

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

УДК 669.14.018.25–032.36

И. В. АКИМОВ^{1*}

^{1*}Каф. «Технология металлов», Запорожский национальный технический университет, ул. Жуковского, 64, Запорожье, Украина, 69063, тел.+38 (061) 769 83 91, эл. почта tmzntu@gmail.com

ПОВЫШЕНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ГРАФИТИЗИРОВАННОЙ СТАЛИ

Цель. Графитизированные стали – сплавы, в которых углерод частично находится в виде графитовых включений, благодаря чему такие стали имеют хорошие антифрикционные свойства, износостойкость, теплопроводность и ряд других механических свойств, выгодно отличающих их от чугунов. Однако такие стали мало изучены и практически не применяются в машиностроении. Целью работы являлось исследование возможности повышения износостойкости графитизированных сталей в условиях сухого трения-скольжения металл по металлу для возможного их применения в тормозных системах железнодорожного назначения. **Методика.** Материалом для исследования были графитизированные доэвтектоидные, эвтектоидные и заэвтектоидные стали. Опытные сплавы исследовали в состоянии после термического упрочнения. Твердость сплавов определяли с использованием метода Виккерса. Износостойкость сталей исследовали в условиях сухого трения-скольжения металл по металлу с использованием машины трения МИ-1 (диск по диску). **Результаты.** В работе были получены данные, позволяющие оценить износостойкость опытных графитизированных сталей в зависимости от содержания углерода, кремния и меди. Полученная в результате статистической обработки экспериментальных данных регрессионная зависимость позволила определить оптимальный химический состав стали, характеризующийся высокой износостойкостью. **Научная новизна.** В работе получена зависимость, описывающая влияние углерода, кремния и меди на потерю массы образца при испытаниях в условиях сухого трения металл по металлу. **Практическая значимость.** Оптимизированный состав графитизированной стали может быть использован для производства изделий, работающих в условиях изнашивания: тормозная колодка железнодорожного состава, сепаратор скоростного подшипника, фильера и др.

Ключевые слова: графитизированная сталь; легирование; графитовые включения; твердость; износостойкость

Введение

Графитизированные стали, как сплавы, содержащие графитовые включения в структуре, характеризуются рядом ценных свойств: термостойкостью и теплопроводностью [8, 3], достаточно высоким сопротивлением усталостному разрушению [14]. Кроме того, известно, что графитизированные стали достаточно широко используются как антифрикционный материал. По данным многих исследователей [12, 7, 15, 10], благодаря включениям графита, выполняющим роль естественной смазки, такие стали

отличаются низкой склонностью к адгезии, хорошей прирабатываемостью, теплопроводностью и стабильностью свойств при термоциклировании [3, 5]. Это позволяет применять их для штампов холодной штамповки, волочильного инструмента, сепараторов подшипников качения, червячных колес, деталей стеклоформирующих машин [1, 2], валкового инструмента [16] и других изделий.

По данным Г. В. Коровиной [12], В. М. Жукова [10], П. Я. Груздова [9] и других авторов известны марки антифрикционных графитизи-

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

рованных сталей ЭИ293 и ЭИ336 успешно могут заменять такие антифрикционные материалы, как латуни ЛС59-1, дуралюмини Д16 и др. для деталей, работающих в условиях взаимно скользящих поверхностей. А стойкость износостойкой графитизированной стали марки ЭИ366, применяемой для просечных штампов, в 1,5 раза превышает стойкость стали марки Х12М [12].

Цель

В данной работе исследовали возможность повышения износостойкости графитизированных сталей путем экономного легирования кремнием и медью сталей, по структуре принадлежащих к доэвтектоидным (0,5 % С), эвтектоидным (0,8 % С) и заэвтектоидным классам (1,2; 1,5; 1,9 % С). Выбор элементов легирования производился из следующих соображений: известно, что одними из основных факторов, определяющих износостойкость графитизированных железоуглеродистых сплавов в условиях сухого трения-скольжения (металл по металлу), являются твердость металлической основы, количество и форма графитовых включений в структуре. На эти факторы определяющее влияние оказывает содержание углерода, как естественного источника карбидов и графита в структуре, а также содержание кремния, как наиболее сильного графитизатора. Влияние меди на износостойкость чугунов хорошо изучено Жуковым, Половинчуком и другими авторами [11], которые показали, что медь в чугунах способна не только повышать механические свойства, но и благоприятно влияет на теплофизические свойства (теплопроводность, термостойкость), которые для таких изделий, как тормозная колодка железнодорожного состава [6], сепаратор скоростного подшипника, фильера являются важными эксплуатационными характеристиками [13].

Методика

Для исследования влияния С, Si и Cu использовали метод планирования эксперимента [6], где в качестве независимых переменных было выбрано содержание углерода (0,4...1,9 %), кремния (0,6...2,6 %), и меди (0...4,0 %). Содержание остальных химических элементов составляло: 0,60...0,70 % Mn; 0,15...0,18 % Cr;

0,22...0,25 % Al и до 0,015 % S и 0,024 % P. В качестве зависимых – потеря массы образца Δm в условиях изнашивания при сухом трении металл по металлу. В работе был реализован полный факторный эксперимент второго порядка 2^3 (табл. 1), включающий восемь основных опытов, а также опыты на «звездном» и нулевом уровнях.

Таблица 1

Центральный композиционный план 2^3

Интервал варьирования и уровни факторов		Исследуемые факторы		
		X_1 (C, %)	X_2 (Si, %)	X_3 (Cu, %)
Нулевой уровень: $X_0 = 0$		1,2	1,6	2,0
Интервал варьирования	1,0	0,4	0,6	1,2
	1,682	0,7	1,0	2,0
Нижний уровень: $X = -1,0$		0,8	1,0	0,8
Верхний уровень: $X = +1,0$		1,6	2,2	3,2
Звездные точки	$X = -1,682$	0,5	0,6	0
	$X = 1,682$	1,9	2,6	4,0

По составленной матрице планирования в 60-тикилограммовой индукционной печи с основной футеровкой были выплавлены опытные сплавы. Требуемые концентрации углерода получали путем науглероживания жидкого сплава в печи чугуном Л5. Необходимых концентраций кремния и меди достигали путем присадки в печь ферросилиция ФС65 и электротехнической меди М1. При этом расплав модифицировали в ковше силикокальцием, ферросилицием и алюминием. Разливку жидкого металла вели в сухие песчано-глинистые формы, обеспечившие получение слитков с прямоугольным и круглым поперечным сечением.

Для повышения твердости и износостойкости опытных сталей полученные отливки закаливали от 860 °С охлаждением в масло и последующим низким отпускком (200 °С, 2 часа).

Испытания на износостойкость в условиях сухого трения-скольжения металл по металлу проводили с использованием машины трения

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

МИ-1 (диск по диску) при следующих режимах: диаметр испытательного образца и контртела – 40 мм, материал контртела – сталь 40Х (закалка, низкий отпуск), нагрузка на пару трения – 500 Н, частота вращения контртела – 615 об/мин, частота вращения образца – 400 об/мин, линейная скорость проскальзывания образца относительно контртела – 27 м/мин. Об износостойкости материала судили по потере массы образцов Δm , определяемой взвешиванием на весах с точностью до 0,0002 г через 15, 30, 60 и 90 мин испытаний.

Результаты

Результаты металлографического анализа показали, что металлическая основа, а также количество и форма графитовых включений преимущественно зависели от содержания углерода и кремния. Так, структура стали с 0,48 % С состояла из феррито-перлитной металлической основы с незначительным количеством равномерно распределенных точечных графитовых включений. Повышение содержания углерода до 0,78 % способствовало увеличению количества графита до 3 % объем., при этом металлическая матрица практически полностью была представлена крупнопластинчатой перлитной фазой. Структура стали, содержащей 1,54 % С, характеризовалась не только повышением количества графитной фазы (до 5 % объем.), но и наличием отдельных участков выделившегося вторичного цементита по границам перлитных зерен. Основным отличием структуры стали с наибольшей концентрацией углерода 1,95 % являлось образование пластинчатых включений графита в феррито-перлитной металлической основе. При этом количество графитной фазы в данной стали достигало 8 % объем.

Описывая влияние кремния, можно отметить, что при его содержании от 0,62 до 1,07 % в структуре стали одновременно с графитовыми выделениями присутствовал вторичный цементит. В структурах остальных вариантов опытных сталей, содержащих 1,65 % Si и более, вторичный цементит не обнаруживался. При наибольшем содержании кремния в сплаве – 2,55 % при 1,26 % С – ее структура характеризовалась феррито-перлитной металлической основой и крупными, равномерно распределенными графитовыми глобулами.

Изменение содержания меди от 0,02 до 3,95 % заметного влияния на структуру металлической основы сталей в литом состоянии не оказало – в структуре обнаруживался мелкопластинчатый перлит.

В результате термообработки металлическая основа сталей состояла из отпущенного мартенсита с выделившимися мелкодисперсными ϵ -карбидами. При этом проведенная термическая обработка практически не повлияла на количество и распределение графитной и карбидной фаз.

По полученным результатам были построены 15 криволинейных зависимостей потери масс образцов от химического состава. На рис. 1 для наглядности приведены кривые наиболее и наименее износостойких опытных сплавов, а также кривая сплава, состав которого соответствует нулевому уровню содержания варьируемых легирующих элементов матрицы планирования (см. табл. 1)

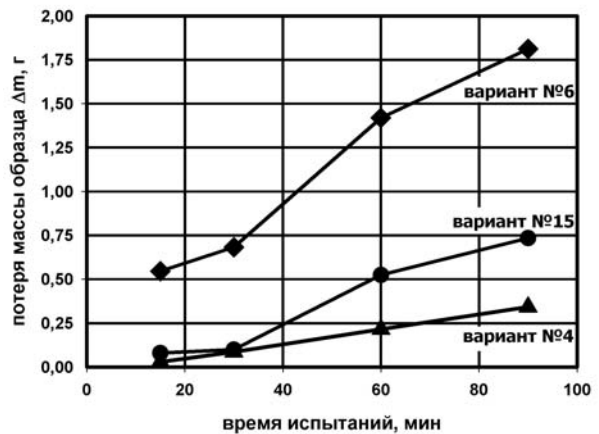


Рис. 1. Зависимости потери массы образцов с различным содержанием легирующих элементов (см. табл. 2)

В табл. 2 указаны твердость образцов перед испытаниями и потеря их массы после всего времени испытаний (90 мин).

Обработка полученных экспериментальных данных с помощью регрессионного анализа позволила получить уравнение, показывающее зависимость потери массы образца Δm от содержания углерода, кремния и меди: $\Delta m = 0,153 + 0,443C + 1,064Si - 0,733Cu - 0,725CSi + 0,231CCu - 0,049SiCu + 0,175C^2 - 0,044Si^2 + 0,168Cu^2$; $r = 0,85$.

Таблица 2

Механические свойства термообработанных графитизированных сталей

№ опыта	Расчетный химический состав			Свойства графитизированных сталей	
	C, %	Si, %	Cu, %	HRC	Средняя потеря массы образца после 90 мин испытаний Δm , г
1	0,8	1,0	0,8	62	0,3921
2	1,6	2,2		54	0,8887
3	0,8		1,0	55	0,6924
4	1,6	3,2		56	0,3423
5	0,8		2,2	55	1,0213
6	1,6	2,0		54	1,8116
7	0,8		0	52	1,0329
8	1,6	4,0		54	1,2762
9	0,5		2,0	48	0,9892
10	1,9	1,6		54	0,8194
11	1,2		0,6	58	0,6596
12		2,6	56	0,8975	
13	1,6	0	48	1,6732	
14		4,0	50	1,3456	
15		2,0	62	0,7346	

В целях определения состава, обеспечивающего оптимальную износостойкость (наименьшую Δm), выполнили графический анализ полученного регрессионного уравнения, который показал, что в графитизированных сталях с увеличением содержания углерода от 0,5 до 1,2 % износостойкость повышается (снижается Δm) вследствие как увеличения твердости металлической основы (мартенсит отпуска более пересыщен углеродом), так и повышения количества графитной фазы, выполняющей роль смазки и предупреждающей схватывания и задиры. Повышение углерода до 1,9 % несколько снижало износостойкость, что можно объяснить ухудшением формы графитовых включений с компактной на пластинчатую. Такая форма графита являлась более острым (опасным) концентратором и способствовала отрыву

частиц опытного образца при трении скольжения. Результаты анализа графических зависимостей также показали, что кремний, как правило, повышал износостойкость (снижал Δm) за счет как увеличения твердости металлической основы путем твердорастворного ее упрочнения, так и графитизирующего действия данного элемента, способствующего выделению большего количества графитной фазы. Наиболее оптимальное содержание кремния составляло 2,2...2,4 %. Дальнейшее его увеличение, с точки зрения ухудшения механических свойств, являлось нежелательным. Согласно результатам эксперимента, увеличение содержания меди до 0,8 % повышало износостойкость сталей, вероятнее всего, вследствие твердорастворного и дисперсионного упрочнения металлической основы. Однако повышение содержания меди до 3,2 % в сталях с содержанием углерода более 1,2 % повышало Δm вследствие негативного влияния на форму графитовых включений, что согласуется с данными авторов, описывающих влияние формы графитовых включений на износостойкость чугунов [11].

Научная новизна и практическая значимость

Полученная в работе регрессионная зависимость позволила оптимизировать и предложить состав новой износостойкой графитизированной стали, обладающей сочетанием высоких эксплуатационных свойств: 1,1...1,3 % C; 2,2...2,4 % Si; 0,7...0,9 % Cu; 0,60...0,70 % Mn; 0,22...0,25 % Al. Сталь предложенного состава может быть использована для изделий, работающих в условиях сухого трения скольжения металл по металлу, например для тормозной колодки железнодорожного подвижного состава.

Выводы

1. Антифрикционные свойства и износостойкость графитизированных сталей прямым образом зависят от твердости металлической основы и количества и формы графитовых включений в ее структуре.

2. Оптимальное сочетание углерода, кремния и меди позволяет не только повысить износостойкость графитизированной стали, но и обеспечить высокие теплопроводность и термостойкость, которые для таких изделий, как

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

тормозная колодка железнодорожного состава, сепаратор скоростного подшипника являются важными эксплуатационными свойствами.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. А.с. 1574674 СССР, МКИ С 22 С 38/18, В 22 С 38/34. Графитизированная сталь / О. Б. Колотилкин, И. П. Волчок, С. А. Уваров (СССР). – № 4471327 ; заявл. 05.09.88 ; опубл. 30.06.90, Бюл. № 24. – 2 с.
2. А.с. 1793001 СССР, МКИ С 22 С 38/34. Графитизированная сталь / И. П. Волчок, О. Б. Колотилкин, С. А. Уваров (СССР). – № 4910094 ; заявл. 11.02.91 ; опубл. 07.02.93, Бюл. № 5. – 2 с.
3. Акімов, І. В. Підвищення високотемпературної витривалості графітизованих сталей / І. В. Акімов, І. П. Волчок // FIDES. Intern. Forum for the Development of Education and Science Proc. – Norway : Lulu Press Inc., 2010. – Р. 61.
4. Босов, А. А. Математичне моделювання планування експериментів / А. А. Босов, В. В. Артемчук // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д., 2008. – Вип. 25. – С. 118–121.
5. Дефекти залізничних коліс / І. О. Вакуленко, В. Г. Анофрієв, М. А. Грищенко та ін. – Д. : Маковецький, 2009. – 112 с.
6. Вакуленко, І. О. Металеві матеріали з підвищеною міцністю для виготовлення вагонів / І. О. Вакуленко, В. Г. Анофрієв // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д., 2011. – Вип. 37. – С. 216–219.
7. Вакуленко, І. А. Морфология структуры и деформационное упрочнение стали / И. А. Вакуленко, В. И. Большаков. – Д. : Маковецький, 2008. – 196 с.
8. Графитизированные стали в машиностроении / И. В. Акимов, С. Е. Бельский, И. П. Волчок и др. // Литье и металлургия. – 2010. – № 4. – С. 55–57.
9. Груздов, П. Я. Графитизированная сталь / П. Я. Груздов. – М. : Стандартиздат, 1950. – 84 с.
10. Жуков, А. А. Литая графитизированная сталь / А. А. Жуков, В. М. Жураковский // Литейное пр-во. – 1993. – № 10 – С. 13–15.
11. Жуков, А. А. Износостойкие антифрикционные хромомедистые чугуны / А. А. Жуков, В. П. Половинчук, В. С. Чуркин // Изв. высш. учебных заведений. Черная металлургия. – 1993. – № 4. – С. 30–31.
12. Коровина, Г. В. Литая графитизированная сталь / Г. В. Коровина. – Свердловск : Машгиз, 1959. – 39 с.
13. Кузін, О. А. Роль структури в процесах зношування ферито-перлітних сталей / О. А. Кузін, Т. М. Мещерякова, М. О. Кузін // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д., 2011. – Вип. 37. – С. 224–229.
14. Разрушение графитизированных сталей при циклических нагрузках / И. В. Акимов, И. П. Волчок, А. А. Митяев и др. // Литье и металлургия. – 2010. – № 4. – С. 58–61.
15. Формирование оптимальной структуры графитизированной стали / В. М. Жураковский, Б. В. Самелик, В. Я. Садчиков и др. // Технология и орг. пр-ва. – 1986. – № 4. – С. 35–36.
16. Pat. 5,139,583, C22C38/00. Graphite Precipitated hot-rolled Steel plate having workability and hardenability and method therefore / Yoshikazu Kawabata, Masahiko Morita, Fusao Togashi (USA). – № US19920822649 ; filed. 21.01.92 ; publ. 18.08.92.
17. Pat. US5830285, C21D1/26; C21D1/84, C21D8/06, C22C38/12, C22C38/60. Fine Graphite uniform dispersion steel excellent in gold Machinability, Cuttability and Hardenability, and production method for the same / Sakae Katayama, Toshimi Tarui, Masahiro Toda, Ken-Ichiro Naito (Japan). – № US19960700355 ; filed. 23.08.96, publ. 03.11.98.

І. В. АКИМОВ^{1*}

^{1*}Каф. «Технологія металів», Запорізький національний технічний університет, вул. Жуковського, 64, Запоріжжя, Україна, 69063, тел. +38 (061) 769 85 32, ел. пошта tmzntu@gmail.com

ПІДВИЩЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ ГРАФІТИЗОВАНОЇ СТАЛІ

Мета. Графітизовані сталі – сплави, в яких вуглець частково знаходиться у вигляді графітових вкраплень, завдяки чому такі сталі мають гарні антифрикційні властивості, зносостійкість, теплопровідність та ряд інших механічних властивостей, котрі вигідно відокремлюють їх від чавунів. Проте, такі сталі є маловивченими і майже не застосовуються в машинобудуванні. Мета роботи полягала в дослідженні можливості підвищення

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

зносостійкості графітованих сталей в умовах сухого тертя-ковзання метал по металу для можливого їх застосування в гальмівних системах залізничного призначення. **Методика.** Матеріалом для дослідження були графітовані доєвтектоїдні, евтектоїдні та заєвтектоїдні сталі. Дослідні сплави досліджували в стані після термічного зміцнення. Твердість сплавів визначали за допомогою методу Віккерса. Зносостійкість сталей досліджували в умовах сухого тертя-ковзання метал по металу з використанням машини тертя МІ-1 (диск по диску). **Результати.** У роботі були отримані дані, що дозволяють оцінити зносостійкість графітованих сталей у залежності від вмісту вуглецю, кремнію та міді. Отримана в результаті статистичного оброблення експериментальних даних регресивна залежність дозволила визначити оптимальний хімічний склад сталі, що має високу зносостійкість. **Наукова новизна.** У роботі отримана залежність, яка описує вплив вуглецю, кремнію та міді на втрату маси зразка при випробуваннях в умовах сухого тертя метал по металу. **Практична значимість.** Оптимізований склад графітованої сталі може бути застосований для виробництва деталей, які працюють в умовах зношування: гальмівна колодка залізничного рухомого складу, сепаратор швидкісного підшипника, філера та інші.

Ключові слова: графітована сталь; легування; графітові вкраплення; твердість; зносостійкість

I. V. AKIMOV^{1*}

^{1*}Dep. «Metal Technology», Zaporizhzhia National Technical University, Zhukovskiy St., 64, Zaporizhzhia, Ukraine, 69063, tel. + 38 (061) 769 85 32, e-mail tmzntu@gmail.com

INCREASING OF WEAR RESISTANCE OF THE GRAPHITIZED STEEL

Purpose. Graphitized steels are alloys, in which carbon is partly in form of graphite inclusions. Due to this such steels possess good antifriction properties, wear resistance, heat conductivity and a variety of other mechanical properties, which decently distinguish them from cast irons. However, such steels are not studied enough and practically are not used in mechanical engineering. Purpose of the work is the research of the possibility of wear resistance increase for graphitized steels in the conditions of metal-to-metal dry friction sliding to use them in the railway systems. **Methodology.** Graphitized hypoeutectoid, eutectoid and hypereutectoid steels have been used as a research material. Experimental alloys have been studied in the condition after thermal hardening. Hardness of alloys has been determined by the Vickers method. Wear resistance of steels has been studied in the conditions of metal-to-metal dry friction sliding with the use of MI-1 friction machine (disk to disk). **Findings.** Data, which allow assessing the wear resistance of experimental graphitized steels depending on carbon, silicon and copper content have been obtained in this work. The regression dependence obtained as a result of statistical processing of the experimental data allowed determining an optimal chemical content of the steel, which is characterized by high wear resistance. **Originality.** A dependence describing carbon, silicon and copper content on the specimen's weight loss during metal-to-metal dry friction tests has been obtained in the work. **Practical value.** The optimized content of the graphitized steel can be used for production of products working in the conditions of wear such as brake blocks of rolling stock, separators of high-speed bearings, dies and others.

Keywords: graphitized steel; alloying; graphite inclusions; hardness; wear resistance

REFERENCES

1. Kolotilkin O.B., Volchok I.P., Uvarov S.A. *Grafitizirovannaya stal* [Graphitized steel]. Patent USSR, no. 4471327, 1988.
2. Volchok I.P., Kolotilkin O.B., Uvarov S.A. *Grafitizirovannaya stal* [Graphitized steel]. Patent USSR, no. 4471327, 1991.
3. Akimov I.V., Volchok I.P. *Pidvyshchennia vysoko-temperaturnoi vytryvalosti hrafityzovanykh stalei* [Increase of high-temperature endurance of graphitized steels]. FIDES. International Forum for the Development of Education and Science Proceedings. Norway, 2010. 61 p.
4. Bosov A.A., Artemchuk V.V. *Matematychnе modeliuвання planuvannya eksperymentiv* [Mathematical modeling of experiments planning]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazaryana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2008, issue 25, pp. 118-121.
5. Vakulenko I.O., Anofriiev V.H., Hryshchenko M.A. *Defekty zaliznychnykh kolis* [Defects of railway wheels]. Dnipropetrovsk, Makovetskyi Publ., 2009. 112 p.

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

6. Vakulenko I.O., Anofriiev V.H. Metalevi materialy z pidvyshchenoiu mitsnistiu dlia vyhotovlennia vahoniv [Metallic materials with high strength for car production]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2011, issue 37, pp. 216-219.
7. Vakulenko I.A., Bolshakov V.I. *Morfologiya struktury i deformatsionnoye uprochneniye stali* [Structure morphology and work hardening of the steel]. Dnipropetrovsk, Makovetskiy Publ., 2008. 196 p.
8. Akimov I.V., Belskiy S.Ye., Volchok I.P. Grafitizirovannyye stali v mashinostroyenii [Graphitized steels in the mechanic engineering]. *Litye i metallurgiya – Casting and Metallurgy*, 2010, no. 4, pp. 55-57.
9. Gruzlov P.Ya. *Grafitizirovannaya stal* [Graphitized steel]. Moscow, Standartizdat Publ., 1950. 84 p.
10. Zhukov A.A., Zhurakovskiy V.M. Litaya grafitizirovannaya stal [Cast graphitized steel]. *Liteynoye proizvodstvo – Foundry Production*, 1993, no.10, pp. 13-15.
11. Zhukov A.A., Polovinchuk V.P., Churkin V.S. Iznosostoykiye antifriktsionnyye khromomedistyie chuguny [Wear-proof chromium-copper cast iron]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Chernaya metallurgiya – Proceedings of Higher Education Establishments. Ferrous Metallurgy*, 1993, no. 4, pp. 30-31.
12. Korovina G.V. *Litaya grafitizirovannaya stal* [Cast graphitized steel]. Sverdlovsk, Mashgiz Publ., 1959. 39 p.
13. Kuzin O.A., Meshcheriakova T.M., Kuzin M.O. Rol struktury v protsesakh znoshuvannia feryto-perlitnykh staley [Role of structure in the process of wear of hypoppearlitic steels]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2011, issue 37, pp. 224-229.
14. Akimov I.V., Volchok I.P., Mityayev A.A. Razrusheniye grafitizirovannykh staley pri tsiklicheskikh zagruzkakh [Destruction of graphitized steels under cyclic loadings]. *Litye i metallurgiya – Casting and Metallurgy*, 2010, no. 4, pp. 58-61.
15. Zhurakovskiy V.M., Samelik B.V., Sadchikov V.Ya. Formirovaniye optimalnoy struktury grafitizirovany stali. [Formation of the optimal structure of the graphitized steel]. *Tekhnologiya i organizatsiya proizvodstva – Technology and Production Engineering*, 1986, no. 4, pp. 35-36.
16. Kawabata Yoshikazu, Morita Masahiko, Togashi Fusao. Graphite Precipitated hot-rolled Steel plate having workability and hardenability and method therefore. Patent USA, no. US19920822649, 1992.
17. Sakae Katayama, Toshimi Tarui, Masahiro Toda, Ken-Ichiro Naito. Fine Graphite uniform dispersion steel excellent in gold Machinability, Cuttability and Hardenability, and production method for the same. Patent Japan, no. US19960700355, 1996.

Статья рекомендована к публикации д.т.н., проф. И. А. Вакуленко (Украина); д.т.н., проф. А. А. Митяевым (Украина)

Поступила в редколлегию 02.10.2013

Принята к печати 05.11.2013