



<https://doi.org/10.21122/1683-6065-2024-3-23-28>
УДК 669

Поступила 30.07.2024
Received 30.07.2024

ПОДБОР ВНУТРЕННЕЙ КОНСТРУКЦИИ ГИЛЬЗ КРИСТАЛЛИЗАТОРОВ ДЛЯ РАЗЛИВКИ НЕПРЕРЫВНОЛИТЫХ ЗАГОТОВОК ДИАМЕТРОМ 200 ММ

И. А. БОНДАРЕНКО, П. В. ВОЛОДЬКИН, И. А. КОВАЛЕВА,

ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК»,

г. Жлобин, Гомельская обл., Беларусь, ул. Промышленная, 37. E-mail: vav.icm@bmz.gomel.by

Кристаллизатор – самый ответственный и наиболее важный функциональный узел машины непрерывного литья заготовок (МНЛЗ). Он является основным технологическим узлом МНЛЗ, агрегатом для отвода теплоты при кристаллизации затвердевающего металла и формировании слитка. Основное требование к кристаллизатору – обеспечить максимальный теплоотвод от затвердевающей стали к охлаждающей воде и получить на выходе из кристаллизатора прочную оболочку слитка с хорошей поверхностью, которая не разрушалась бы под действием тепла жидкой фазы и ферростатического давления. При проведении реконструкции МНЛЗ компанией-подрядчиком были разработаны чертежи кристаллизаторов и гильз кристаллизаторов с двухконусной внутренней геометрией для разлива непрерывнолитых заготовок диаметром 200 мм. Непрерывнолитая заготовка диаметром 200 мм является заготовкой для производства горячекатаных стальных бесшовных труб. В процессе эксплуатации гильз кристаллизаторов с двухконусной внутренней геометрией отмечали ускоренный износ защитного покрытия в нижней части гильзы, а также повышенную отсортировку горячекатаных труб по дефектам на наружной поверхности труб. С целью выявления причины образования дефектов проведены комплексные металлографические исследования наружной поверхности труб. В результате металлографического исследования выявлены поверхностные дефекты, классифицируемые как сталеплавильные плены на наружной поверхности труб. Для минимизации дефекта «сталеплавильная плена» и уменьшения износа защитного покрытия гильз кристаллизаторов проведена работа по подбору оптимальных условий кристаллизации непрерывнолитой заготовки: исследовано применение гильз кристаллизаторов с трехконусной внутренней геометрией по сравнению с двухконусной; опробовано поддержание разницы температуры воды на вход и выход из кристаллизатора в заданных пределах (ΔT). Установлено, что применение гильз кристаллизатора с трехконусной внутренней геометрией при разливе заготовки диаметром 200 мм и стабильное поведение параметра ΔT позволило обеспечить необходимое качество поверхности бесшовных труб, уменьшить износ защитного покрытия гильз кристаллизаторов и увеличить производительность МНЛЗ.

Ключевые слова. Кристаллизатор, узел машин непрерывного литья, гильзы кристаллизаторов, двух- и трехконусная геометрия, металлографические исследования, микроскоп отраженного света, травление в реактиве «Nital», электронный сканирующий микроскоп, параметр ΔT .

Для цитирования. Бондаренко, И. А. Подбор внутренней конструкции гильз кристаллизаторов для разлива непрерывнолитых заготовок диаметром 200 мм / И. А. Бондаренко, П. В. Володькин, И. А. Ковалева // Литье и металлургия. 2024. № 3. С. 23–28. <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2024-3-23-28>.

SELECTION OF INTERNAL DESIGN OF CRYSTALLIZER SLEEVES FOR CONTINUOUS CASTING OF 200 MM BILLETS

I. A. BONDARENKO, P. V. VOLODKIN, I. A. KOVALEVA,

OJSC “BSW – Management Company of Holding “BMC”,

Zhlobin, Gomel region, Belarus, 37, Promyshlennaya str. E-mail: vav.icm@bmz.gomel.by

The crystallizer is the most critical and most important functional unit of a continuous casting machine (hereinafter referred to as CCM). It is the main technological unit of the CCM, an assembly for removing heat during the solidification of the solidifying metal and the formation of the ingot. The main requirement for the crystallizer is to provide maximum heat removal from the solidifying steel to the cooling water, and to obtain a strong ingot shell with a good surface at the outlet of the crystallizer, which would not be destroyed by the heat of the liquid phase and the ferrostatic pressure. During the reconstruction of the CCM by the contractor company, drawings of crystallizers and crystallizer sleeves with a double-cone internal geometry for casting 200 mm continuous cast billets were developed. The 200 mm continuous cast billet is a billet for the production of hot-rolled seamless steel pipes. During the operation of the crystallizer sleeves with a double-cone internal geometry, an accelerated wear of the protective coating in the lower part of the sleeve was noted, as well as an increased rejection of hot-rolled pipes due to defects on the outer

surface of the pipes. In order to identify the cause of the defect formation, complex metallographic studies of the outer surface of the pipes were carried out. As a result of the metallographic study, surface defects classified as steel mill scale on the outer surface of the pipes were identified. To minimize the "steel mill scale" defect and reduce the wear of the protective coating of the crystallizer sleeves, work was carried out to select the optimal conditions for the crystallization of the continuous cast billet: the use of crystallizer sleeves with a three-cone internal geometry compared to a double-cone was investigated; maintaining the temperature difference of the water at the inlet and outlet of the crystallizer within specified limits (ΔT) was tested. It was found that the use of a crystallizer sleeve with a three-cone internal geometry for casting 200 mm billets and the stable behavior of the ΔT parameter made it possible to ensure the required quality of the surface of seamless pipes, reduce the wear of the protective coating of the crystallizer sleeves and increase the productivity of the CCM.

Keywords. Crystallizer, continuous casting machine unit, crystallizer sleeves, double- and three-cone geometry, metallographic examination, reflected light microscope, Nital etching, scanning electron microscope, ΔT parameter.

For citation. Bondarenko I.A., Volodkin P.V., Kovaleva I.A. Selection of internal design of crystallizer sleeves for continuous casting of 200 mm billets. *Foundry production and metallurgy*, 2024, no. 3, pp. 23–28. <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2024-3-23-28>.

Эффективность работы МНЛЗ на протяжении последних десятилетий является одним из основных показателей технического уровня предприятия черной металлургии. Кристаллизатор – самый ответственный и наиболее важный функциональный узел МНЛЗ. Он является агрегатом для отвода теплоты при кристаллизации затвердевающего металла и формировании слитка. Данный агрегат определяет эффективную работу МНЛЗ, ее производительность и качество получаемой непрерывной заготовки [1].

Гильзовый кристаллизатор – основной технологический узел МНЛЗ. В технологическом процессе непрерывного литья стали кристаллизатору отведена одна из самых основных функций – формирование слитка требуемого сечения. Естественно, что производительность машины и качество слитка во многом определяются тем, насколько кристаллизатор удовлетворяет всем технологическим требованиям. Гильза – главный сменный рабочий инструмент кристаллизатора, в котором формируется оболочка заготовки. От конструкции гильзы кристаллизатора зависят качество непрерывной заготовки и максимально допустимые скорости разливки.

Освоение производства непрерывнолитой заготовки диаметром 200 мм в условиях ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК» было начато в 2009 г. после проведения реконструкции МНЛЗ-3. При проведении реконструкции компания-подрядчик разработала чертежи кристаллизаторов и гильз кристаллизаторов для разливки непрерывнолитых заготовок диаметром 200 мм. Разработанные гильзы кристаллизаторов имели двухконусную геометрию: первый конус – 1,90%/м; второй конус – 1,10%/м. В процессе эксплуатации данных гильз кристаллизаторов отмечали ускоренный износ защитного покрытия в нижней части гильзы, а также повышенную отсортировку горячекатаных труб по дефектам на наружной поверхности труб.

С целью выявления причины образования дефектов проведены комплексные металлографические исследования наружной поверхности труб. Все исследованные дефекты представляли собой отслоение металла продольной ориентации на наружной поверхности, соединенное с трубой одной стороной, расположенные по винтовой линии (рис. 1, а, 2, а).

При микроструктурном исследовании в светлом поле зрения с помощью инвертированного металлографического микроскопа отраженного света Olympus GX-51 с цифровой системой обработки изображений на нетравленных микрошлифах образцов № 1, 2 выявлены поверхностные дефекты, расположенные под углом к поверхности. В полостях дефектов обнаружена окалина (рис. 1, б, 2, б). После травления в реактиве «Nital» выявлено обезуглероживание и выстроенные крупные зерна феррита (рис. 1, в, 2, в). После травления микрошлифов в реактиве «Обергоффера» [2] участков белого цвета (интенсивность окраски зависит от степени сегрегации) не обнаружено (рис. 1, г, 2, г).

В результате металлографического исследования образца № 1 выявлен поверхностный дефект, классифицируемый как сталеплавильная плена на наружной поверхности трубы максимальной глубиной залегания 0,61 мм.

Поверхностный дефект образца № 2 классифицирован как «сталеплавильная плена» на наружной поверхности трубы максимальной глубиной залегания 0,37 мм.

Для более детального определения химического состава включений, расположенных в полости дефектов, образцы были исследованы на сканирующем электронном микроскопе Vega II LSH с системой микроанализа INCA Energy 350.

Химический состав включений в полости дефекта показал наличие таких элементов, как Ni, Cu, Mn, Si, Cr, Fe, Mo, Sn. Выявленная медь, а также никель и хром в полости дефектов на наружной поверхности

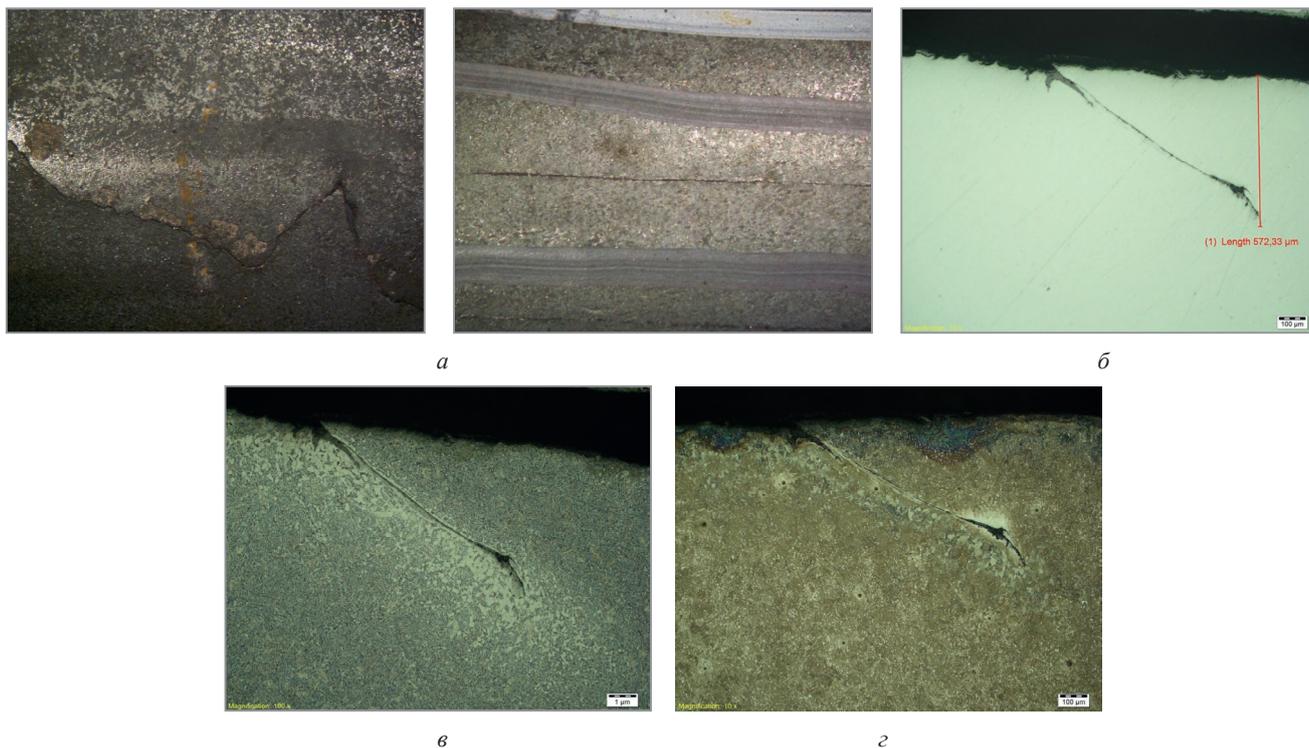


Рис. 1. Образец № 1: *a* – внешний вид; *б* – микрошлиф нетравленный; *в* – травленный в реактиве «Nital»; *г* – травленный в реактиве «Обергоффера»

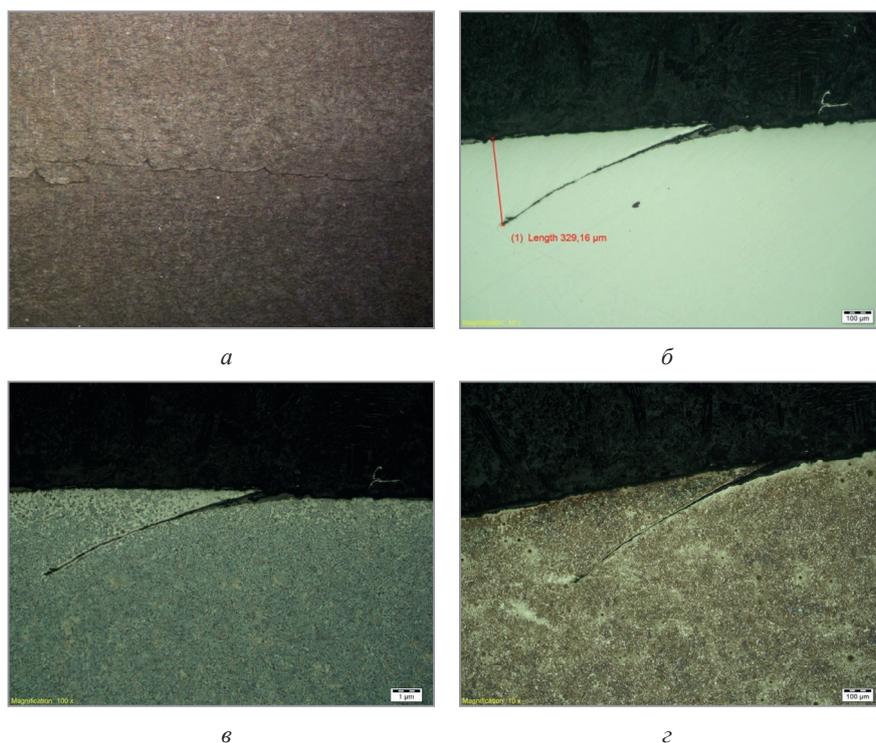


Рис. 2. Образец № 2: *a* – внешний вид; *б* – микрошлиф нетравленный; *в* – травленный в реактиве «Nital»; *г* – травленный в реактиве «Обергоффера»

горячекатаных труб свидетельствовали о проникновении этих элементов вследствие их диффузии со стенок кристаллизатора при разливке металла.

Для снижения отсортировки по дефекту «сталеплавильная плена» была проведена работа по подбору оптимальных условий кристаллизации непрерывнолитой заготовки, которую проводили в двух направлениях: подбор оптимальной внутренней геометрии гильз кристаллизаторов для кристаллизации заготовки диаметром 200 мм и поддержание параметра ΔT (ΔT – разница температуры воды на вход

и выход из кристаллизатора в заданных пределах). Поддержание параметра ΔT в заданных пределах осуществляли путем изменения расхода воды на кристаллизатор в зависимости от его изменения.

Проведены испытания гильз кристаллизаторов с трехконусной внутренней геометрией: первый конус – 3,04 мм/м; второй – 2,24; третий – 1,35 мм/м.

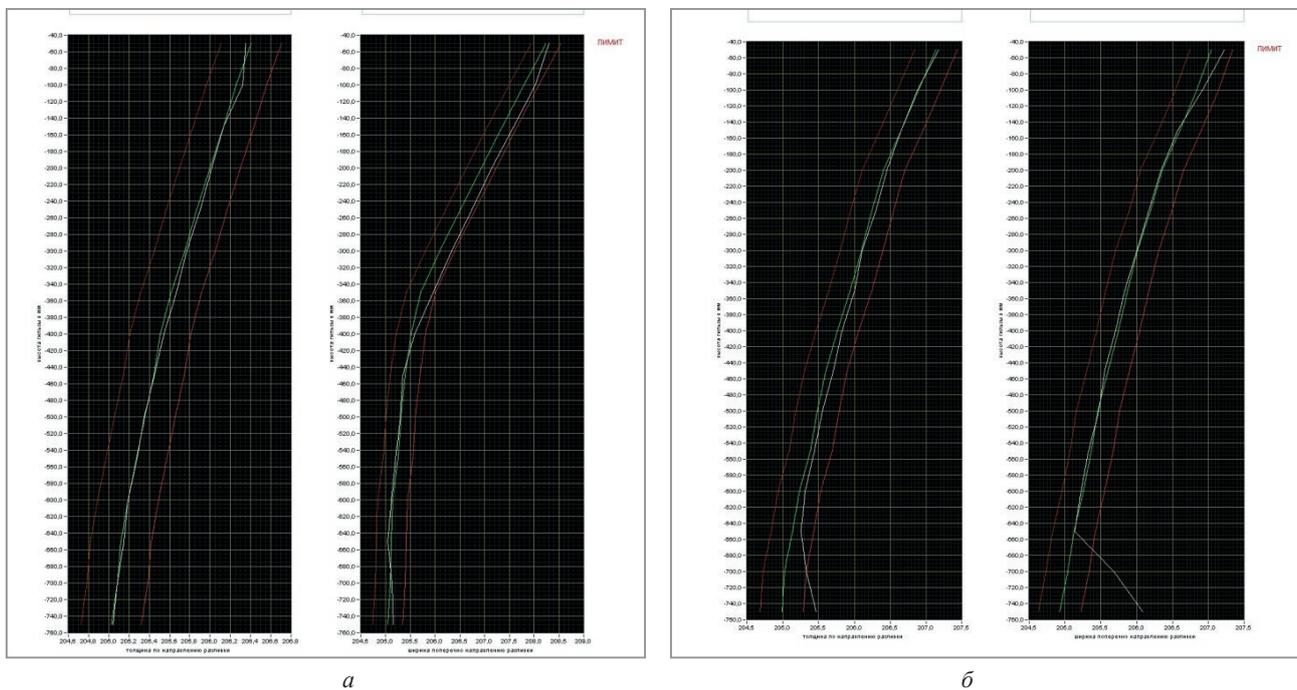


Рис. 3. Съемка трехконусной (а) и двухконусной гильзы (б)

Как видно из результатов съемки, на трехконусных гильзах кристаллизатора внутренняя геометрия до середины гильзы (место изменения конусности) имеет форму овала, вытянутого в сторону, перпендикулярную большому и малому радиусу МНЛЗ. Нижняя часть трехконусной гильзы кристаллизатора имеет форму правильного круга диаметром ≈ 205 мм.

Конструкция трехконусной гильзы позволяет обеспечить более равномерное распределение внутренних напряжений в твердой корочке за счет уменьшения воздушного зазора между заготовкой и рабочей поверхностью гильзы. Дополнительным эффектом, сопровождающим работу трехконусной гильзы, является уменьшение скорости локального износа в нижней части гильзы (рис. 4).



Рис. 4. Износ защитного покрытия гильз кристаллизаторов:
а – двухконусная, стойкость 122 плавки; б – трехконусная, стойкость 303 плавки

При использовании трехконусных гильз удалось добиться снижения уровня брака в среднем на 42 % по сравнению с использованием двухконусных гильз, а также повысить производительность МНЛЗ за счет увеличения скорости разливки.

В период использования трехконусных гильз кристаллизаторов отмечено более стабильное поведение параметра ΔT (рис. 5).

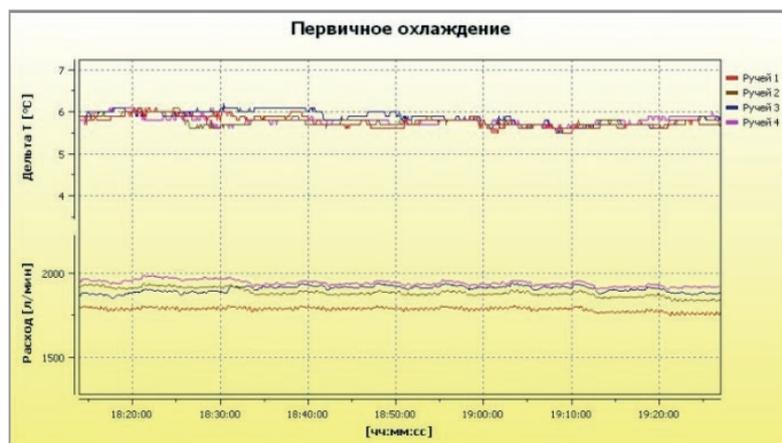
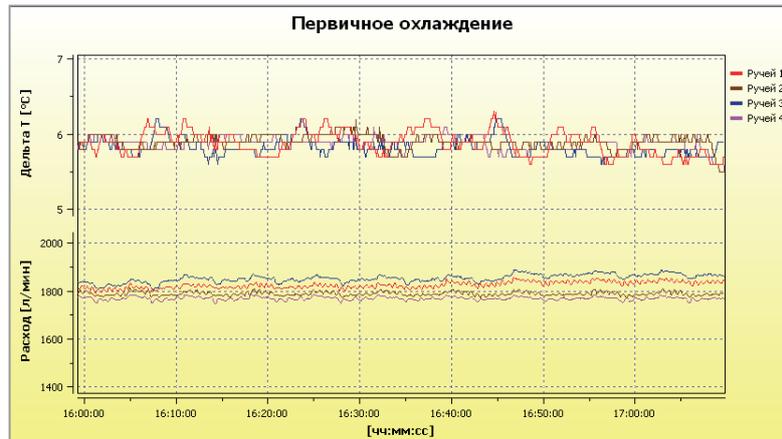


Рис. 5. Параметр ΔT при использовании двух- и трехконусных гильз кристаллизаторов

На ручьях 1, 3 (тренд № 1) и на всех ручьях (тренд № 2) были установлены гильзы с двухконусной геометрией. На данных ручьях отмечены значительные колебания ΔT – до 1,2 °C. При установке на все ручьи (тренд № 3) трехконусных гильз изменение ΔT более стабильно – до 0,5 °C.

При разливке непрерывнолитых заготовок диаметром 200 мм с использованием двухконусных гильз кристаллизаторов рабочая скорость составляла 1,4 м/мин. Увеличение скорости приводило к аварийным ситуациям на МНЛЗ (прорыв корочки слитка, подвисяние заготовок в кристаллизаторе и т.д. При использовании трехконусных гильз кристаллизаторов рабочая скорость разливки непрерывнолитых заготовок

сечением 200 мм была увеличена до 1,65 м/мин (максимально опробованная скорость составляла 2,0 м/мин), при этом часовая производительность МНЛЗ-3 при разливке непрерывнолитых заготовок диаметром 200 мм увеличилась на 17%.

Снижение количества брака, полученного по дефекту «сталеплавленная плена» на наружной поверхности труб, и более стабильная работа параметра ΔT , уменьшение износа защитного покрытия свидетельствуют об оптимальных условиях кристаллизации непрерывнолитой заготовки при использовании гильз кристаллизатора с трехконусной внутренней геометрией по сравнению с двухконусными гильзами кристаллизатора.

Выводы

1. Процессы отвода тепла от поверхности твердой корочки заготовки через стенки кристаллизатора имеют определяющее значение по динамике нарастания твердой фазы и, как следствие, формирование поверхностных и подповерхностных дефектов.
2. Установлено, что высокий процент брака по поверхностным дефектам сталеплавленного происхождения при разливке заготовки диаметром 200 мм с использованием гильз с двухконусной геометрией связан с внутренней конструкцией гильзы.
3. Применение гильз кристаллизатора с трехконусной внутренней геометрией при разливке заготовки диаметром 200 мм позволило обеспечить качество поверхности и снизить уровень брака по поверхностному дефекту «сталеплавленная плена», а также повысить производительность МНЛЗ-3.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Смирнов, А. Н.** Непрерывная разливка стали / А. Н. Смирнов, С. В. Куберский, Е. В. Штепан. – Донецк: ДонНТУ, 2011. – 479 с.
2. **Баранова, Л. В.** Металлографическое травление металлов и сплавов: справ. / Л. В. Баранова, Э. Л. Демина. – М.: Металлургия, 1986. – 255 с.

REFERENCES

1. **Smirnov A. N., Kubersky S. V., Shtepan E. V.** *Nepreryvnaya razlivka stali* [Continuous casting of steel]. Donetsk, DonNTU Publ., 2011, 479 p.
2. **Baranova L. V., Demina E. L.** *Metallograficheskoe travlenie metallov i splavov. Spravochnik* [Metallographic etching of metals and alloys. Directory]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1986, 255 p.