УДК 669.187.25

АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЫ ПРОИЗВОДСТВА ТРУБНОЙ СТАЛИ С ЦЕЛЬЮ РАЗРАБОТКИ ПРЕДЛОЖЕНИЙ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ГОТОВОЙ ПРОДУКЦИИ

*Лопатенко А.Д.¹, аспирант кафедры «Металлургия стали
и ферросплавов» (salat1313@yandex.ru)*

Орехов Д.М.², начальник технического отдела (orehov_dm@vsw.ru)

*Семин А.Е.¹, д.т.н., профессор кафедры «Металлургия стали
и ферросплавов» (asemin2007@yandex.ru)*

¹ **Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»**
(119049, Россия, Москва, Ленинский пр., 4)

² **АО «ОМК», филиал АО «ОМК-Сталь» (Литейно-прокатный комплекс)**
(607060, Россия, Нижегородская обл., Выксунский район, Проммикрорайон-7, ЛПК)

Аннотация. Проведен анализ заводских плавок трубной стали класса прочности K52 в условиях филиала АО «ОМК-Сталь» на Литейно-прокатном комплексе. В качестве исходной информации приняты данные по массиву, состоящему из 30 плавок. Анализируемая технологическая схема включает подготовку и выпуск полупродукта из дуговой сталеплавильной печи, обработку металла на установке ковш-печь и вакуумирование с учетом микролегирования и модифицирования, а также горячую прокатку полос с последующей резкой на лист и штрипс. Показаны основные причины, влияющие на качество стали. Отмечено, что основной причиной брака исследуемой марки стали могут быть хрупкие и недеформируемые силикатные неметаллические включения. Предложены рекомендации для изменения технологического процесса, позволяющие снизить содержание силикатных неметаллических включений.

Ключевые слова: Литейно-прокатный комплекс, трубная сталь, класс прочности, технологическая схема, качество стали, хрупкие силикатные неметаллические включения, недеформируемые силикатные неметаллические включения.

DOI: 10.17073/0368-0797-2016-11-787-792

Нефть и нефтепродукты обеспечивают около трети топливно-энергетических потребностей страны и являются одним из главных источников валютных поступлений. Поэтому состояние нефтедобывающей и нефтеперерабатывающей отраслей в значительной мере определяет и состояние экономики России в целом [1].

Для магистральных газо- и нефтепроводов, нефтепродуктопроводов и подводных трубопроводов используют электросварные прямошовные (одно- и двухшовные) трубы диаметром от 508 до 1420 мм с толщиной стенки от 7 до 48 мм. Эти трубы изготавливают из стали классов прочности от K38 до K65 на рабочем давлении до 250 атм методом формовки и автоматической сварки под слоем флюса. С повышением класса прочности возрастает временное сопротивление разрыву, увеличивается предел текучести, при этом уменьшается относительное удлинение. В табл. 1 представлены вышеперечисленные показатели и их значения, предъявляемые к основным маркам трубного металла.

В условиях филиала АО «ОМК-Сталь» на Литейно-прокатном комплексе (ЛПК) освоено производство проката для труб классов прочности K52-K60 для строительства газопроводов в северной климатической зоне с температурой эксплуатации до минус 60 °С, промысловых трубопроводов повышенной коррозион-

ной стойкости и хладностойкости, трубопроводов для транспортировки нефтегазопродуктов с повышенным содержанием сероводорода. На эксплуатационные свойства готовой продукции оказывает влияние ряд факторов, таких как химический состав в довольно узких пределах, содержание примесей (P, S, N, H), содержание неметаллических включений разного состава, размера и природы образования.

Перед филиалом АО «ОМК-СТАЛЬ» (ЛПК) в городе Выкса стоит ряд проблем, основными из которых являются уменьшение брака, повышение служебных свойств продукции, а также увеличение выхода годного.

В данной работе представлен анализ массива промышленных плавок, металл которых не отвечал требованиям конечной продукции. В качестве основной марки стали была выбрана K52. Большое количество плавок было забраковано по такому параметру, как балл хрупких и недеформируемых силикатных неметаллических включений.

Нормы загрязненности стали неметаллическими включениями представлены в табл. 2.1 и 2.2 (ГОСТ 1778-70).

Соответствия между классом прочности стали и уровнем надежности представлены в табл. 3 (трубы сварные большого диаметра (530 – 1420 мм) для газопроводов. Технические условия).

Таблица 1

**Механические свойства основного металла труб
(ГОСТ Р 52079-2003)**

*Table 1. Mechanical properties of base metal of pipes
(GOST R 52079-2003)*

Класс прочности	Временное сопротивление разрыву, $\sigma_{\text{в}}$, Н/мм ²	Предел текучести, $\sigma_{\text{т}}$, Н/мм ²	Относительное удлинение, δ_5 , %
	не менее		
K34	335	205	24
K38	375	235	22
K42	410	245	21
K48	471	265	21
K50	490	345	20
K52	510	355	20
K54	530	380	20
K55	540	390	20
K56	550	410	20

Хрупкие и недеформируемые неметаллические включения могут образовываться на всех стадиях производства стали. Наиболее актуальное время образования указанных неметаллических включений – начиная от выпуска полупродукта из печи в ковш до разливки металла на установке непрерывной разливки стали.

В качестве основной методики, позволяющей оценить основные причины брака готовой продукции, принята диаграмма Парето.

Диаграмма Парето – это инструмент, позволяющий распределить усилия для разрешения возникающих проблем и выявить основные причины, с которых нужно начинать действовать [2]. Метод анализа Парето заключается в классификации проблем качества на немногочисленные, но существенно важные, и многочисленные, но несущественные.

Для построения диаграммы Парето был взят весь массив плавов за январь 2013 г. стали К-52 (информация о производстве стали К52 предоставлена техническим отделом филиала АО «ОМК-Сталь», г. Выкса.), который включает в себя 30 плавов. Для анализа был

Таблица 2.1

Нормы загрязненности стали неметаллическими включениями (уровни надежности труб – I, II)

Table 2.1. Standards of steel pollution with non-metallic inclusions (pipe reliability level – I, II)

Тип включений		Место вырезки образца			
		вне осевой зоны, не более		в осевой зоне, не более	
		по среднему баллу	по максимальному баллу	по среднему баллу	по максимальному баллу
Сульфиды (С)		2,5	4,0	3,0	4,0
Оксиды	строчечные (ОС)	2,5	4,0	3,0	4,0
	точечные (ОТ)	2,5	4,0	3,0	4,0
Силикаты	хрупкие (СХ)	2,5	4,0	3,0	4,0
	пластичные (СП)	2,5	4,0	3,0	4,0
	недеформируемые (СН)	2,5	4,0	3,0	4,0

Таблица 2.2

Нормы загрязненности стали неметаллическими включениями (уровень надежности труб – III)

Table 2.2. Standards of steel pollution with non-metallic inclusions (pipe reliability level – III)

Тип включений		Место вырезки образца			
		вне осевой зоны, не более		в осевой зоне, не более	
		по среднему баллу	по максимальному баллу	по среднему баллу	по максимальному баллу
Сульфиды (С)		1,0	1,5	3,0	3,5
Оксиды	строчечные (ОС)	2,0	2,5	3,0	3,5
	точечные (ОТ)	2,0	2,5	3,0	3,5
Силикаты	хрупкие (СХ)	2,0	2,5	3,0	3,5
	пластичные (СП)	2,0	2,5	3,0	3,5
	недеформируемые (СН)	2,5	3,0	3,0	3,5

Таблица 3

Классы прочности трубных сталей и надежности труб

Table 3. Pipe steel strength grades and reliability categories

Класс прочности	Уровень надежности		
	I	II	III
K 52	+	+	
K 55	+	+	
K 56	+	+	+
K 60		+	+

взяты любые дефекты, из-за которых плавка была забракована. Данные для построения диаграммы Парето приведены в табл. 4.

В табл. 5 представлены требования по необходимой ударной вязкости основного металла и металла шва на

образцах KCV и требования по количеству вязкой составляющей основного металла для труб уровней надежности I и II (трубы сварные большого диаметра (530 – 1420 мм) для газопроводов. Технические условия).

Используя данные, приведенные в табл. 4, построена диаграмма Парето (рис. 1).

Правило 80/20 показывает наиболее важные, существенные проблемы, которые могли бы быть причинами дефектов. Относительный процент основных причин дефектов в общем объеме причин обычно составляет 80 %. Технологические приемы, направленные на устранение этих причин, имеют наибольшую эффективность. Оставшиеся 20 % причин, приводящих к дефектам, наименее значимые [2].

Как видно из результатов, представленных на диаграмме Парето, восемь из девяти забракованных плавок имели дефект, связанный с превышением балла по хрупким и недеформируемым силикатным неметаллическим включениям, т. е. эти включения явились при-

Таблица 4

Данные для построения диаграммы Парето

Table 4. Pareto chart plotting data

Тип дефекта	Число дефектов	Накопленная сумма дефектов	Процент числа дефектов по каждому признаку в общей сумме	Накопленный процент
Количество вязкой составляющей при $t = -20^\circ\text{C}$	1	1	11	11
Силикаты недеформирующиеся (баллы, превышающие допустимое значение)	2	3	22	33
Силикаты хрупкие (баллы, превышающие допустимое значение)	6	9	67	100
Итого	9	—	100	—

Таблица 5

Требования по ударной вязкости основного металла и металла шва на образцах KCV и количеству вязкой составляющей основного металла для труб уровней надежности I и II

Table 5. Requirements for the toughness of the base metal and weld metal on KCV specimens and for quantity of the viscous component of the base metal for pipes of reliability levels I and II

Наружный диаметр труб, мм	Ударная вязкость металла труб на образцах KCV при температуре −40 °С, Дж/см²				Количество вязкой составляющей в изломе образца при испытании падающим грузом основного металла при температуре −20 °С, %	
	основной металл		металл шва			
	I	II	I	II	I	II
	не менее					
От 530 до 720	30	40	30	30	50	60
От 720 до 1020	40	50	35	35	50	60
1020	55	60	35	40	65	70
1220	70	80	35	40	75	80
1420	105	110	35	40	85	85

Рис. 1. Диаграмма Парето:

■ – воздействие; — – суммарное воздействие

Fig. 1. Pareto chart:

■ – effect; — – cumulative effect

чиной 89 % брака в исследуемом массиве плавков. Это подтверждает обоснованность необходимости анализа влияния указанных неметаллических включений на качество готовой стали.

Для анализа взаимосвязи технологических приемов электроплавки стали и обнаруженных дефектов проведена обработка массива плавков стали класса прочности К52. При анализе плавков основное внимание сосредоточено на таких технологических приемах, как выпуск металла из печи в ковш, влияние степени отсечения печного шлака, температура и качество рабочей футеровки разливочного ковша, последовательность присадки шлакообразующих материалов и раскислителей в ковш с металлом, интенсивность перемешивания металла инертным газом, модифицирование металла. Эти параметры оказывают влияние на степень рафинирования от неметаллических включений, степень десульфурации, возможность рефосфорации и показатели рафинирования в вакууме. Особо следует отметить необходимость защиты металла от вторичного окисления на стадии выпуска металла в промежуточный ковш и из промежуточного ковша в кристаллизатор.

На объективность результатов анализа могли оказать влияние следующие причины: недостаточная частота и малая продолжительность кампаний плавков, неполный

химический состав шлаков, количество сопутствующего печного шлака на выпуске, попадающего в ковш, и ряд других.

Оценим наиболее значимые факторы, влияющие на образование силикатных неметаллических включений.

Технологическая схема производства стали в условиях филиала АО «ОМК-Сталь» показана на рис. 2.

Наиболее детально рассмотрим стадии выплавки полупродукта, обработки на установке ковш–печь, вакуумирования и разливки.

На стадии выплавки основным моментом является контроль отсечения печного шлака при выпуске. Печной шлак имеет высокое содержание FeO (на отдельных плавках может достигать 40 %). Несмотря на то, что далее печной шлак разбавляется твердыми шлаковыми смесями, уровень оксидов железа в шлаке может оставаться довольно высоким и достигать 1,0 – 1,5 %.

Попадание в ковш печного шлака ведет к ухудшению протекания процесса десульфурации [3], уменьшению коэффициента усвоения легирующих [4 – 5] и образованию большого количества неметаллических включений [5].

Авторы работы [6] приводят зависимость степени десульфурации от суммарного содержания $\text{FeO} + \text{MnO}$ в шлаке при внепечной обработке. Из этой зависимости

Рис. 2. Технологическая схема производства стали в условиях ЛПК

Fig. 2. Manufacturing scheme of steelmaking in OMK Casting and Rolling Complex

видно, что чем выше содержание $\text{FeO} + \text{MnO}$ в шлаке при внепечной обработке, тем меньше степень десульфурации.

В работах [7 – 10] описаны варианты, позволяющие минимизировать попадание печного шлака в сталеразливочный ковш. Однако самым простым можно считать оставление большего количества металла в печи, возможно до 15 – 20 %.

На установке ковш–печь проводится «доводка» металла по химическому составу, подогрев до необходимой температуры перед отдачей ковша на установку VD с запасом по температуре для разливки, процесс рафинирования и усреднение химического состава [11].

На образование неметаллических включений влияет содержание кислорода в металле [5], вид раскислителя. Принимая, что металл раскислен до необходимого уровня, важен контроль поступления кислорода извне. Это достигается ранним формированием шлака с пониженной окисленностью в ковше. При этом необходимо перемешивание металла аргоном. Это позволяет повысить степень десульфурации, способствует увеличению скорости всплывания неметаллических включений, более полному усреднению металла по химическому составу и температуре. Однако интенсивность подачи аргона не должна существенно оголять металл, чтобы исключить вторичное окисление и попадание газов из воздуха [12]. В реальных условиях контроль за расходом аргона происходит, как правило, визуальным, при этом опыт сталевара, а не технологически обоснованный расход решает «судьбу» плавки.

При эксплуатации циклически нагружаемых изделий в них возникают контактно-усталостные дефекты вследствие высоких нагрузок, приводящие к разрушению. Одной из важнейших причин зарождения усталостных трещин, как правило, являются недеформируемые высокоглиноземистые неметаллические включения [13, 14]. Поэтому существенное влияние на качество стали оказывает микролегирование и модифицирование металла.

Под микролегированием понимают введение (чаще всего совмещаемое с раскислением и дегазацией сплава) отдельных элементов или их соединений, остаточное содержание которых не превышает 0,1 % [15]. При этом микролегирование оказывает значительное влияние на процессы, протекающие в твердой фазе (фазовый состав сплавов, размер вторичного аустенитного зерна, строение и чистоту границ и приграничных зон) и, как следствие, на свойства металла.

Применение микродобавок позволяет получить необходимое качество и свойства металла, экономя на доли ферросплавов, используя небольшие количества таких металлов, как ниобий, церий, барий или бор. Данные микродобавки имеют весьма высокое сродство к таким примесям, как сера, кислород, азот и др. В связи с этим перед использованием указанных микродобавок металлический расплав должен быть очищен от вышеперечисленных примесей. Роль микродобавок может

проявляться как при нахождении их в свободном (не связанном) виде, так и в виде соединений, наиболее предпочтительных, чем традиционные силикатные, глиноземистые и другие неметаллические включения.

Так, например, модифицирование щелочноземельным элементом – кальцием позволяет, во-первых, изменить форму неметаллических включений, переводя ее из «опасной» в более благоприятную, глобулярную, исключая образование микротрещин в металле, во-вторых, очистить границы зерен от карбонитридов и тем самым повысить механические характеристики металла.

Включение во внепечную обработку операции модифицирования металла простейшей композиции в виде силикокальция позволяет существенно снизить загрязненность металла неметаллическими включениями, повысить уровень механических характеристик. Присадка легкоокисляющихся сплавов, какими, как правило, являются модификаторы, наиболее удачна, если она осуществляется путем подачи проволоки, начиненной реагентом, а не подачей кусков силикокальция непосредственно в ковш в ходе выпуска металла из печи [16].

На предприятии проводились опытные плавки с использованием бария (BA16CA25SI40 – барийсодержащая проволока). В результате данного мероприятия было значительно уменьшено содержание хрупких и недеформируемых силикатов по сравнению с использованием силикокальция, а на некоторых плавках балл данных включений был зафиксирован в пределах от 0 до 0,5.

Использование полученных данных дает возможность воздействовать на процесс выплавки, а управляя процессом с учетом вышеперечисленных рекомендаций возможно кардинальное уменьшение содержания неметаллических включений в готовом металле. Это может быть обеспечено за счет тщательного соблюдения технологических режимов на всех стадиях производства стали, включая полноту рафинирования, последовательность и количество вводимых добавок.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Багров Н.М., Трофимов Г.А., Андреев В.В. Основы отраслевых технологий: Учеб. пособие. – СПб.: Изд-во СПбГУЭФ, 2006. – 251 с.
2. Бронникова Т.С., Разу М.Л. Управление проектом. Основы проектного управления: Учебник. – М.: КноРус, 2010. – 768 с.
3. Машиностроение. Энциклопедия. Т. IV – V. Машины и агрегаты металлургического производства. Раздел IV. Расчет и конструирование машин. Изд. 2. – М.: Машиностроение, 2004. С. 271.
4. Лузгин В.П., Явойский В.И. Газы в стали и качество металла. – М.: Металлургия, 1979. – 256 с.
5. Шнееров Я.А., Чуйко А.Н., Огрызкин Е.М. и др. Повышение качества стали массового назначения путем продувки в ковше нейтральными газами // Сталь. 1975. № 8. С. 695 – 698.
6. Смирнов Н.А., Кудрин В.А. Рафинирование стали продувкой порошками в печи и ковше. – М.: Металлургия, 1986. – 168 с.
7. Carrier B., Tinnes B. The Metacon-tapholeslidegatevalk, a reliable and economical equipment for slag-free tapping of electric arc furnaces // Fachberichte Huttenpraxis Metallweiterverarbeitung. 1987. Vol. 25. No. 10. P. 931 – 936.

8. Price Zauren E. Bottoms Up takes on a whole new meaning // 33 Metal Prod. 1987. Vol. 25. No. 1. P. 20 – 23.
9. Арзамасцев Е.И., Яровиков В.П., Вдовин С.В. и др. Отсечка печного шлака при выпуске стали из двухванной печи // Сталь. 1988. № 3. С. 25 – 28.
10. Рафинирование металлов синтетическими шлаками / С.Г. Воинов, А.Г. Шалимов, Л.Ф. Косой и др. – М.: Металлургия, 1964. – 279 с.
11. Смирнов А.Н., Ошовская Е.В., Салмаш И.Н. и др. Некоторые вопросы оценки интенсивности перемешивания при продувке металла в ковше инертным газом // Металл и литье. № 3 – 4. 2007. С. 44 – 49.
12. Кудрин В.А. Внепечная обработка стали и чугуна. – М.: МИСиС, 1992. – 337 с.
13. Куслицкий А.Б. Неметаллические включения и усталость стали. – М.: Техника, 1976. – 128 с.
14. Металлургия стали / В.И. Явойский, Ю.В. Кряковский, В.П. Григорьев и др. – М.: Металлургия, 1983. – 583 с.
15. Леках С.Н., Бестужев Н.И. Внепечная обработка высококачественных чугунов в машиностроении. – М.: Наука и техника, 1992. – 269 с.
16. Голубов В.А., Мизин В.Г., Кадарметов А.Х. Повышение качества стали с использованием способов микролегирования, модифицирования и инокулирования. Черная металлургия. Бюл. ин-та «Черметинформация». 1990. № 2. С. 19 – 23.

Поступила 7 июня 2015 г.

IZVESTIYA VUZOV. CHERNAYA METALLURGIYA = IZVESTIYA. FERROUS METALLURGY. 2016. Vol. 59. No. 11, pp. 787–792.

ANALYSIS OF THE TECHNOLOGICAL SCHEME OF PIPE STEEL PRODUCTION TO DEVELOP THE PROPOSALS FOR IMPROVING THE FINISHED PRODUCTS QUALITY

A.D. Lopatenko¹, D.M. Orekhov², A.E. Semin¹

¹National University of Science and Technology “MISIS” (MISIS), Moscow, Russia

²United Metallurgical Company (OMK) (Casting and Rolling Complex), Vyksa, Nizhny Novgorod Region, Russia

Abstract. The study reviews an analysis of factory melting of K52 strength grade pipe steel in Casting and Rolling Complex (the branch of OMK) which demonstrates steel quality influence factors. As a basis, the authors have taken data set of 30 melting. Analyzed manufacturing scheme includes setting and tapping in an arc furnace, metal production in a ladle furnace and steel degassing adjusted microalloying, ladle inoculation and also hot-rolling with subsequent sheet-shearing and strip-shearing. It is significant that reject key factors perhaps are fragile and rigid silicate non-metallic inclusions. This study also contains recommendations of reducing silicate non-metallic inclusions content for changes in technological process.

Keywords: casting and rolling complex, pipe steel, strength grade, manufacturing scheme, steel quality, fragile silicate non-metallic inclusions, rigid silicate non-metallic inclusions.

DOI: 10.17073/0368-0797-2016-11-787-792

REFERENCES

1. Bagrov N.M., Trofimov G.A., Andreev V.V. *Osnovy otraslevykh tekhnologii: Uchebnoe posobie* [Fundamentals of industrial technologies: Textbook]. St. Petersburg: Izd-vo SPbGUEF, 2006, 251 p. (In Russ.).
2. Bronnikova T.S., Razu M.L. *Upravlenie proektom. Osnovy proektnogo upravleniya: uchebnik* [Project management. Fundamentals of Project Management: textbook]. Moscow: KnoRus, 2010, 768 p. (In Russ.).
3. *Mashinostroyeniye. Entsiklopediya. Tom IV-V. Mashiny i agregaty metallurgicheskogo proizvodstva. Razdel IV. Raschet i konstruirovaniye mashin* [Engineering Encyclopedia. Vol. IV-V. Machines and equipment of metallurgical production. Section IV. Calculation and design of machines]. 2nd edition. Moscow: Mashinostroyeniye, 2004, p. 271. (In Russ.).
4. Luzgin V.P., Yavoiskii V.I. *Gazy v stali i kachestvo metalla* [Gases in steel and metal quality]. Moscow: Metallurgiya, 1979, 256 p. (In Russ.).
5. Shneerov Ya.A., Chuiko A.N., Ogryzkin E.M., Ustimenko M.A., Miroshnichenko G.P. Improving the quality of tonnage steel by the injection of neutral gases in the ladle. *Steel USSR*. 1975, vol. 5, no. 8, pp. 426–428.
6. Smirnov N.A., Kudrin V.A. *Rafinirovaniye stali produvkoi poroshkami v pechi i kovshe* [Steel refining by powders blowing in furnace and ladle]. Moscow: Metallurgiya, 1986, p. 168. (In Russ.).
7. Carrier B., Tinnes B. The Metacon-taphole slidegate valve, a reliable and economical equipment for slag-free tapping of electric arc furnaces. *Fachberichte Huttenpraxis Metallweiterverarbeitung*. 1987, vol. 25, no. 10, pp. 931–936.
8. Price Zauren E. Bottoms Up takes on a whole new meaning. 33 *Metal Prod.* 1987, vol. 25, no. 1, pp. 20–23.
9. Arzamastsev E.I., Yarovikov V.P., Vdovin S.V. etc. Cutoff of furnace slag during steel production in a double-bath furnace. *Stal'*. 1988, no. 3, pp. 25–28. (In Russ.).
10. Voynov S.G., Shalimov A.G., Kosoi L.F. etc. *Rafinirovaniye metallov sinteticheskimi shlakami* [Refining of metals by synthetic slags]. Moscow: Metallurgiya, 1964, 279 p. (In Russ.).
11. Smirnov A.N., Oshovskaya E.V., Salmash I.N., Safonov V.M., Pismarev K.E. Some questions of assess the intensity of mixing at metal blowing with inert gas in the ladle. *Metall i lit'e*. no. 3–4, 2007, pp. 44–49. (In Russ.).
12. Kudrin V.A. *Vnepechnaya obrabotka stali i chuguna* [Ladle treatment of steel and iron]. Moscow: MISiS, 1992, 337 p. (In Russ.).
13. Kuslitskii A.B. *Nemetallicheskie vklucheniya i ustalost' stali* [Non-metallic inclusions and the fatigue of steel]. Moscow: Tekhnika, 1976, 128 p. (In Russ.).
14. Yavoiskii V.I., Kryakovskii Yu.V., Grigor'ev V.P. etc. *Metallurgiya stali* [Steel metallurgy]. Moscow: Metallurgiya, 1983, 583 p. (In Russ.).
15. Lekakh S.N., Bestuzhev N.I. *Vnepechnaya obrabotka vysokokachestvennykh chugunov v mashinostroyenii* [Ladle treatment of high-quality cast iron in engineering]. Moscow: Nauka i tekhnika, 1992, 269 p. (In Russ.).
16. Golubov V.A., Mizin V.G., Kadarmetov A.Kh.. Improving the quality of steel using methods of microalloying, modification and inoculation. *Chernaya metallurgiya. Byul. in-ta "Chermetinformatsiya"*. 1990, no. 2, pp. 19–23. (In Russ.).

Information about the authors:

A.D. Lopatenko, Postgraduate of the Chair “Metallurgy of Steel and Ferroalloys” (salat1313@yandex.ru)

D.M. Orekhov, Head of Technical Division (orehov_dm@vsw.ru)

A.E. Semin, Dr. Sci. (Eng.), Professor of the Chair “Metallurgy of Steel and Ferroalloys” (asemin2007@yandex.ru)

Received June 7, 2015