

ПРОБЛЕМЫ ПОЛУЧЕНИЯ КАЧЕСТВЕННОЙ СЛЯБОВОЙ ЗАГОТОВКИ НА МНЛЗ № 2 ОАО «УРАЛЬСКАЯ СТАЛЬ»

Е.А. Шевченко, А.Н. Шаповалов

Проанализированы показатели непрерывной разливки слябовой заготовки и листовой прокатки в условиях ОАО «Уральская Сталь». Выявлены основные причины, влияющие на качество непрерывнолитой заготовки и брак листового проката.

Ключевые слова: непрерывная разливка, слябовая заготовка, листовой прокат.

Одной из основных задач при непрерывной разливке стали является управление процессом кристаллизации металла с целью создания условий для формирования качественного слитка, обеспечивающего получение высоких показателей прокатки.

С 2004 г. в ЭСПЦ ОАО «Уральская Сталь» эксплуатируется одноручьевая слябовая МНЛЗ конструкции фирмы «SMS Demag», которая представляет собой вертикальную установку с последующим изгибом заготовки с шестью точками изгиба и четырьмя точками правки. Установка предназначена для разливки стали на слябы сечением 190×1200 и 270×1200 мм с максимальной скоростью вытягивания 1,6 и 1,2 м/мин соответственно.

За 2011 год на МНЛЗ № 2 было разлито 883 288 т стали, получено 726 931 т слябовых заготовок, в том числе 393 027 т – сечением 190×1200 мм и 333 904 т – сечением 270×1200 мм.

Несмотря на продолжительный срок эксплуатации МНЛЗ № 2 и большую работу, проведенную по ее модернизации, отбраковка листового проката

по дефектам сталеплавильного происхождения недопустимо высока и в среднем составляет 3,61 %, а по некоторым маркам стали превышает 10 %. По результатам работы МНЛЗ № 2 за 2011 год отсортировка проката (8–50 мм) из слябов толщиной 190 и 270 мм равнялась, соответственно, 1,98 и 4,76 % (отн.). Из этих данных следует, что наиболее проблемной является отливка качественных слябов толщиной 270 мм. Анализ данных по отсортировке проката для наиболее массовых марок разливаемых сталей (09Г2С, 10ХСНДА и К52-1) показал, что наибольшая отбраковка проката из заготовки сечением 270×1200 мм наблюдается по дефектам: рванина, трещина и неудовлетворительные результаты ультразвукового контроля.

При этом результаты оценки макроструктуры темплетов непрерывнолитой заготовки сечением 270×1200 мм за период с 01.01.2011 по 12.10.2011 г. (257 темплетов) свидетельствуют об удовлетворительном качестве непрерывнолитой слябовой заготовки, полученной в условиях МНЛЗ № 2 (табл. 1).

Таблица 1

Результаты оценки макроструктуры слябов (270×1200 мм), отлитых из стали марок 09Г2С, 10ХСНДА и класса прочности К52-1 по основным дефектам

| Дефект | Марка стали или класс прочности | Степень развития дефекта* (балл) при величине перегрева металла в промежуточном ковше | | |
|--|---------------------------------|---|--------------------------|--------------------------|
| | | За 2011 год | 10...20 °С | более 20 °С |
| Осевая рыхлость (ОР) | 09Г2С | $\frac{0,5...2,5}{1,38}$ | $\frac{0,5...1,5}{1,20}$ | $\frac{1,0...2,0}{1,7}$ |
| | 10ХСНДА | | $\frac{1,0...1,5}{1,22}$ | $\frac{1,0...1,5}{1,33}$ |
| | К52-1 | | $\frac{0,5...1,5}{1,20}$ | $\frac{1,0...2,5}{1,5}$ |
| Осевая химическая неоднородность (ОХН) | 09Г2С | $\frac{0,5...2,0}{1,20}$ | $\frac{0,5...1,0}{1,0}$ | $\frac{1,0...1,5}{1,3}$ |
| | 10ХСНДА | | $\frac{0,5...1,5}{1,07}$ | $\frac{1,0...2,0}{1,22}$ |
| | К52-1 | | $\frac{0,5...1,0}{0,78}$ | $\frac{0,5...2,0}{1,15}$ |
| Осевая трещина (ОТ) | 09Г2С | $\frac{0,5...1,0}{0,51}$ | $\frac{0,5...1,0}{0,6}$ | $\frac{0,5...1,0}{0,8}$ |
| | 10ХСНДА | | $\frac{0...1,0}{0,43}$ | $\frac{0...1,0}{0,53}$ |
| | К52-1 | | $\frac{0...1,0}{0,39}$ | $\frac{0...1,0}{0,52}$ |

Окончание табл. 1

| Дефект | Марка стали или класс прочности | Степень развития дефекта* (балл) при величине перегрева металла в промежуточном ковше | | |
|---|---------------------------------|---|--------------------------|--------------------------|
| | | За 2011 год | 10...20 °С | более 20 °С |
| Трещина, перпендикулярная узкой грани (ТПУ) | 09Г2С | $\frac{0,5...1,5}{0,84}$ | $\frac{0,5...1,0}{0,8}$ | $\frac{0,5...1,5}{1,15}$ |
| | 10ХСНДА | | $\frac{0,5...1,5}{0,76}$ | $\frac{0,5...1,5}{0,94}$ |
| | K52-1 | | $\frac{0,5...1,0}{0,76}$ | $\frac{0,5...1,5}{0,87}$ |
| Трещина, перпендикулярная широкой грани (ТПШ) | 09Г2С | $\frac{0,5...2,0}{0,98}$ | $\frac{0,5...1,0}{0,75}$ | $\frac{0,5...1,5}{0,95}$ |
| | 10ХСНДА | | $\frac{0,5...1,5}{0,87}$ | $\frac{0,5...1,5}{1,11}$ |
| | K52-1 | | $\frac{0...1,5}{0,78}$ | $\frac{0...1,5}{0,94}$ |
| Угловая трещина (УТ) | 09Г2С | $\frac{0...1,0}{0,15}$ | $\frac{0...0,5}{0,03}$ | $\frac{0...1,0}{0,35}$ |
| | 10ХСНДА | | $\frac{0...0,5}{0,1}$ | $\frac{0...1,0}{0,23}$ |
| | K52-1 | | $\frac{0...0,5}{0,07}$ | $\frac{0...1,0}{0,15}$ |

* По ОСТ 14-4-72 «Сталь. Метод контроля макроструктуры литой заготовки (слитка), полученной методом непрерывной разливки»: в числителе – интервал изменения, в знаменателе – среднее значение.

Наибольшее развитие получили такие дефекты макроструктуры (см. табл. 1), как ОР, ОХН и трещины, перпендикулярные граням заготовки. При этом средний балл по всем дефектам значительно ниже допустимого уровня (2 балла), а отбраковка листового проката по дефектам сталеплавления происхождения недопустимо высока.

Для установления причин образования брака листового проката проведен анализ технологических параметров разливки слябовой заготовки 270×1200 мм. Усредненные производственные данные за 2011 год представлены в табл. 2.

Как видно из данных табл. 2, перегрев металла в промковше при разливке слябовой заготовки

Таблица 2

Технологические параметры разливки стали на МНЛЗ № 2

| Параметры | Марка стали | | |
|--------------------------------------|-------------|-------------|-------------|
| | 09Г2С | 10ХСНДА | K52-1 |
| Химический состав стали | | | |
| Сера, % | 0,002–0,012 | 0,002–0,010 | 0,002–0,008 |
| Фосфор, % | 0,009–0,015 | 0,005–0,018 | 0,008–0,020 |
| Медь, % | 0,08–0,18 | 0,40–0,46 | 0,07–0,17 |
| Водород, ppm | 4,8–9,1 | 4,6–9,2 | 5,2–8,3 |
| Азот, % | 0,006–0,012 | | |
| Параметры разливки | | | |
| Габариты заготовки, мм | 270×1200 | | |
| Скорость разливки, м/мин: | | | |
| минимальная | 0,60 | | |
| средняя | 0,90 | | |
| максимальная | 0,95 | | |
| Температура ликвидус, °С | 1513 | 1510 | 1516 |
| Температура металла в стальковше, °С | 1561 | 1560 | 1564 |
| Температура металла в промковше, °С: | | | |
| минимальная | 1521 | 1519 | 1521 |
| средняя | 1533 | 1533 | 1535 |
| максимальная | 1547 | 1546 | 1550 |
| Перегрев металла в промковше*, °С: | | | |
| минимальный | 8 | 9 | 5 |
| средний | 20 | 23 | 20 |
| максимальный | 34 | 36 | 34 |
| Количество плавов, шт. | 344 | 438 | 521 |

* Допустимый перегрев по ТИ-13657842-СТ.ЭС-02-2011 от 10 до 25 °С.

колеблется в широких пределах (от 5 до 36 °С), причем максимальные значения перегрева 34–36 °С существенно превышают допустимый уровень в 25 °С. Для определения доли плавков, разлитых с нарушением регламентированного уровня перегрева металла в проковше, построена частотная диаграмма (рис. 1).

Из рис. 1 следует, что на большинстве плавков (более 60 %), разлитых за анализируемый период, перегрев металла в проковше поддерживался на верхнем пределе (20–25 °С) или превышал его, что могло неблагоприятно сказаться на качестве непрерывнолитой заготовки, а, следовательно, и на отбраковке листового проката. Подтверждение данной гипотезы прослеживается в работах [1–3], в которых одной из главных причин образования дефектов заготовки выделяется несовершенство температурно-скоростного режима, в частности, повышенные температуры разливаемой стали. Проведенный статистический анализ производственных данных за 2011 год позволил установить, что при повышении температуры разливаемого металла ухудшается качество заготовки по основным видам дефектов (см. табл. 1).

Данные табл. 1 свидетельствуют о том, что при разливке металла с перегревом более 20 °С

возрастает степень развития всех основных дефектов, особенно осевой рыхлости, осевой химической неоднородности и трещин. Ухудшение качества заготовок, отлитых при повышенной температуре металла в проковше, вызывает увеличение отбраковки листового проката на 0,8–1,2 % (рис. 2).

Таким образом, перегрев металла в промежуточном ковше МНЛЗ более 20 °С вызывает снижение качества как литого металла, так и производимого из него горячекатаного листа.

Непосредственное отрицательное влияние разливки металла с повышенным перегревом (более 20 °С) усиливается из-за отсутствия на МНЛЗ № 2 ОАО «Уральская Сталь» боковой поддержки узких граней заготовки. В результате на заготовке сечением 270×1200 мм при недостаточной толщине корочки на выходе из кристаллизатора, определяемой, главным образом, температурно-скоростным режимом разливки, происходит выпучивание узких граней заготовки, величиной до 12 мм (рис. 3).

Выпучивание узких граней заготовки в совокупности со следами качания от кристаллизатора и высоким темпом охлаждения заготовки под кристаллизатором приводит к возникновению значительных термомеханических напряжений и зарождению микротрещин в заготовке, повышающих

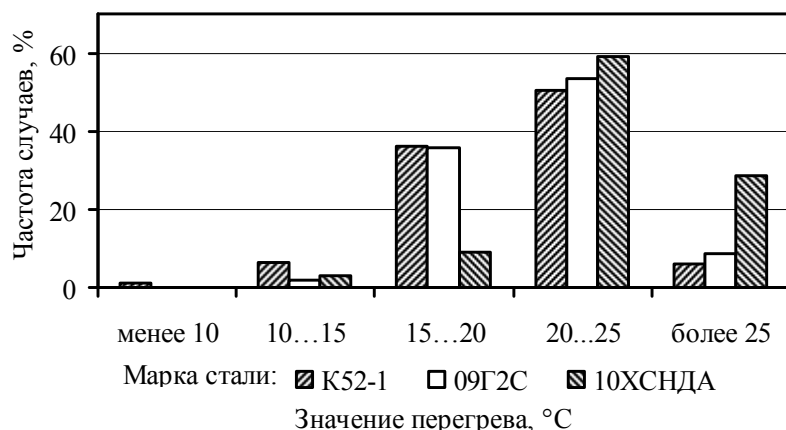


Рис. 1. Частотная диаграмма перегрева металла в проковше

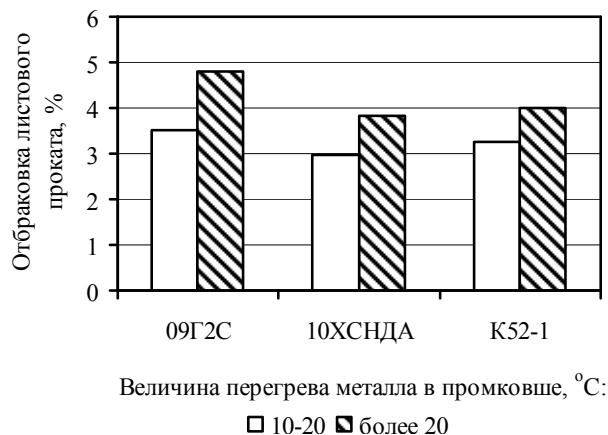


Рис. 2. Отбраковка листового проката из слывовой заготовки 270×1200 мм, отлитой при разном уровне перегрева металла в проковше



Рис. 3. Влияние перегрева металла в проковше на выпучивание узкой грани слывовой заготовки толщиной 270 мм

вероятность возникновения разрывов и трещин на листовом прокате. Так, например, деформация узкой грани заготовки 270×1200 мм из стали 09Г2С, приводящая к выпучиванию, усиливает пораженность заготовки трещинами, особенно ТПУ и УТ (рис. 4).

В свою очередь, степень развития таких дефектов как ТПУ и УТ во многом определяет величину отсортировки листового проката по дефекту «рванина» (рис. 5).

Из представленных в табл. 1 и на рис. 3–5 данных следует, что при перегреве разливаемого металла более 20°C существенно повышается степень развития дефектов заготовки, что предопределяет рост отсортировки листового проката.

Таким образом, при существующей конструкции МНЛЗ № 2 для предотвращения выпучивания узких граней и ограничения степени развития дефектов заготовки, впоследствии трансформирующихся в дефекты листового проката, необходимо ограничивать температуру перегрева металла в промковше на уровне $10\text{--}20^\circ\text{C}$ и корректировать скорость разлики при перегреве $> 20^\circ\text{C}$.

Технологической инструкцией ТИ-13657842-СТ.ЭС-02-2011 регламентируется снижение ско-

рости разлики заготовки 270×1200 мм от 1,05 до 0,7 м/мин пропорционально повышению перегрева металла в промковше в диапазоне от 5 до 40°C . Однако как следует из анализа производственных данных (рис. 6), технологический персонал практически не учитывает перегрев металла в промковше, а, в первую очередь, ориентируется на показания температурных датчиков системы раннего распознавания прорывов (СРПП).

Другой возможной причиной образования дефектов на заготовке, особенно наружных и внутренних трещин, является избыточное или недостаточное охлаждение отдельных участков поверхности слитков вследствие неправильно организованного режима вторичного охлаждения. Проведенные ранее на МНЛЗ № 2 исследования температурного поля непрерывнолитой заготовки сечением 1200×270 мм [4] позволили установить значительную неравномерность и несимметричность распределения температуры по поверхности заготовки в конце зоны вторичного охлаждения (ЗВО). Усредненные результаты замеров температуры поверхности широкой грани заготовок (на выходе из бункера зоны вторичного охлаждения) со стороны малого радиуса приведены на рис. 7.

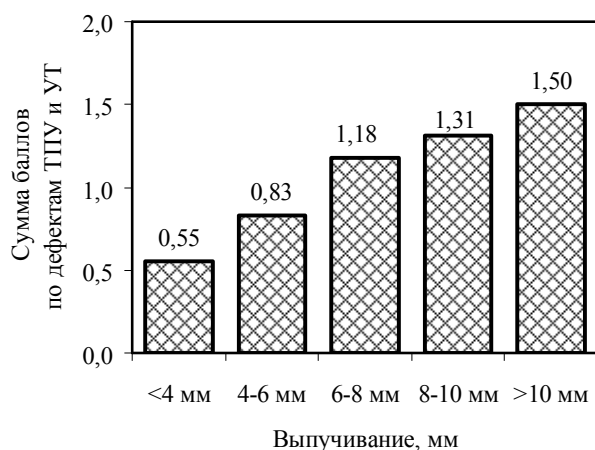


Рис. 4. Влияние выпучивания заготовки 270×1200 мм из стали 09Г2С на степень развития дефектов ТПУ и УТ

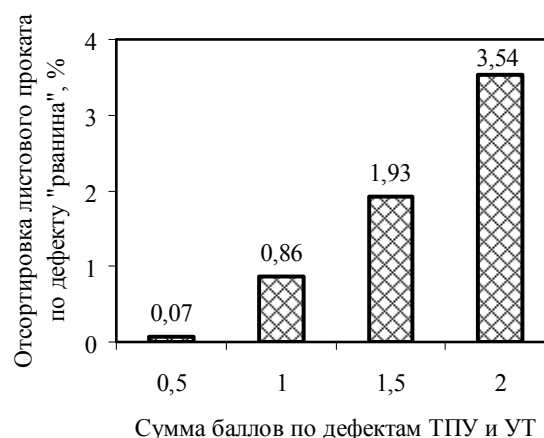


Рис. 5. Взаимосвязь между отсортировкой листового проката по дефекту «рванина» и суммой баллов по дефектам ТПУ и УТ



Рис. 6. Взаимосвязь скорости разлики и перегрева металла в промковше для заготовки 270×1200 мм из стали 09Г2С

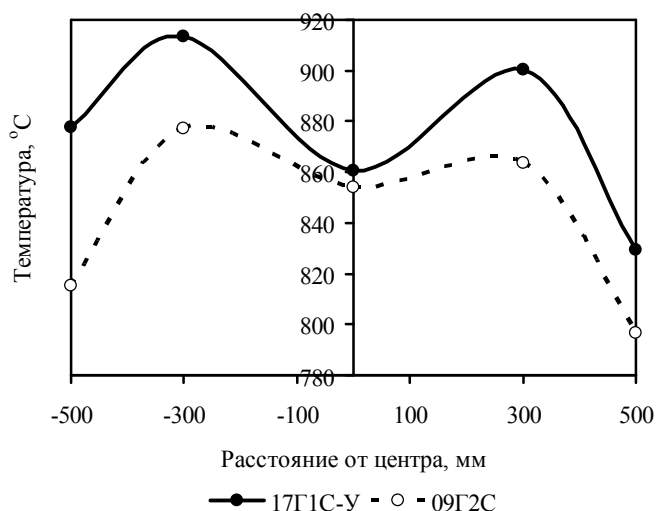


Рис. 7. Температура поверхности широкой грани заготовки на выходе из бункера зоны вторичного охлаждения [4]

Представленные на рис. 7 данные свидетельствуют о неравномерном охлаждении заготовки в ЗВО, а именно переохлаждении центральной и периферийных частей, причем несимметричность температурного поля в различных участках по поверхности широкой грани составляет от 20 до 60 °C. Неравномерное распределение температур наблюдается и по толщине заготовки: до 40 °C между верхней и нижней частью заготовки и до 70 °C между центром заготовки и угловой зоной, особенно со стороны малого радиуса [4]. Выявленная неравномерность температуры поверхности заготовки по ее периметру объясняется особенностями конструкции и настройки ЗВО, а также недостаточной согласованностью в расходах охладителя со стороны малого и большого радиусов. Вместе с тем обеспечение постоянства температуры по периметру заготовки является одним из основных требований к настройке ЗВО [5], обеспечивающих качество непрерывнолитой заготовки. Наличие переохлажденных участков (центральная и угловые зоны) и больших перепадов температуры по периметру заготовки ведет к увеличению термических напряжений, которые, суммируясь с механическими напряжениями в зоне разгиба, могут являться причиной образования поверхностных трещин [6].

Кроме того, результаты измерения температурного поля поверхности заготовки на выходе из ЗВО свидетельствуют о переохлаждении центрального и, особенно, угловых участков заготовки до температур 800–860 °C, что может привести к потере пластичности металла и образованию трещин при выпрямлении заготовки. Это подтверждается рядом работ [6–9], в которых доказывается, что для многих марок сталей наиболее целесообразной является температура поверхности в конце зоны вторичного охлаждения на уровне более 900 °C.

Таким образом, неравномерность охлаждения заготовки по периметру, а также переохлаждение

угловых участков может являться одной из причин образования дефектов, проявляющихся на листовом прокате. В этой связи остается актуальным вопрос совершенствования режима вторичного охлаждения непрерывнолитой слябовой заготовки, включая выбор рациональных расходов охладителя по контурам ЗВО.

Кроме того, анализ химического состава разливаемых марок стали (см. табл. 2) свидетельствует о высоком содержании вредных примесей S и P (до 0,010–0,012 % по сере и до 0,015–0,020 % по фосфору) и растворенных газов – водорода и азота (до 9,3 ppm по водороду и до 0,012 % по азоту), что также влияет на качество заготовки.

Таким образом, анализ показателей разливки стали на МНЛЗ № 2 ОАО «Уральская Сталь» за 2011 год позволил выявить основные проблемы формирования качественной заготовки, влияющие на отбраковку листового проката, и сформулировать способы их решения:

- поддержание перегрева металла в промковше на уровне 10–20 °C;
- корректировка скорости разливки в зависимости от перегрева в соответствии с технологической инструкцией (с учетом показаний СРПП);
- установка поддерживающих элементов по узким граням заготовки под кристаллизатором;
- оптимизация настройки вторичного охлаждения с целью снижения неравномерности температуры по периметру заготовки, а также недопущения переохлаждения поверхности ниже 900 °C;
- обеспечение содержаний серы и фосфора в разливаемом металле на уровне не более 0,010 %, а водорода – не более 6 ppm.

Литература

1. Дюдкин, Д.А. Производство стали. Т. 4: Непрерывная разливка металла / Д.А. Дюдкин, В.В. Кисиленко, А.Н. Смирнов. – М.: «Теплотехник», 2009. – 528 с.

2. Смирнов, А.Н. Непрерывная разливка стали: учеб. / А.Н. Смирнов, С.В. Куберский, Е.В. Штепан. – Донецк: ДонНТУ, 2011. – 482 с.
3. Kainz, A. From slab corner cracks to edge-defects in hot rolled strip – experimental and numerical investigations / A. Kainz, S. Ilie, E. Parteder // *Steel Research Int.* – 2008. – Vol. 79, no. 11. – P. 861–867.
4. Экспериментальные исследования температуры поверхности непрерывнолитой слэбовой заготовки / В.Д. Тутарова, Д.С. Сафонов, А.Н. Шаповалов и др. // *Изв. вузов. Черная металлургия.* – 2012. – № 3. – С. 40–42.
5. Евтеев, Д.П. Непрерывное литье стали / Д.П. Евтеев, И.Н. Колыбалов. – М.: Металлургия, 1984. – 199 с.
6. Мирсалимов, В.М. Напряженное состояние и качество непрерывного слитка / В.М. Мирсалимов, В.А. Емельянов. – М.: Металлургия, 1990. – 151 с.
7. Определение температуры поверхности непрерывнолитой заготовки для управления режимом ее охлаждения / А.А. Иванов, В.С. Капитонов, В.С. Смирнов и др. // *Сталь.* – 1969. – № 12. – С. 1092–1094.
8. Отработка режимов вторичного охлаждения на УНРС новолитецкого металлургического завода / С.В. Колпаков, Д.П. Евтеев, В.И. Уманец и др. // *Непрерывная разливка стали: темат. сб. науч. тр. МЧМ СССР (ЦНИИчермет).* – М.: Металлургия, 1977. – № 4. – С. 58–64.
9. Носоченко, О.В. Совершенствование режима вторичного охлаждения при разливке низколегированной стали 10ХСНД на криволинейной МНЛЗ / О.В. Носоченко, В.П. Землянский, В.В. Емельянов // *Бюлл. науч. техн. информ. ЧМ,* 1986. – № 3. – С. 48.

Шевченко Евгений Александрович, аспирант, НИТУ «МИСиС», Новотроицкий филиал. 462359, Оренбургская обл., г. Новотроицк, ул. Фрунзе, 8. E-mail: nfmisis-nis@yandex.ru.

Шаповалов Алексей Николаевич, кандидат технических наук, доцент кафедры металлургических технологий, НИТУ «МИСиС», Новотроицкий филиал. 462359, Оренбургская обл., г. Новотроицк, ул. Фрунзе, 8. E-mail: alshapo@yandex.ru.

**Bulletin of the South Ural State University
Series “Metallurgy”
2013, vol. 13, no. 1, pp. 68–73**

PROBLEMS FOR GOOD SLAB INGOT AT CCM No. 2 OF JSC «URAL STEEL»

E.A. Shevchenko, A.N. Shapovalov

Indexes of slab continuous casting ingot and sheet rolling at JSC «Ural Steel» are analyzed. The basic factors to influence the quality of the ingots and the damage of metal sheets are found out.

Keywords: continuous casting, slab ingot, sheet products.

Shevchenko Evgeniy Aleksandrovich, post-graduate student, Novotroitsk branch, National University of Science and Technology “MISIS”. 8 Frunze street, Novotroitsk, Orenburg region, Russia 462359. E-mail: nfmisis-nis@yandex.ru.

Shapovalov Aleksey Nikolaevich, candidate of engineering science, assistant professor of the Metallurgical Technologies Department, Novotroitsk branch, National University of Science and Technology “MISIS”. 8 Frunze street, Novotroitsk, Orenburg region, Russia 462359. E-mail: alshapo@yandex.ru.

Поступила в редакцию 14 февраля 2013 г.