочки заготовки на выходе из кристаллизатора МНЛДЗ [8, 9] и исключает рациональное течение процесса деформации заготовки, что может также привести к прорыву оболочки заготовки и аварийной ситуации [10, 11].

### Заключение

Таким образом, впервые изучен характер движения потоков металла в системе промежуточный ковш – открытая струя – кристаллизатор МНЛДЗ, что позволило отметить следующее:

1. Выполненное моделирование движения потоков металла в системе промежуточный ковш – открытая струя – кристаллизатор показало наличие вихревого течения жидкого металла в зонах, близких к широким стенкам кристаллизатора машины.

2. Рассмотрены особенности технологии и работа агрегатов машины непрерывного литья и деформации заготовки в период подачи жидкого металла, рациональное взаимное размещение агрегатов при отсутствии смещений осей потока металла и центральной оси кристаллизатора МНЛДЗ создают условия для безвихревого продвижения потоков металла в кристаллизаторе в зоне разливочного отверстия промежуточного ковша машины. Это исключает затягивание неметаллических включений в металл и размыв корочки, что обеспечивает заданную форму заготовки перед деформацией и получение качественной заготовки на выходе из установки для деформации.

3. В процессе монтажа элементов промежуточного ковша – установки гнездового блока с разливочным отверстием – необходимо использовать стенд для заданной ориентации центральной оси разливочного отверстия.

4. При подготовке МНЛДЗ к работе необходимо обеспечить рациональное взаимное размещение оси разливочного отверстия промежуточного ковша и центральной оси кристаллизатора.

### Список источников

1. Михалев А.В. Развитие технологии непрерывного литья и деформации заготовок с применением установки С-CAD // Современные наукоемкие технологии. 2024. № 5-1. С. 71-75.
2. Гуцин В.Н., Ульянов В.А. Совершенствование технологии рафинирования стали в промежуточных ковшах МНЛЗ // Сталь. 2017. Т. 47. № 5. С. 16-20.
3. Design engineering of refractory components for use in refining continuous-cast steel / V.V. Chislavlev, S.V. Feiler, D.V. Boikov [et al.] // Refractories and Industrial Ceramics. 2018, vol. 58, no. 6, pp. 603–607.
4. Development of structures for protection of liquid steel during continuous casting / Tochilkin V.V., Terentyev D.V., Tochilkin Vas.V., Filatova O.A. // Metallurgist. 2023, vol. 66, no. 9–10, pp. 1327–330.
5. Оптимизация гидродинамических характеристик промежуточного ковша УНРС с целью удаления экзогенных неметаллических включений / А. В. Куклев, В. В. Тиняков, Ю. М. Айзин и др. // Металлург. 2004. № 4. С. 47-49.
6. Конструкции и расчет металлоприемника промежуточного ковша симметричной многоручьевой МНЛЗ / Вдовин К.Н., Точилкин Вас.В., Добрынин С.М., Мельничук Е.А., Точилкин В.В. // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2019. Т. 17. № 3. С. 25-30.
7. Tochilkin V.V. Improved hydraulic drive for removal and installation of coke-oven doors // Coke and Chemistry. 2021, vol. 64, no. 8, pp. 377–318.

8. Гидравлический привод и средства автоматизации металлургических машин: учебник / Н.А. Чиченев, В.В. Точилкин, А.В. Нефедов, С.Н. Басков. Ново-троицк: НФ НИТУ «МИСиС», 2017. 198 с.
9. Технология получения многослойных стальных полос на установке совмещенного процесса непрерывного литья и деформации / О.С. Лехов, Б.Н. Гузанов, А.В. Михалев, М.М. Шевелев, Д.Х. Билалов // *Сталь*. 2019. Т. 49. № 11. С. 70-74.
10. Развитие конструкций и методов расчета оборудования разливочных камер промежуточных ковшей машин непрерывного литья заготовок / Точилкин Вик.В., Филатова О.А., Точилкин Вас.В., Камалихина З.В. // *Современные наукоемкие технологии*. 2022. № 7. С. 88-92.
11. Опыт эксплуатации промышленной установки непрерывного литья и деформации C-CAD (continuous casting and deformation) в условиях ОАО «Уральский трубный завод» / Платов С.И., Михалев А.В., Шевелев М.М., Звягина Е.Ю. // *Актуальные проблемы прочности: материалы LXVIII международной научной конференции: Витебск, 27-31 мая 2024 года / под ред. В.В. Рубаника*. Минск: ИВЦ Минфина, 2024. С. 159-161.
5. Kuklev A.V., Tinyakov V.V., Aizin Yu.M. et al. Optimization of the hydrodynamic characteristics of intermediate ladle in order to remove exogeneous non-metallic inclusions. *Metallurg* [Metallurgist]. 2004;(4):47-49. (In Russ.)
6. Vdovin K.N., Tochilkin Vas.V., Dobrynin S.M., Melnichuk E.A., Tochilkin V.V. Designs and calculation of the metal receiver of the intermediate ladle of a symmetrical multigroove CCDM. *Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2019;17(3):25-30. (In Russ.)
7. Tochilkin V.V. Improved hydraulic drive for removal and installation of coke-oven doors. *Coke and Chemistry*. 2021;64(8):377-318.
8. Chichenev N.A., Tochilkin V.V., Nefedov A.V., Baskov S.N. *Gidravlicheskiy privod i sredstva avtomatizatsii metallurgicheskikh mashin: uchebnoe posobie* [Hydraulic drive and automation of metallurgical machines: textbook]. Novotroitsk: Novotroitsk branch of the National Research Technological University MISiS, 2017, 198 p. (In Russ.)
9. Lekhov O.S., Guzanov B.N., Mihalev A.V., Shevelev M.M., Bilalov D.H. Technology for producing multi-layer steel bars on the combined continuous casting and deformation unit. *Stal* [Steel], 2019;49(11):819-823. (In Russ.)
10. Tochilkin Vic.V., Filatova O.A., Tochilkin Vas.V., Kamalikhina Z.V. Development of designs and calculation methods for equipment of casting chambers of intermediate ladles of continuous casting machines. *Sovremennye naukoemkie tekhnologii* [Modern Science-Intensive Technologies], 2022;(7):88-92. (In Russ.)
11. Platov S.I., Mikhalev A.V., Shevelev M.M., Zvyagina E.Yu. Experience in operating an industrial unit of continuous casting and deformation C-CAD (continuous casting and deformation) in the conditions of JSC Ural Pipe Plant. *Aktualnye problemy prochnosti: materialy LXVIII mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii* [Actual problems of strength: proceedings of the 68th International Scientific Conference]. Minsk: Information and Computing Center of the Ministry of Finance, 2024, pp. 159-161. (In Russ.)

#### References

1. Mikhalev A.V. Development of technology of continuous casting and deformation of blanks with the use of the C-CAD installation. *Sovremennye naukoemkie tekhnologii* [Modern Science-Intensive Technologies], 2024;(5-1):71-75. (In Russ.)
2. Gushchin V.N., Ulianov V.A. Improvement of steel refining technology in intermediate ladle of the CCDM. *Stal* [Steel], 2017;47(5):320-324. (In Russ.)
3. Chislavlev V.V., Feiler S.V., Boikov D.V. et al. Design engineering of refractory components for use in refining continuous-cast steel. *Refractories and Industrial Ceramics*. 2018;58(6):603-607.
4. Tochilkin V.V., Terentyev D.V., Tochilkin Vas.V., Filatova O.A. Development of structures for protection of liquid steel during continuous casting. *Metallurgist*. 2023;66(9-10):327-330.

Поступила 26.09.2024; принята к публикации 11.10.2024; опубликована 24.12.2024  
Submitted 26/09/2024; revised 11/10/2024; published 24/12/2024

**Лернер Максим Михайлович** – кандидат технических наук, соискатель кафедры машин и технологии обработки давлением и машиностроения, Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Магнитогорск, Россия.  
Email: 5777799@gmail.com.

**Maxim M. Lerner**– PhD (Eng.), Candidate of the Department of Machines and Technology of Pressure Treatment and Mechanical Engineering, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia.  
Email: 5777799@gmail.com