



<https://doi.org/10.21122/1683-6065-2021-3-55-60>
УДК 669

Поступила 18.08.2021
Received 18.08.2021

АНАЛИЗ ПРИЧИН И УСЛОВИЙ ФОРМИРОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ ДЕФЕКТОВ НА ГОРЯЧЕКАТАНОМ ПРОКАТЕ ИЗ ПЕРИТЕКТИЧЕСКИХ МАРОК СТАЛИ, ПОЛУЧЕННЫХ В УСЛОВИЯХ ОАО «БМЗ – УПРАВЛЯЮЩАЯ КОМПАНИЯ ХОЛДИНГА «БМК»

А. В. ТЕРЕЩЕНКО, Н. А. ХОДОСОВСКАЯ, ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК», г. Жлобин, Гомельская обл., Беларусь, ул. Промышленная, 37. E-mail: mn.rcmp@bmz.gomel.by, тел. 375-2334-54290

И. Б. ОДАРЧЕНКО, ГГТУ им. П. О. Сухого, г. Гомель, Беларусь, пр. Октября, 48. E-mail: dk_mtf@gstu.by

ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК» производит широкий перечень углеродистых, качественных, легированных и высокоуглеродистых марок стали, среди которых значительную долю занимают стали перитектического класса. В основном из стали данной группы производится прокат, предназначенный для изготовления компонентов для автомобильной промышленности. Процесс производства и разливки данных сталей характеризуется наибольшей нестабильностью и зачастую сопровождается браком и вынужденной отсортировкой продукции. Такая ситуация характерна и для других металлургических предприятий. Поэтому поиск технологических решений, обеспечивающих рост выхода годного при сохранении существующей производительности металлургических агрегатов, – актуальный аспект совершенствования технологии непрерывной разливки сталей перитектического класса. Основной научно-технической задачей при этом является получение стабильного качества непрерывнолитой заготовки, направленное на предупреждение и исключение образования ряда характерных дефектов, в первую очередь трещин на поверхности непрерывнолитой заготовки и проката. Поиск методов и технологических решений для улучшения качества продукции из стали перитектического класса является целью проводимых исследований.

Ключевые слова. *Сталь, непрерывнолитая заготовка, перитектические марки стали, поверхностные дефекты, раскатанные трещины.*

Для цитирования. *Терещенко, А. В. Анализ причин и условий формирования поверхностных дефектов на горячекатаном прокате из перитектических марок стали, полученных в условиях ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК» / А. В. Терещенко, Н. А. Ходосовская, И. Б. Одарченко // Литье и металлургия. 2021. № 3. С. 55–60. <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2021-3-55-60>.*

ANALYSIS OF THE CAUSES AND CONDITIONS FOR THE FORMATION OF SURFACE DEFECTS ON HOT-ROLLED PRODUCTS FROM PERITECTIC STEEL GRADES OBTAINED UNDER THE CONDITIONS OJSC “BSW – MANAGEMENT COMPANY OF THE HOLDING “BMC”

A. V. TERESHCHENKO, N. A. KHODOSOVSKAYA, OJSC “BSW – Management Company of the Holding “BMC”, Zhlobin, Gomel region, Belarus, 37, Promyshlennaya str. E-mail: mn.rcmp@bmz.gomel.by, tel. 375-2334-54290

I. B. ODARCHENKO, Gomel State Technical University named after P. O. Sukhoi, Gomel, Belarus, 48, Oktyabrya Ave. E-mail: dk_mtf@gstu.by

OJSC “BSW – Management Company of the Holding “BMC” produces a wide range of carbon, high-quality, alloyed and high-carbon steel grades, among which a significant share is peritectic grade steels. Basically, the steel of this group is used to produce rolled products intended for the manufacture of components for the automotive industry. The process of production and casting of these steels is characterized by the greatest instability and is often accompanied by rejects and forced sorting of products. This situation is typical for other metallurgical enterprises. Therefore, the search for technological solutions that ensure an increase in the yield while maintaining the existing productivity of metallurgical units is an urgent aspect of improving the technology of continuous casting of peritectic grade steels. At the same time, the main scientific and technical task is to obtain a stable quality of continuously cast billets, aimed at preventing and eliminating the formation of a number of characteristic defects, primarily cracks on the surface of continuously cast billets and rolled products. The search for methods and technological solutions to improve the quality of products made of peritectic grade steel is the goal of the ongoing research.

Keywords. *Steel, continuously cast billets, peritectic steel grades, surface defects, rolled cracks.*

For citation. Tereshchenko A. V., Khodosovskaya N. A., Odarchenko I. B. Analysis of the causes and conditions for the formation of surface defects on hot-rolled products from peritectic steel grades obtained under the conditions OJSC "BSW – Management Company of the Holding "BMC". Foundry production and metallurgy, 2021, no. 3, pp. 56–60. <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2021-3-56-60>.

В области изучения причин образования дефектов на стали перитектического класса проведено значительное количество научных исследований и получено множество оптимизированных решений. Однако ввиду существенных конструктивных различий машин непрерывного литья, а также различий в химическом составе сталей, производимых не по международным стандартам, эффективно адаптировать результаты проведенных исследований к условиям ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК» (далее – БМЗ) не представляется возможным. Соответственно мероприятия по совершенствованию технологии получения непрерывнолитой заготовки (НЛЗ) могут быть разработаны только на основе проведения собственных исследований и анализа причин, условий и механизмов образования трещин на поверхности НЛЗ и проката.

Известно, что к сталям перитектического класса относят марки с содержанием углерода 0,17–0,20%, претерпевающие в процессе кристаллизации аллотропические превращения: δ -железо (сторона $a=2,93 \text{ \AA}$) \rightarrow γ -железо (сторона $a=3,64 \text{ \AA}$) \rightarrow α -железо (сторона $a=2,90 \text{ \AA}$) и связанное с ними многократное изменение объема кристаллической решетки. Именно эта особенность предопределяет повышенное трещинообразование сталей данной группы в ходе кристаллизации непрерывнолитой заготовки [1].

В условиях БМЗ разливка стали осуществляется на криволинейной 4-ручьевой блюмовой МНЛЗ в заготовки сечением 250x300 и 300x400 мм. В ходе контроля качества круглого горячекатаного проката стали марки 18Г2АФ была получена отсортировка продукции по поверхностным дефектам сталеплавильного происхождения до 40% от плавки. С целью установления причин, условий формирования поверхностных дефектов на отсортированных заготовках стали 18Г2АФ были исследованы образцы НЛЗ и проката. Внешний вид дефектов на поверхности проката представлял собой раскрытые разрывы металла, расположенные полосой вдоль направления деформации (рис. 1, 2) и преимущественно сконцентрированные в непосредственной близости к углу непрерывнолитой заготовки (установлено в ходе исследования макротемплета горячекатаного проката).

Следует отметить, что в области дефектов отмечается характерное смещение эквивалентной зоны (рис. 2), что указывает на неравномерные условия охлаждения в процессе разливки [2].

При микроструктурном исследовании с помощью инвертированного металлографического микроскопа отраженного света «OLYMPUS GX-51» на нетравленных микрошлифах в светлом поле зрения обнаружено, что поверхностные дефекты расположены под углом к поверхности. В полостях дефектов присутствует окалина. Также имеются характерные признаки дефектов сталеплавильного производства: обезуглероживание и выстроенные крупные зерна феррита в районе дефекта [3]. При травлении микрошлифов в реактиве «Обергоффера» участки сегрегации выявлены не были, что свидетельствует об образовании дефекта не на стадии первоначального формирования данного участка НЛЗ (рис. 3).

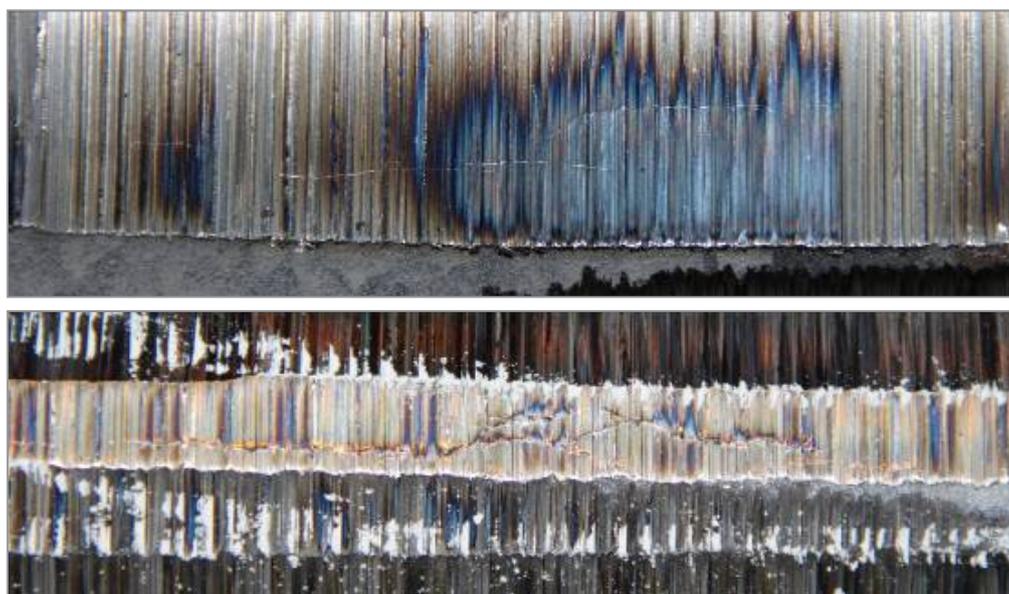


Рис. 1. Внешний вид дефекта на поверхности круглого горячекатаного проката стали марки 18Г2АФ

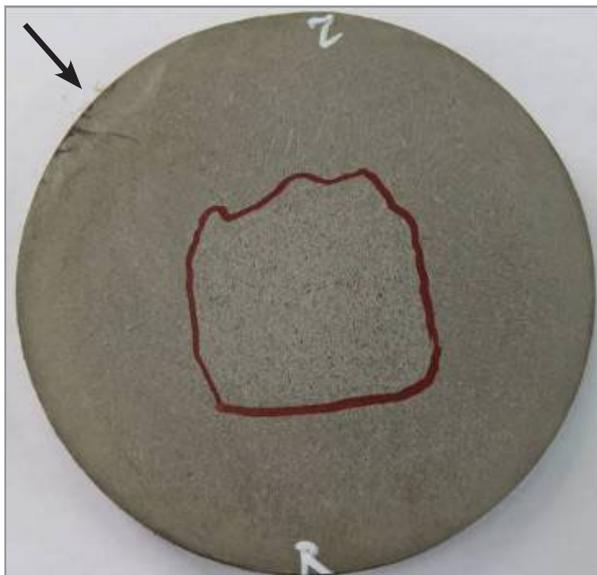


Рис. 2. Макроструктура поперечного сечения круглой горячекатаной заготовки диаметром 140 мм стали марки 18Г2АФ



a



б



в

Рис. 3. Микроструктура в зоне выявленных дефектов на поверхности круглого горячекатаного проката стали марки 18Г2АФ: *a* – нетравленный микрошлиф; *б* – травление в реактиве «Nital»; *в* – травление в реактиве «Обергоффера». х 100

Для более детального определения химического состава включений, расположенных в полостях дефектов, было проведено исследование с помощью растрового электронного микроскопа с рентгеновским микроанализатором Vega II Tescan (рис. 4).

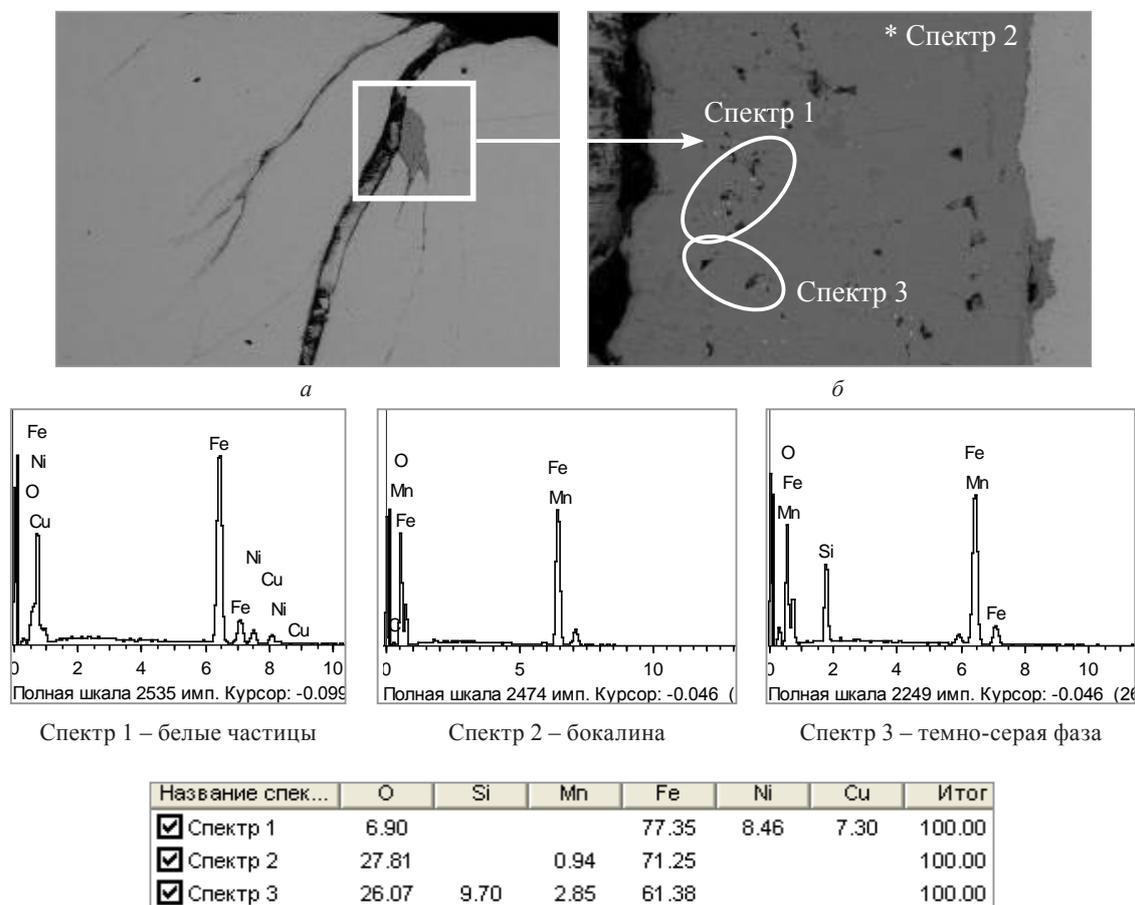


Рис. 4. Исследование включений, расположенных в полости выявленных дефектов, на растровом электронном микроскопе с рентгеновским микроанализатором Vega II Tescan: *a* – $\times 100$; *б* – $\times 1000$

Результаты исследований химического состава включений в полости дефектов показали наличие таких элементов, как Ni, Cu, Mn, Si, Fe, O. Выявленная медь, а также никель свидетельствуют о проникновении перечисленных выше элементов в полость дефекта вследствие их диффузии со стенок кристаллизатора при разливке металла.

Таким образом, проведенные исследования, в том числе изучение внешнего вида, анализ макроструктуры, а также микроструктурных особенностей образовавшихся дефектов на поверхности круглого горячекатаного проката диаметром 140 мм стали марки 18Г2АФ позволили (в соответствии с ГОСТ 21014) классифицировать их как раскатанные трещины (сетчатые) с максимальной глубиной залегания в исследуемом сечении до 2,8 мм.

Подобная оценка макроструктуры поперечного сечения и качества поверхности представленной пробы была проведена для непрерывнолитой заготовки стали марки 18Г2АФ сечением 300x400 мм. Темплеты были протравлены в горячем 50%-ном растворе соляной кислоты (рис. 5).

При исследовании макроструктуры поперечного сечения НЛЗ выявлены трещины, выходящие и не выходящие на поверхность непрерывнолитой заготовки, расположенные в углу большой и малой граней по малому радиусу. На поверхности непрерывнолитой заготовки четко видны складки от качания кристаллизатора, которые смещены по направлению вытягивания. Кроме того, обнаружены грубые сетчатые трещины, расположенные как в следах качания, так и в целом по поверхности грани НЛЗ.

При микроструктурном исследовании в светлом поле зрения на нетравленном микрошлифе установлено, что дефекты расположены под разными углами к поверхности (рис. 6). В полостях дефектов обнаружена окалина. После травления в реактиве «Nital» выявлено, что дефекты располагаются как в межосных участках, так и пересекают оси дендритов. [4]. Максимальная глубина залегания дефектов непрерывнолитой заготовки в исследуемом сечении достигала 4,7 мм.

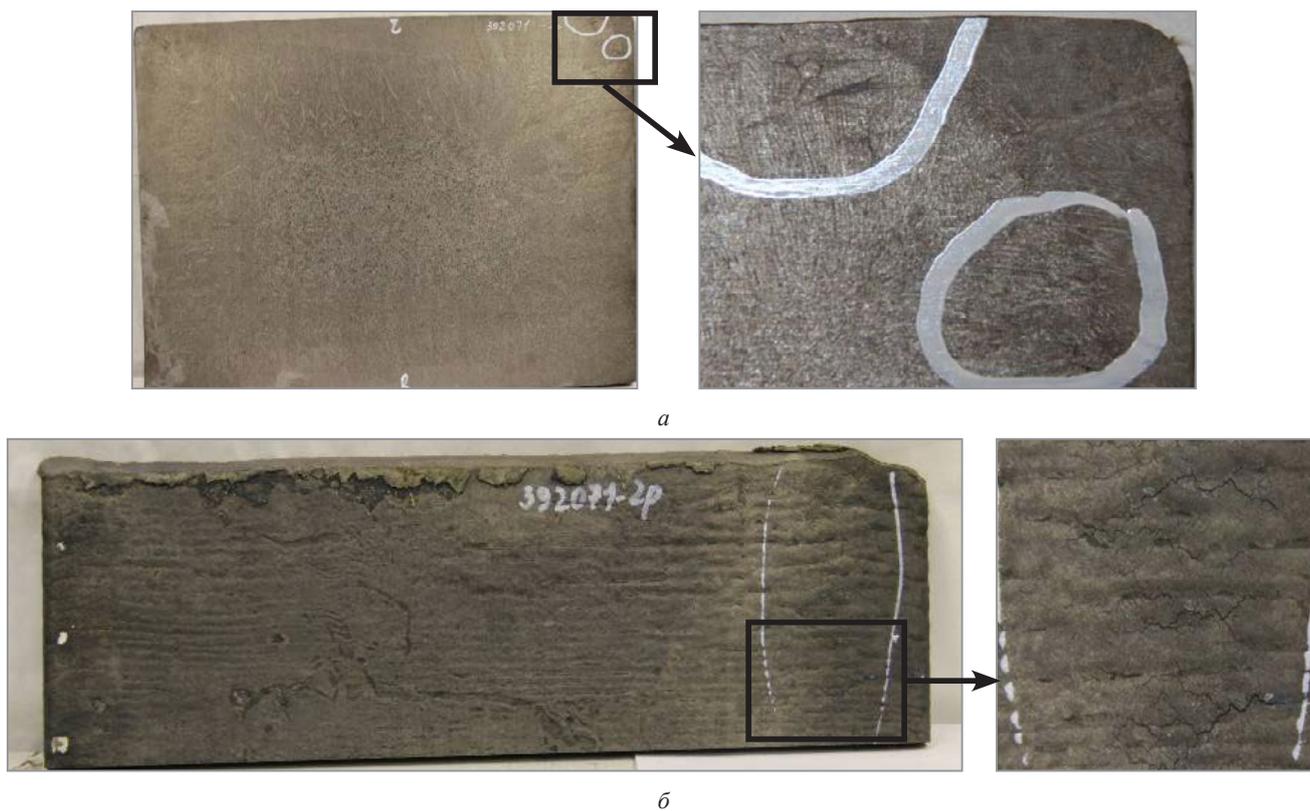


Рис. 5. Непрерывнолитая заготовка сечением 300x400 мм стали марки 18Г2АФ:
 а – макроструктура поперечного сечения (в увеличенном виде показаны трещины, расположенные в углу НЛЗ по малому радиусу разливки); б – поверхность НЛЗ по малому радиусу разливки

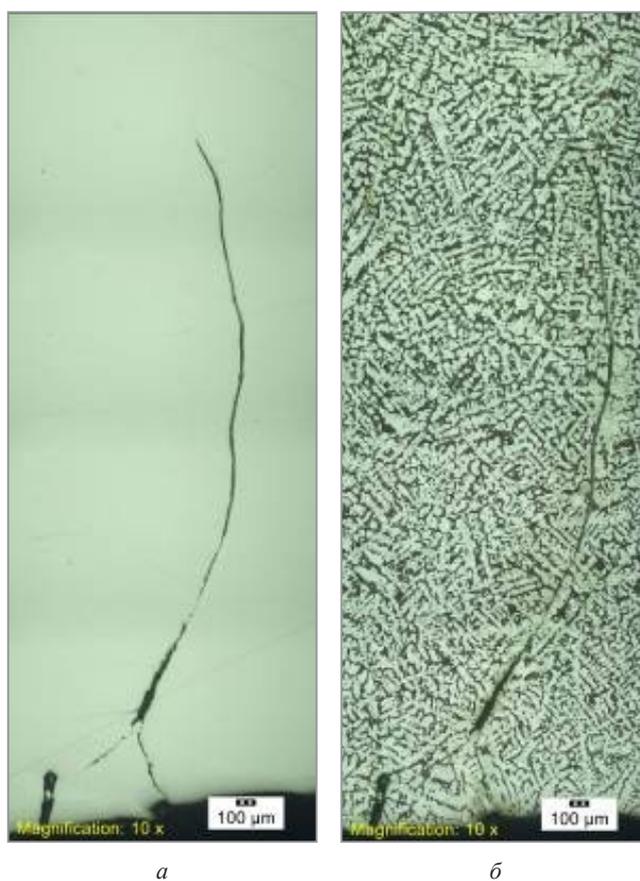


Рис. 6. Выявленные дефекты на непрерывнолитой заготовке сечением 300x400 мм стали марки 18Г2АФ:
 а – нетравленный микрошлиф; б – травление в реактиве «Nital». x100

Таким образом, на основании полученных результатов при проведении исследований можно сделать вывод о том, что трещинообразование происходит в теле непрерывнолитой заготовки в процессе ее кристаллизации в кристаллизаторе. При последующей прокатке, видоизменяясь, образуются трещины на поверхности горячекатаного проката. Процесс охлаждения металла в кристаллизаторе происходит в результате циркуляции охлаждающей жидкости в зазоре между гильзой и рубашкой кристаллизатора. Конструктивно данный зазор выполнен неизменным по сечению и соответственно обеспечивает более интенсивный теплоотвод в районе угла кристаллизатора в сравнении с гранями [5]. По нашему мнению, так формируются условия для неравномерной усадки корочки заготовки, а также образуется больший зазор в районе угла и соответственно более интенсивное воздействие ферростатического давления жидкого металла в этой зоне, что в последующем приводит к образованию усадочных напряжений и возможному появлению дефектов на условной границе, соответствующей зоне более равномерного теплообмена.

Для решения данной проблемы требуется проведение дополнительных исследований теплообменных процессов в зоне кристаллизатора и установление оптимальных условий кристаллизации НЛЗ с учетом особенностей сплава, скорости вытяжки и других технологических параметров.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гуляев А. П. *Металловедение*. М.: Металлургия, 1986. 542 с.
2. Дюдкин Д. А., Кисиленко В. В. *Производство стали*. М.: Теплотехник, 2009. Т. 4.
3. Буяркоковский Г. А., Минизон Р. Д. *Поверхностные дефекты легированных сталей*. М.: Металлургия, 1987.
4. Правосудович В. В., Сокурченко В. П. *Дефекты стальных слитков и проката*. М.: Интермет Инжиниринг, 2006. 382 с.
5. Смирнов А. Н., Куберский С. В., Штепан Е. В. *Непрерывная разливка стали*. Донецк, ДонНТУ, 2011. 482 с.

REFERENCES

1. Guljaev A. P. *Metallovedenie* [Metallurgy]. Moscow, Metallurgija Publ., 1986, 542 p.
2. Djudkin D. A., Kisilenko V. V. *Proizvodstvo stali* [Steel production]. Moscow, Teplotehnik Publ., 2009, vol.4.
3. Bujarkovskij G. A., Minizon R. D. *Poverhnostnye defekty legirovannyh stalej* [Surface defects of alloy steels]. Moscow, Metallurgija Publ., 1987.
4. Pravosudovich V. V., Sokurenko V. P. *Defekty stal'nyh slitkov i prokata* [Defects in steel ingots and rolled products]. Moscow, Intermet Inzhiniring Publ., 2006, 382 p.
5. Smirnov A. N., Kuberskij S. V., Shtepan E. V. *Nepreryvnaja razlivka stali* [Continuous casting of steel.]. Doneck, DonNTU Publ., 2011, 482 p.