

УДК 621.771.252+621.771.23.019]:669.14.018.29

## О НОРМИРОВАНИИ ПРЕДЕЛЬНО ДОПУСТИМОЙ ГЛУБИНЫ ДЕФЕКТОВ НА ПОВЕРХНОСТИ СТАЛЬНОЙ ЗАГОТОВКИ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ГОРЯЧЕКАТАНОГО БУНТОВОГО ПРОКАТА

ПАРУСОВ Э. В.<sup>1</sup>, к. т. н., с. н. с.,

ЛУЦЕНКО В. А.<sup>2</sup>, д. т. н., с. н. с.,

ЧУЙКО И. Н.<sup>3</sup>, к. т. н.,

САГУРА Л. В.<sup>4\*</sup>, к. т. н.,

ГОЛУБЕНКО Т. Н.<sup>5</sup>, к. т. н.

<sup>1</sup>Институт черной металлургии им. З. И. Некрасова Национальной академии наук Украины, пл. Академика Стародубова, 1, 49107, г. Днепр, Украина, тел. +38 (056) 776-82-28, e-mail: tometal@ukr.net, ORCID ID: 0000-0002-4560-2043

<sup>2</sup>Институт черной металлургии им. З. И. Некрасова Национальной академии наук Украины, пл. Академика Стародубова, 1, 49107, г. Днепр, Украина, тел. +38 (0562) 47-29-25, e-mail: lutsenko@optima.com.ua, ORCID ID: 0000-0002-4604-5592

<sup>3</sup>Институт черной металлургии им. З. И. Некрасова Национальной академии наук Украины, пл. Академика Стародубова, 1, 49107, г. Днепр, Украина, тел. +38 (056) 776-82-28, e-mail: ichuyko@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-4753-614X

<sup>4\*</sup>Институт черной металлургии им. З. И. Некрасова Национальной академии наук Украины, пл. Академика Стародубова, 1, 49107, г. Днепр, Украина, тел. +38 (056) 776-82-28, e-mail: slv\_metal@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-2614-0322

<sup>5</sup>Институт черной металлургии им. З. И. Некрасова Национальной академии наук Украины, пл. Академика Стародубова, 1, 49107, г. Днепр, Украина, тел. +38 (0562) 47-29-25, e-mail: sumer@i.ua, ORCID ID: 0000-0002-3583-211X

**Аннотация.** *Постановка проблемы.* Значимое влияние на качество бунтового проката оказывают различные дефекты на его поверхности, которые, в свою очередь, наследуются от дефектов поверхности на заготовке и возможных повреждений поверхности проката в линии прокатного стана. Одним из критериев при оценке качественных показателей бунтового проката является нормирование поверхностных дефектов [1–3; 6; 7]. *Современное состояние вопроса.* Анализируя требования различных нормативных документов к качеству поверхности проката из высокоуглеродистых сталей, можно сделать вывод о том, что предельно допустимая глубина дефектов на поверхности заготовки должна находиться в интервале 2,0...5,0 мм (в зависимости от сечения заготовки, способа ее производства и дальнейшего назначения). *Цель исследования* – разработать методику расчета предельно допустимой глубины дефектов на поверхности стальной заготовки в зависимости от требований, предъявляемых к качеству поверхности горячекатаного бунтового проката. *Результаты.* Разработана упрощенная методика расчета, позволяющая при нормируемой глубине дефектов на поверхности горячекатаного бунтового проката провести оперативный расчет предельно допустимой глубины поверхностных дефектов стальной заготовки перед началом нагрева металла под горячую деформацию. Полученные данные свидетельствуют о том, что максимально допустимая глубина поверхностных дефектов снижается при повышении диаметра бунтового проката, уменьшении исходного сечения стальной заготовки и степени окисления металла в нагревательной печи.

**Ключевые слова:** дефекты поверхности, стальная заготовка, бунтовой прокат, горячая прокатка

## ПРО НОРМУВАННЯ ГРАНИЧНО ДОПУСТИМОЇ ГЛИБИНИ ДЕФЕКТІВ НА ПОВЕРХНІ СТАЛЬНОЇ ЗАГОТОВКИ ПІД ЧАС ВИРОБНИЦТВА ГАРЯЧЕКАТАНОГО БУНТОВОГО ПРОКАТУ

ПАРУСОВ Е. В.<sup>1</sup>, к. т. н., с. н. с.,

ЛУЦЕНКО В. А.<sup>2</sup>, д. т. н., с. н. с.,

ЧУЙКО І. М.<sup>3</sup>, к. т. н.,

САГУРА Л. В.<sup>4\*</sup>, к. т. н.,

ГОЛУБЕНКО Т. М.<sup>5</sup>, к. т. н.

<sup>1</sup>Інститут чорної металургії ім. З. І. Некрасова Національної академії наук України, пл. Академіка Стародубова, 1, Дніпро, 49107, Україна, тел. +38 (056) 776-82-28, e-mail: tometal@ukr.net, ORCID ID: 0000-0002-4560-2043

<sup>2</sup>Інститут чорної металургії ім. З. І. Некрасова Національної академії наук України, пл. Академіка Стародубова, 1, Дніпро, 49107, Україна, тел. +38 (0562) 47-29-25, e-mail: lutsenko@optima.com.ua, ORCID ID: 0000-0002-4604-5592

<sup>3</sup>Інститут чорної металургії ім. З. І. Некрасова Національної академії наук України, пл. Академіка Стародубова, 1, Дніпро, 49107, Україна, тел. +38 (056) 776-82-28, e-mail: ichuyko@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-4753-614X

<sup>4\*</sup>Інститут чорної металургії ім. З. І. Некрасова Національної академії наук України, пл. Академіка Стародубова, 1, Дніпро, 49107, Україна, тел. +38 (056) 776-82-28, e-mail: slv\_metal@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-2614-0322

<sup>5</sup>Інститут чорної металургії ім. З. І. Некрасова Національної академії наук України, пл. Академіка Стародубова, 1, Дніпро, 49107, Україна, тел. +38 (0562) 47-29-25, e-mail: sumer@i.ua, ORCID ID: 0000-0002-3583-211X

**Анотація. Постановка проблеми.** Істотно впливають на якість бунтового прокату різні дефекти на його поверхні, які, у свою чергу, успадковуються від дефектів поверхні на заготовці та можливих пошкоджень поверхні прокату в лінії прокатного стану. Одним із критеріїв оцінювання якісних показників бунтового прокату є нормування поверхневих дефектів [1–3; 6; 7]. **Сучасний стан питання.** Аналізуючи вимоги різних нормативних документів до якості поверхні прокату з високовуглецевих сталей, можна зробити висновок, що гранично допустима глибина дефектів на поверхні заготовки повинна знаходитися в інтервалі 2,0...5,0 мм (залежно від перетину заготовки, способу її виробництва і подальшого призначення). **Мета дослідження** – розробити методику розрахунку гранично допустимої глибини дефектів на поверхні сталеві заготовки залежно від вимог, що пред'являються до якості поверхні гарячекатаного бунтового прокату. **Результати.** Розроблено спрощену методику розрахунку, що дозволяє за нормованої глибини дефектів на поверхні гарячекатаного бунтового прокату провести оперативний розрахунок гранично допустимої глибини поверхневих дефектів сталеві заготовки перед початком нагрівання металу під гарячу деформацію. Отримані дані свідчать, що максимально допустима глибина поверхневих дефектів знижується у разі збільшення діаметра бунтового прокату, зменшенні вихідного перетину сталеві заготовки і ступеня окислення металу в нагрівальній печі.

**Ключові слова:** дефекти поверхні, сталева заготовка, бунтовий прокат, гаряча прокатка

## ABOUT RATIONING MAXIMUM ALLOWABLE DEFECT DEPTH ON THE SURFACE OF STEEL BILLETS IN PRODUCTION OF HOT-ROLLED STEEL

PARUSOV E. V.<sup>1</sup>, *Cand. Sc. (Tech.), senior researcher,*

LUTSENKO V. A.<sup>2</sup>, *Dr. Sc. (Tech.), senior researcher,*

CHUIKO I. N.<sup>3</sup>, *Cand. Sc. (Tech.),*

SAHURA L. V.<sup>4\*</sup>, *Cand. Sc. (Tech.),*

GOLUBENKO T. N.<sup>5</sup>, *Cand. Sc. (Tech.).*

<sup>1</sup>Iron and Steel Institute named Z. I. Nekrasov of the National Academy of Science of Ukraine, sq. Ac. Starodubov, 1, Dnipro 49107, Ukraine, tel. +38 (056) 776-82-28, e-mail: tometal@ukr.net, ORCID ID: 0000-0002-4560-2043

<sup>2</sup>Iron and Steel Institute named Z. I. Nekrasov of the National Academy of Science of Ukraine, sq. Ac. Starodubov, 1, Dnipro 49107, Ukraine, tel. +38 (0562) 47-29-25, e-mail: lutsenko@optima.com.ua, ORCID ID: 0000-0002-4604-5592

<sup>3</sup>Iron and Steel Institute named Z. I. Nekrasov of the National Academy of Science of Ukraine, sq. Ac. Starodubov, 1, Dnipro 49107, Ukraine, tel. +38 (056) 776-82-28, e-mail: ichuyko@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-4753-614X

<sup>4\*</sup>Iron and Steel Institute named Z. I. Nekrasov of the National Academy of Science of Ukraine, sq. Ac. Starodubov, 1, Dnipro 49107, Ukraine, tel. +38 (056) 776-82-28, e-mail: slv\_metal@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-2614-0322

<sup>5</sup>Iron and Steel Institute named Z. I. Nekrasov of the National Academy of Science of Ukraine, sq. Ac. Starodubov, 1, Dnipro 49107, Ukraine, tel. +38 (0562) 47-29-25, e-mail: sumer@i.ua, ORCID ID: 0000-0002-3583-211X

**Annotation. Formulation of the problem.** Significant influence on the quality of rolled steel have various defects on its surface, which in its turn inherited from surface defects of billet and possible damage to the surface of rolled steel in the rolling mill line. One of the criteria for assessing the quality indicators of rolled steel is rationing of surface defects [1; 2; 3; 6; 7]. **Current status of the issue.** Analyzing the different requirements of regulations to the surface quality of the rolled high-carbon steels, we can conclude that the maximum allowable depth of defects on the surface of billet should be in the range of 2.0...5.0 mm (depending on the section of the billet, method of its production and further the destination) **Purpose.** Develop a methodology for calculating the maximum allowable depth of defects on the steel billet surface depending on the requirements placed on the surface quality of hot-rolled steel. **Results.** A simplified method of calculation, allowing at the rated depth of defects on the surface of the hot-rolled steel to make operative calculation of the maximum allowable depth of surface defects of steel billets before heating the metal in the heat deformation was developed. The findings shows that the maximum allowable depth of surface defects is reduced with increasing diameter rolled steel, reducing the initial section steel billet and degrees of oxidation of the metal in the heating furnace.

**Keywords:** surface defects, steel billet, rolled steel, hot rolling

**Постановка проблеми.** Значимое влияние на качество бунтового проката оказывают различные дефекты на его поверхности, которые, в свою очередь, наследуются от дефектов поверхности на заготовке и возможных повреждений поверхности проката в линии прокатного стана. Одним из критериев при оценке качественных показателей бунтового

проката является нормирование поверхностных дефектов [1–3; 6; 7].

К основным поверхностным дефектам стальной заготовки относят: газовые пузыри, трещины, залеченные пояса (микропорывы), шлаковые включения, загрязнения и др. Прокатные дефекты поверхности представляют собой закаты,

усы, прокатные плены, отпечатки, раскатанные пузыри и загрязнения.

Сравнительный анализ требований различных нормативных документов к

качеству поверхности проката из высокоуглеродистых сталей приведен в таблице 1.

Таблица 1

**Нормирование дефектов на поверхности бунтового проката из высокоуглеродистой стали**

Нормативный документ	Качество поверхности
ГОСТ 14959-79	Допускаются отпечатки, рябизна и риски глубиной не более 0,20 мм.
ДСТУ 3683-98	Допускаются отпечатки, рябизна и риски глубиной не более 0,20 мм.
ТУ У 27.1-4-519-2002	Допускаются отдельные риски, волосовины и рябизна глубиной не более 0,15 мм.
EN ISO 16120-2:2011	Допускаются отдельные риски, волосовины и рябизна глубиной не более 0,25 мм для проката в бунтах диаметром от 5,0 до 12,0 мм и 0,30 мм для катанки диаметром более 12,0 мм.

Анализируя представленные данные, можно утверждать, что недопустимыми дефектами на поверхности горячекатаного проката являются: закаты, усы, раскатанные пузыри, раскатанные загрязнения, прокатные плены, трещины, рванины. При этом допускаются отдельные риски, волосовины и рябизна. Самые жесткие требования к нормированию глубины поверхностных дефектов предъявляются по ТУ У 27.1-4-519-2002 – не более 0,15 мм. Следует отметить, что некоторые из дефектов поверхности (трещины, плены и т. п.) стальной заготовки могут быть закатаны (заварены) в процессе последующей горячей деформации на готовый профила размер бунтового проката.

В то же время эти дефекты, особенно с окисленной внутренней поверхностью, при определенных условиях напряженно-деформированного состояния могут раскрываться, то есть увеличиваться в размерах и выступать в роли источников возникновения надрывов на поверхности металла, вызывая в последующем его повышенную обрывность при деформации волочением на метизном переделе [4–6; 7].

Требования к качеству поверхности проката для холодного выдавливания и высадки приведены в таблице 2. При этом поверхность горячекатаного проката должна быть гладкой без трещин, плен, инородных включений, закатов, раскатанных пузырей и загрязнений.

Таблица 2

**Нормирование дефектов на поверхности горячекатаного проката для холодного выдавливания и высадки**

Нормативный документ	Качество поверхности
ДСТУ 3684-98	Допускаются отпечатки и рябина глубиной не более половины допуска на размер. Максимальная глубина отдельных мелких рисков не должна превышать 0,1 мм для сечений до 20 мм и 0,2 мм для сечений 20 мм и выше.
ГОСТ 10702-78	Допускаются отпечатки и рябина глубиной не более половины допуска на размер. Максимальная глубина отдельных мелких рисков не должна превышать ¼ допуска на размер, но не более 0,1 мм для сечений до 20 мм и 0,2 мм для сечений 20 мм и выше.

Следовательно, в зависимости от дальнейшего назначения проката и вида готовой металлопродукции нормативной документацией устанавливается предельно-допустимая глубина дефектов на поверхности горячекатаного металла. Однако в ряде случаев эти ограничения принимаются не системно или без аргументированного обоснования. В связи с этим представляло интерес разработать методику упрощенного расчета предельно допустимой глубины дефектов на поверхности стальной заготовки перед началом горячей деформации. Расчет

выполнен для наиболее часто применяемых в технологическом процессе производства бунтового проката заготовок сечением 125×125 и 150×150 мм. За основу взяты требования по ТУ У 27.1-4-519-2002 с ограничением глубины дефектов на поверхности проката – не более 0,15 мм.

По заводским технологическим инструкциям нагрев заготовок перед прокаткой производится до температур 1150...1180 °С в слабо окислительной внутриванной атмосфере.

При нагреве стальной заготовки в печи происходит естественный угар (окисление)

металла, вследствие чего глубина поверхностных дефектов несколько уменьшается. Последующая горячая деформация металла на готовый профила размер уменьшает его исходное сечение, обуславливая дальнейшее

снижение глубины поверхностных дефектов.

Требования к качеству поверхности стальных заготовок различных металлургических предприятий приведены в таблице 3.

Таблица 3

**Нормирование дефектов на поверхности стальных заготовок**

Нормативный документ	Качество поверхности
ЗТУ 14-518-2012-0001-2009 (ОАО «Молдавский металлургический завод»)	Глубина поверхностных дефектов не более 1,5 мм (заготовка сечением 125×125 мм). Отдельные риски глубиной не более 2,0 мм браковочным признаком не являются.
ТС 00187895-036-2012 (ОАО «Оскольский электрометаллургический комбинат»)	Глубина поверхностных дефектов не должна превышать 2,0 мм (заготовка сечением 150×150 мм).
ТУ У 14-2-1230-99 (ПАО «Днепропетровский металлургический комбинат»)	Глубина поверхностных дефектов не более 4 мм (заготовка сечением 125×125 мм) и не более 5 мм (заготовка сечением 150×150 мм). Закаты глубиной не более 2,0 мм.
ТУ У 27.1-00190319-1307-2003 (ПАО «АрселорМиттал Кривой Рог»)	Глубина поверхностных дефектов не более 4 мм (заготовка сечением 125×125 мм) и не более 5 мм (заготовка сечением 150×150 мм).

Анализируя представленные данные, можно сделать вывод, что предельно допустимая глубина дефектов на поверхности заготовки должна находиться в интервале 2,0...5,0 мм (в зависимости от сечения заготовки, способа ее производства и дальнейшего назначения).

**Цель исследования** – разработать методику расчета предельно допустимой глубины дефектов на поверхности стальной заготовки в зависимости от требований, предъявляемых к качеству поверхности горячекатаного бунтового проката.

**Материал и методика проведения исследований.** В общем виде зависимость глубины дефектов на поверхности бунтового проката от глубины дефектов на поверхности заготовки может быть описана при помощи формулы:

$$h_{пр} = \frac{(h_3 - h_{ок})}{\sqrt{\mu_{\Sigma}}}, \quad (1)$$

где  $h_{пр}$  – глубина поверхностных дефектов на готовом прокате, мм;

$h_3$  – глубина поверхностных дефектов на исходной заготовке, мм;

$h_{ок}$  – толщина слоя металла, окисленного при нагреве в печи, мм;

$\mu_{\Sigma}$  – суммарный коэффициент вытяжки металла, определяемый отношением площади исходной заготовки ( $F_3$ ) и готового проката ( $F_{пр}$ ).

На практике угар металла в нагревательных печах со слабо окислительной атмосферой, как правило, составляет 0,9...1,1 % по массе, а толщину слоя металла, который переходит в окалину, можно определить по выражению:

$$h_{ок} = \frac{F_3 \cdot L_o}{100 \cdot 4 \cdot a}, \quad (2)$$

где  $L_o$  – угар (окисление) металла в нагревательной печи, %;

$a$  – сторона поперечного сечения квадратной заготовки, мм.

В соответствии с формулами (1) и (2) глубину дефектов на поверхности стальной заготовки возможно определить следующим образом:

$$h_3 = h_{пр} \cdot \sqrt{\frac{F_3}{F_{пр}}} + \frac{F_3 \cdot L_o}{100 \cdot 4 \cdot a}. \quad (3)$$

**Результаты исследований.** С использованием формулы (3) проведен расчет предельно допустимой глубины дефектов на поверхности непрерывнолитой заготовки (перед началом нагрева под горячую прокатку) в зависимости от нормируемой глубины поверхностных дефектов бунтового проката различных профила размеров (табл. 4).

Полученные данные свидетельствуют о том, что предельно допустимая глубина поверхностных дефектов снижается при

повышении диаметра проката, уменьшении исходного сечения заготовки и степени окисления металла в нагревательной печи.

Графические зависимости предельно допустимой глубины дефектов на поверхности заготовок сечением 125×125 и 150×150 мм от профилеразмера горячекатаного бунтового проката приведены на рисунках 1 и 2 соответственно.

Полученные зависимости позволили установить корреляционную связь предельно допустимой глубины поверхностных дефектов стальной заготовки ( $h_3$ ) с глубиной дефектов на

поверхности бунтового проката ( $h_{np}$ ). В общем виде эта зависимость для заготовок сечением 125×125 и 150×150 мм может быть описана формулами (4) и (5) соответственно:

$$h_3 = 0,028 \cdot d_{np}^2 - 0,81 \cdot d_{np} + 7,68, \quad (4)$$

$$h_3 = 0,034 \cdot d_{np}^2 - 0,97 \cdot d_{np} + 9,24, \quad (5)$$

где  $d_{np}$  – диаметр бунтового проката, мм.

Коэффициент достоверности аппроксимации для выражений (4) и (5) составил 0,99.

Таблица 4

Значения максимально допустимой глубины дефектов на поверхности заготовки при  $h_{np} = 0,15$  мм

Диаметр проката, мм	Поперечное сечение заготовки, мм	$h_3$ , мм ( $L_o = 0,9\%$ )	$h_3$ , мм ( $L_o = 1,1\%$ )
5,5	125 × 125	4,13	4,19
	150 × 150	4,95	5,03
6,5	125 × 125	3,54	3,60
	150 × 150	4,24	4,32
7,0	125 × 125	3,30	3,37
	150 × 150	3,97	4,04
8,0	125 × 125	2,93	2,99
	150 × 150	3,51	3,59
9,0	125 × 125	2,63	2,70
	150 × 150	3,16	3,23
10,0	125 × 125	2,40	2,46
	150 × 150	2,88	2,95
11,0	125 × 125	2,21	2,27
	150 × 150	2,65	2,72
12,0	125 × 125	2,04	2,11
	150 × 150	2,45	2,53
14,0	125 × 125	1,79	1,86
	150 × 150	2,15	2,23

Предложенная методика универсальна и позволяет рассчитать предельно допустимую глубину поверхностных дефектов для любых размеров стальной заготовки. При расчете глубины дефектов на поверхности заготовки круглого сечения следует привести её площадь к эквивалентной площади квадрата и выразить значение  $a$  по формуле (6):

$$a = \sqrt{\frac{\pi \cdot d_3^2}{4}}, \quad (6)$$

где  $d_3$  – диаметр стальной заготовки круглого сечения, мм.

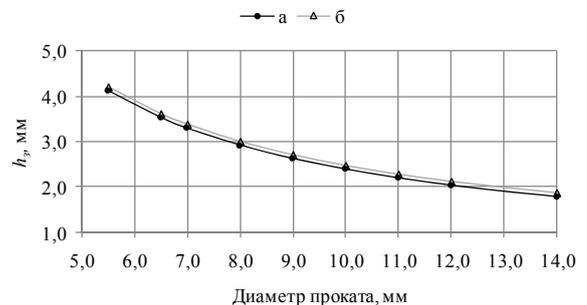


Рис. 1. Изменение предельно допустимой глубины дефектов на поверхности стальной заготовки сечением 125×125 мм в зависимости от диаметра бунтового проката: а – окисление поверхности заготовки 0,9%; б – окисление поверхности заготовки 1,1%

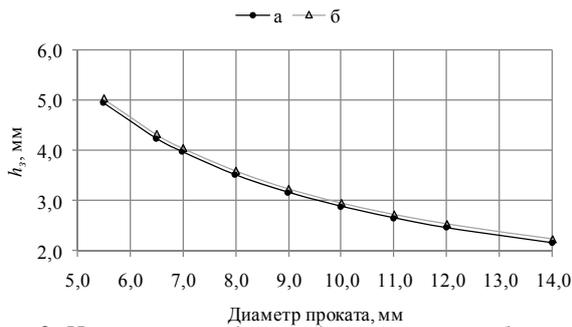


Рис. 2. Изменение предельно допустимой глубины дефектов на поверхности стальной заготовки сечением 150×150 мм в зависимости от диаметра бунтового проката: а – окисление поверхности заготовки 0,9 %; б – окисление поверхности заготовки 1,1 %

В случае, если заготовка имеет прямоугольное сечение, при расчете предельно допустимой глубины поверхностных дефектов необходимо вводить поправочные коэффициенты, учитывающие возникающую неравномерность деформации по вертикальной и горизонтальной осям.

В соответствии с выражением (3) возможно решить обратную задачу – рассчитать глубину дефектов на поверхности горячекатаного бунтового проката различных профилеразмеров в зависимости от фактической глубины дефектов на поверхности стальной заготовки:

$$h_{np} = \frac{h_3}{\sqrt{\frac{F_3}{F_{np}} + \frac{F_3 \cdot L_o}{100 \cdot 4 \cdot a}}} \quad (7)$$

**Выводы.** Принимая во внимание полученные данные (см. табл. 4), можно сделать вывод, что для гарантированного соответствия качества поверхности горячекатаного металла требованиям нормативной документации для различных профилеразмеров бунтового проката (5,5...14,0 мм) предельно допустимую глубину дефектов на поверхности стальной заготовки представляется возможным ограничить значением не более 2,0 мм, что хорошо согласуется с приведенными требованиями (см. табл. 3).

Однако необходимо понимать, что наличие на поверхности заготовок дефектов, глубина которых превышает указанное значение, не будет свидетельствовать об однозначном браковочном признаке. Окончательное решение об использовании заготовок в производственном процессе и соответствии бунтового проката требованиям нормативной документации может быть принято по результатам предварительного расчета в соответствии с предложенной методикой. Кроме этого, должно быть учтено и последующее назначение металлопроката.

Таким образом, разработанная упрощенная методика расчета позволяет при нормируемой глубине дефектов на поверхности горячекатаного бунтового проката произвести оперативный расчет предельно допустимой глубины дефектов на поверхности стальной заготовки перед началом нагрева металла под горячую деформацию.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дефекты стали : справочник / под ред. С. М. Новокщеновой, М. И. Виноград. – Москва : Металлургия, 1984. – 199 с.
2. Дефекты стальных заготовок и металлопродукции Белорусского металлургического завода: справочник-атлас / Микирова З. А., Перетягина Е. А., Грицаенко В. И., Барадынцева Е. П., Куренкова Т. П., сост. Грицаенко В. И., под общ. ред. Савенка А. Н., Белорусский металлургический завод. – Санкт-Петербург : [б. и.], 2014. – 326 с.
3. Дефекты стальных слитков и проката. Справочник / В. В. Правосудович, В. П. Сокуренок, В. Н. Данченко, С. В. Кондратьев. – Москва : Интермет Инжиниринг, 2006. – 384 с.
4. Зильберг Ю. В. Исследование закономерностей формоизменения поверхностных дефектов при прокатке / Ю. В. Зильберг // Сталь. – 1997. – № 10. – С. 44–46.
5. Зильберг Ю. В. Формоизменение поверхностных дефектов при прокатке в простых калибрах / Ю. В. Зильберг, С. В. Ревякин // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 1996. – № 8. – С. 23–25.
6. Трансформация дефектов непрерывнолитой заготовки в поверхностные дефекты проката / А. Б. Сычков, М. А. Жигарев, А. В. Перчаткин, С. Н. Мазанов, В. С. Зенин // Металлург. – 2006. – № 2. – С. 60–63.

7. The transformation of defects in continuous-cast semifinished products into surface defects on rolled products / A. B. Sychkov, V. F. Zhigarev, A. V. Perchatkin, S. N. Mazanov, V. S. Zenin // *Metallurgist*. – 2006. – Vol. 50, iss. 1/2. – P. 83–90.

#### REFERENCES

1. Novokshhenyj S.M. and Vinograd M.I., eds. *Defekty stali* [Defects steel]. Moskva: Metallurgiya, 1984, 199 p. (in Russian).
2. Mikirova Z.A., Peretyagina E.A., Gricenko V.I., Baradynceva E.P. and Kurenkova T.P. *Defekty stal'nyx zagotovok i metalloprodukcii Belorusskogo metallurgicheskogo zavoda* [Defects of steel billets and steel products of Belarussian Steel Works.]. Belorusskij metallurgicheskij zavod [Belarussian Metallurgical Plant]. Sankt-Peterburg: [s. n.], 2014, 326 p. (in Russian).
3. Pravosudovich V.V., Sokurenko V.P., Danchenko V.N. and Kondrat'ev S.V. *Defekty stal'nyx slitkov i prokata* [Defects of steel ingots and rolled products]. Moskva: Intermet Inzhiniring, 2006, 384 p. (in Russian).
4. Zil'berg Yu.V. *Issledovanie zakonomernostej formoizmeneniya poverxnostnyx defektov pri prokatke* [Consistency research of surface defects forming in rolling]. *Stal'* [Steel]. 1997, no. 10, pp. 44–46. (in Russian).
5. Zil'berg Yu.V. and Revyakin S.V. *Formoizmenenie poverxnostnyx defektov pri prokatke v prostyx kalibrax* [Surface defects forming during rolling in simple calibers]. *Metallurgicheskaya i gornorudnaya promyshlennost'* [Metallurgical and Mining Industry]. 1996, no. 8, pp. 23–25. (in Russian).
6. Sychkov A.B., Zhigarev M.A., Perchatkin A.V., Mazanov S.N., Zenin V.S. *Transformaciya defektov nepreryvnoj zagotovki v poverxnostnye defekty prokata* [Transformation of continuous casting defects in the surface rolling defects]. *Metallurg* [Metallurgist]. 2006, no. 2, pp. 60–63. (in Russian).
7. Sychkov A.B., Zhigarev V.F., Perchatkin A.V., Mazanov S.N. and Zenin V.S. *The transformation of defects in continuous-cast semifinished products into surface defects on rolled products*. *Metallurgist*. 2006, vol. 50, iss. 1/2, pp. 83–90.

Рецензент: Большаков В. И., д-р т. н., проф.

Надійшла до редколегії: 07.12.2016 р. Прийнята до друку: 27.12.2016 р.