

УДК 669.054.8

© Маслов В.А.<sup>1</sup>, Пустовалов Ю.П.<sup>2</sup>, Трофимова Л.А.<sup>3</sup>, Дан Л.А.<sup>4</sup>**ВОЗМОЖНОСТЬ ПОЛУЧЕНИЯ ТЕРМОГРАФЕНИТА С МАГНИТНЫМИ СВОЙСТВАМИ ИЗ ДИСПЕРСНЫХ ЖЕЛЕЗОГРАФИТОВЫХ ОТХОДОВ МЕТАЛЛУРГИИ**

*Исследованы технологические параметры получения соединения интеркалированного графита из железногографитовых отходов, а из него – термографенита с магнитными свойствами.*

**Ключевые слова:** железногографитовые отходы, графит, интеркалирование, окисление, термографенит, магнитные свойства.

*Маслов В.О., Пустовалов Ю.П., Трофимова Л.О., Дан Л.О. Можливість отримання термографеніту з магнітними властивостями з дисперсних залізографітових відходів металургії. Досліджені технологічні параметри отримання сполучення інтеркалювання графіту з залізографітових відходів, а з нього – термографеніту з магнітними властивостями.*

**Ключові слова:** залізографітові відходи, графіт, інтеркалювання, окислення, термографеніт, магнітні властивості.

*V.O. Maslov, Y.P. Pustovalov, L.O. Trofimova, L.O. Dan. The possibility of obtaining termografenit with magnetic properties from dispersed Fe-C metallurgical wastes. It is known that it is possible to obtain compounds of graphite intercalation by oxidative treatment of graphite, getting termografenit from them. All known methods are associated with the graphite extraction from Fe-C containing wastes and its further oxidation. Intercalation compounds of graphite are formed as a result of the introduction of atomic and molecular layers of different chemical particles between the layers of graphite plates. Termografenit is very light dispersed graphite, having a unique complex of thermal and electrical properties. This is of interest to further study the technology of making this material. In previous studies, graphite was obtained from dispersed Fe-C containing wastes of metallurgy, and then was subjected to processing. However, considering the special microstructure and the morphology of the dispersed Fe-C containing wastes, they can become a raw material for production the intercalation compounds of graphite first, and then magnetic termografenit. In the present work dispersed Fe-C containing wastes of desulphurization at PJSC «Azovstal» with up to C 60% were used. The result of this investigation is receiving a new product – graphite intercalation compounds with magnetic properties – as well as the technology of getting the compounds. The technological peculiarities, providing for remaining significant amount of the iron oxides of Fe-C wastes in the material that in the process of oxidative intercalation give the intercalation compounds of graphite with magnetic properties, were found. Subsequent thermal expansion of the intercalation compounds of graphite at 1000°C makes it possible to obtain termografenit with a bulk density of 6-10 kg/m<sup>3</sup>, the specific magnetization saturation being 12-24 A·m<sup>2</sup>/kg and the specific electrical resistance being (1,9-9,0)·10<sup>-4</sup> Ohms·m.*

**Keywords:** Fe-C containing wastes, graphite, intercalation, oxidation, termografenit, magnetic properties.

<sup>1</sup> д-р техн. наук, професор, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь, [maslov\\_v\\_o@pstu.edu](mailto:maslov_v_o@pstu.edu)

<sup>2</sup> науч. сотрудник, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь

<sup>3</sup> канд. техн. наук, доцент, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь, [leonid-dan@mail.ru](mailto:leonid-dan@mail.ru)

<sup>4</sup> канд. техн. наук, доцент, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь, [leonid-dan@mail.ru](mailto:leonid-dan@mail.ru)

**Постановка проблеми.** Из литературы известно использование графита для получения термографенита [1, 2]. При этом используется скраповый графит с содержанием золы 7,84-8,03%. При окислении такого графита практически все примеси, кроме  $\text{SiO}_2$ , растворяются в серной кислоте. Все известные методы связаны с выделением графита из отходов с последующим его окислением. Однако в литературе не установлены данные по непосредственному использованию дисперсных ЖГО (железографитовых отходов) для получения окисленного графита, а затем графенита. Поэтому в настоящей статье рассмотрен анализ возможности получения термографенита, прессование которого позволяет получить графитовое изделие с магнитными свойствами на основе дисперсных ЖГО.

**Анализ последних исследований и публикаций.** В предыдущей статье [3] были рассмотрены вопросы интеркалирования графита, полученного из дисперсных ЖГО. При этом возникает вопрос о возможности напрямую использовать дисперсные ЖГО в качестве исходного сырья, т. к. в этом случае исходное сырье будет значительно дешевле, чем чистый графит (типа ГАК).

Предшествующими исследованиями была установлена особая микроструктура и морфология дисперсных ЖГО [4, 5], которая и была положена в основу создания вначале СИГ (соединения интеркалированного графита) с магнитными свойствами, а затем магнитного термографенита.

Исследование морфологии и микроструктуры индивидуальных частиц дисперсных ЖГО с широким диапазоном содержания углерода (от 4,6 до 82,9%) показали следующее. Растровый микроанализ образцов с минимумом графита 4,6% показал, что поверхность графита полностью усеяна сферическими частицами оксида железа, диаметр которых составляет 1-8 мкм, хотя есть и частицы диаметром 15-40 мкм. Графитовые частицы дисперсных ЖГО с содержанием графита имеют чешуйчатое строение и на их поверхности имеются одиночные оксидные частицы. Так как условия образования дисперсных ЖГО миксерного отделения и отделения десульфурации связаны с переливом и барботажем чугуна, то выделяющийся графит имеет значительное количество оксидов железа. Экспериментально установлено, что оксиды железа в ЖГО могут находиться в виде механической смеси или быть прочно связанными (механически или адгезионно) с графитовыми частицами. При значительном увеличении на поверхности графита видны сферические оксидные частицы с диаметром в пределах 0,4-15 мкм. На некоторых наиболее крупных частицах видны следы кристаллизации. Ряд сферических частиц как будто «вплавлены» в графит, виднеется только их часть. Некоторые частицы оксидов, очевидно, находятся под тонкой пластинкой графита, поэтому видны их светлые очертания.

Исследования с помощью просвечивающего микроскопа ДЖЕМ-7А позволили установить наличие частиц оксидов железа внутри графита. Диаметр этих оксидов составляет 20-100 нм. Практически все частицы оксидов прочно связаны с графитом и ни магнитным способом, ни рассевом не удаляются. Таким образом, установлено, что в дисперсных ЖГО металлургического производства оксиды железа бывают двух видов – прочно соединенные с графитом и в виде механической смеси.

Исследование взаимодействия дисперсных ЖГО со смесью разбавленных серной и азотной кислот при кипячении в течение 5 ч показало, что в отдельных частицах, а их примерно 20%, оксиды не взаимодействуют с кислотами. Часть материала сохраняет магнитные свойства. Это еще раз подтверждает, что часть оксидов железа находится внутри частиц графита и поэтому не взаимодействует с кислородом.

Из предшествующего исследования свойств дисперсных ЖГО [5] известно, что оксиды железа в этих отходах могут быть трех видов – вюстит, магнетит, гематит. Для получения термографенита с максимальными магнитными свойствами необходим магнетизирующий обжиг исходных дисперсных ЖГО. Однако возможны и другие направления обработки. Рассмотрим эти варианты.

По первому варианту производится предварительный магнетизирующий обжиг дисперсных ЖГО с последующим окислением и термошоковым нагревом.

По второму варианту производится первичное окисление ЖГО с последующим термошоковым нагревом. При этом магнетизирующий эффект может быть достигнут или за счет создания в камере вспучивания магнетизирующей атмосферы, или за счет дополнительного атмосферного нагрева термографенита, при котором образуется необходимая  $\text{CO-CO}_2$  атмосфера

для этой обработки.

Ранее проведенные исследования показали, что удельная намагниченность насыщения миксерных ЖГО составляет, в среднем,  $30 \text{ A}\cdot\text{m}^2/\text{кг}$ , а после магнетирующей обработки – около  $60 \text{ A}\cdot\text{m}^2/\text{кг}$ , т. е. увеличивается почти в 2 раза. Поэтому следует предположить, что и окислительная обработка термографенита с оксидами железа позволит практически в два раза повысить удельную намагниченность насыщения.

**Цель статьи.** Целью настоящей работы было исследование возможности получения магнитного термографенита из дисперсных железорафитовых отходов металлургического производства.

**Изложение основного материала.** Известно, что дисперсные ЖГО металлургического производства содержат кроме графита зольные примеси – металлическое и оксидное железо и незначительное количество оксидов других элементов, например, кальция, магния, алюминия, кремния [6, 7]. В процессе окисления графита при получении СИГ холодная концентрированная серная кислота пассивирует поверхность металлических и оксидных частиц, вследствие чего растворение оксидов железа происходит очень медленно, а растворение металлического железа практически не происходит. После окисления графита смесь разбавляется водой, в результате чего окисление графита прекращается, а смесь сильно разогревается. Разбавление кислоты снижает ее вязкость, увеличивает диффузию через поверхность раздела фаз и резко ускоряет растворение зольных примесей. Разогрев раствора дополнительно резко ускоряет этот процесс. Время выдержки в растворе кислоты зависит от концентрации и состава примесей в исходном веществе, а также от размера зольных примесей [2].

С целью снижения зольности термографенита для получения высокого уровня его магнитных свойств готовили смесь «серная кислота»-«бихромат калия»-«графит». После окисления и перед промывкой смесь разбавляли водой в 2,5-10 раз и выдерживали в течение 0,5-10 часов.

Предварительные исследования показали, что в течение первых 0,5 ч обработки в растворе разбавленной кислоты процесс обеззоливания шел наиболее интенсивно, а затем существенно снижался вследствие уменьшения температуры раствора, а также из-за уменьшения количества золы. При использовании малозольных материалов окисление примесей заканчивалось уже после 0,5-3 часовой выдержки в кислоте. Для материалов с высокой зольностью время обработки увеличивалось до 8-10 ч.

Очень важным является рассмотрение влияния дисперсности ЖГО. Она, как правило, менее 3000 мкм. Более ранние исследования [8] показали, что в дисперсных ЖГО менее 50 мкм находится всего лишь 3-6%, а остальное – примеси. Поэтому необходимым условием является отсев мелкой фракции (менее 50 мкм), что позволяет в 1,5-2 раза снизить содержание примесей.

В связи с тем, что оксиды железа в дисперсных ЖГО являются, в основном, магнитными, их удаление может быть осуществлено также с помощью магнитной сепарации. За счет этого можно существенно снизить зольность получающегося графита.

Для проведения экспериментов была разработана методика окисления исходного материала с тремя технологическими вариантами – с использованием разбавления кислоты, отсева мелкой фракции и магнитной сепарации. Суть методики заключалась в следующем.

Дисперсные ЖГО (100 г) отделения скачивания шлака МК «Азовсталь», содержащие 75% углерода, помещался в раствор 5%  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  в  $\text{H}_2\text{SO}_4$  ( $\rho = 1,84 \text{ г/см}^3$ ) при соотношении масс порошка и окислительной смеси 1 : 5 и перемешивались в течение 15 мин. Затем смесь разбавлялась водой в 3 раза, в результате чего температура смеси достигала  $100^\circ\text{C}$  и перемешивалась в течение 30 мин. После этого материал отфильтровывался и промывался до  $\text{pH} = 7$  и сушился в шкафу при температуре  $120\text{-}130^\circ\text{C}$  в течение 3 ч. Термическое расширение осуществлялось в течение 2-3 с в режиме падающего слоя при температуре  $1000^\circ\text{C}$ . Полученный термографенит имел насыпную плотность  $4,5\text{-}5,8 \text{ г/см}^3$  и зольность 5,4-7,2%. В эксперименте варьировались время обработки разбавленной кислотой и температура. В соответствии с другой методикой дисперсные ЖГО с содержанием углерода 50,4% в виде чешуйчатых частиц графита подвергались магнитной сепарации, что позволило повысить содержание углерода в исходном материале до 72%. Окисление осуществлялось смесью 5%  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  с  $\text{H}_2\text{SO}_4$  ( $\rho = 1,84 \text{ г/см}^3$ ) при соотношении масс порошка и окислительной смеси 1 : 5 в течение 12 мин при перемешивании. Далее обработку осуществляли по уже приведенной методике.

В соответствии с третьим вариантом методики дисперсные ЖГО с содержанием 34,6% (миксерная пыль) рассеивались на две фракции – 0,05 и + 0,05 мм.

Для сравнения предложенных нами вариантов с известным британским патентом также были проведены испытания по технологии этого патента. В известном патенте разбавление и промывка ведется как единое целое. Промывка представляет собой многократное повторение циклов, включающих разбавление и отделение от жидкости твердого материала. С каждым разбавлением концентрация кислоты снижается. Разбавление и фильтрация проводилась 30-40 раз до pH = 7. После этого 100 г полученного материала заливались 0,9 л воды, помещались в автоклав. Нагревались до 120°C и выдерживались в течение 1 ч. Затем окисленный графит отфильтровывался и высушивался в течение 3 ч. Проводились сравнительные термические расширения при температуре 1000°C в режиме падающего слоя.

Результаты испытания показали, что в предлагаемых технологических вариантах получена более низкая объемная плотность термографенита (5,5-6,5 кг/м<sup>3</sup>) и более низкое содержание золы (7,2-9,5%), в то время как британском варианте насыпная плотность термографенита составляла 12-20 кг/м<sup>3</sup>, а зольность 35-42%.

Проведенные сравнительные испытания показали перспективность предложенного технического решения. С целью определения технологических параметров этого процесса было проведено исследование на дисперсных ЖГО с содержанием золы 15, 25, 65, 85%. При этом изменялось время выдержки в разбавленной серной кислоте и кратность разбавления. Результаты испытаний оценивались по зольности термографенита. Анализ полученных данных показал, что предложенный технологический вариант обработки позволяет для получения термографенита с зольностью менее 10% использовать более дешевое сырье – дисперсные ЖГО. В связи с тем, что в данной работе рассматривается получение термографенита для создания радиоэкранирующих материалов, то содержание золы до 10% является вполне приемлемым для этого.

Анализ полученных результатов (табл. 1) показывает, что высокзолный исходный материал может быть использован для получения термографенита невысокой зольности 3-6%, который может быть использован для получения изделий и материалов с радиоэкранирующими свойствами. Наличие этих примесей не оказывает влияние на электропроводность как СИГ, так и полученного термографенита.

Дальнейшие исследования получения термографенита с магнитными свойствами проводились на исходных необработанных ЖГО. Целью этих исследований было выявление технологических возможностей получения термографенита с магнитными свойствами из необработанных ЖГО. Предпосылкой этих исследований было наличие в дисперсных ЖГО как чешуйчатого графита, так и сферических частичек оксидов железа. Эта совокупность позволила предположить возможность разработки таких технологических условий, при которых, с одной стороны, окисление графита проводится с максимальной скоростью, а, с другой стороны, химическое взаимодействие оксидов железа с серной кислотой – с минимальной скоростью. Этому способствует и тот факт, что с концентрированной серной кислотой оксиды железа практически не взаимодействуют.

Таблица 1

Снижение зольности термографенита  
в результате дополнительной стадии в окислении графита

Зольность исходного материала, %	Кратность разбавления водой	Время дополнительной выдержки продукта, ч	Объемная плотность термографенита, кг/м <sup>3</sup>	Зольность термографенита, %
15	3	0,5	7,2	10 - 20
		3	5,8	4,0 - 7,4
		10	4,5	3,0 - 7,8
25	2,5	0,25	12,0	14 - 16,5
		0,5	6,3	5,5 - 8,0
		3	5,5	3,0 - 5,8
		10	5,1	2,4 - 4,3
		15	4,2	2,4 - 4,5

Продолжение таблицы 1

25	10	0,25	14	15,5 - 17
		0,5	7	5,7 - 9,1
		3	6,1	4,1 - 7,5
		10	5,8	3,5 - 7,1
		15	5,4	3,5 - 7,0
40	3	0,25	15	18,0 - 21,0
		0,5	9,5	7,0 - 9,8
		3	8,3	5,1 - 7,3
		10	5,9	3,9 - 5,7
		15	4,6	3,8 - 5,5
65	3	0,25	25,1	30 - 42
		0,5	14,3	8,0 - 10,2
		3	7,2	6,8 - 9,5
		10	6,7	4,4 - 8,0
		15	6,1	4,4 - 7,8

Для отработки методики были использованы миксерные отходы МК «Азовсталь». Отрабатывались эти методики при интенсивном перемешивании в окислительной смеси из концентрированной серной кислоты ( $\rho = 1,84 \text{ кг/дм}^3$ ) и 5% бихромата калия при соотношении масс материала и окислителя 1 : 5. Время окисления было выбрано в пределах 1-20 мин. После окисления твердый остаток отделялся на нутч-филтре и промывался водой до  $\text{pH} = 7$ . Окисленный графит отделялся от воды и сушился при температуре 120-130°C, а затем в падающем слое при температуре 1000°C подвергался термошоковому нагреву. На полученном термографените определялись объемная плотность, удельная намагниченность насыщения и удельное электрическое сопротивление. Результаты испытаний приведены в табл. 2.

Таблица 2

Технологические режимы получения и свойства магнитного термографенита

Содержание основных элементов, %		Время окислительной обработки, мин.	Объемная плотность термографенита, $\text{кг/м}^3$	Удельная намагниченность насыщения, $\text{А}\cdot\text{м}^2/\text{кг}$	Удельное электрическое сопротивление, $\text{Ом}\cdot\text{м}\cdot 10^4$	Зольность термографенита, %
C	Fe <sub>общ</sub>					
15	60	-	960	30,1	11	85
48	39	10	8 – 11	12	7	-
78	10	10	6 – 9	3	1,9	12
61	18	5	7 – 12	12	2,3	-
48	39	5	9 – 13	17	3,2	17
18	62	5	7 – 15	21	9	33
18	62	4	9 – 18	24	8,7	-
18	62	3	15 – 21	25	8,6	37
18	62	2	18 – 25	28	9,2	49
18	62	1	120 – 180	29	8,5	67

Полученные данные показывают, что время окисления существенно сказывается на свойствах термографенита. При слишком малом времени не удается получить низкую объемную плотность термографенита, хотя она весьма сильно изменяется при переходе от 1 мин к 3 мин окислительной обработки, а именно от (120-180) до (15-21)  $\text{кг/м}^3$ . При слишком большом времени (10 мин) значительно снижается содержание оксидов железа, а, следовательно, снижается и величина удельной намагниченности насыщения. В экспериментах был установлен существенный разброс данных в пределах каждого опыта, что можно объяснить это неравномерностью перемешивания массы графита и его окислителя.

Проведенные исследования позволили сделать заключение о возможности получения магнитного термографенита и о технологических особенностях его получения.

**Выводы**

Разработана технология получения нового продукта – СИГ с магнитными свойствами. Установлены технологические особенности, при которых в процессе окислительного интеркалирования значительная часть оксидов железа ЖГО остаются в материале, придавая СИГ магнитные свойства. Последующее термическое расширение СИГ при 1000°C позволяет получить термографит с объемной плотностью 6-10 кг/м<sup>3</sup>, удельной намагниченностью насыщения 12-24 А·м<sup>2</sup>/кг и удельным электрическим сопротивлением (1,9-9,0)·10<sup>-4</sup> Ом·м.

**Список использованных источников:**

1. Уббеладе А.Р. Графит и его кристаллические соединения / А.Р. Уббеладе, Ф.А. Льюис. – М. : Мир, 1965. – 256 с.
2. Физико-химические свойства графита и его соединений / И.Г. Черныш [и др.]. – К. : Наукова думка, 1990. – 200 с.
3. Исследование процесса окисления дисперсных железобитумных отходов с целью получения соединений интеркалирования графита / В.А. Маслов, Ю.П. Пустовалов, Л.А. Трофимова. Л.А. Дан // Вісник Приазовського державного технічного університету : Зб. наук. пр. – Маріуполь : ДВНЗ «ПДТУ», 2016. – Вип. 32. – С.48-53.
4. Maslov V.A. Structural-morphological and electrophysical characteristics of disperse iron-graphite metallurgical wastes / V.A. Maslov, L.A. Trofimova, L.A. Dan // Steel in translation. – 2009. – Vol. 39. – № 7. – Pp. 551-555.
5. Маслов В.А. Дисперсные железобитумные отходы металлургического производства как сырье для получения новых материалов / В.А. Маслов, Л.А. Трофимова, Л.А. Дан // Сталь. – 2009. – № 3. – С. 67-70.
6. Каненко Г.М. Состояние и перспективы утилизации железосодержащих отходов в металлургическом производстве Украины / Г.М. Каненко, В.А. Носков, В.Ф. Макогон // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2001. – № 4. – С. 98-100.
7. Гуров Н.И. Ресурсы графитосодержащих отходов и эффективность их использования / Н.И. Гуров, А.А. Федотов // Производительность труда и экономия материальных ресурсов в металлургии. – 1973. – Вып. 78. – С. 39-47.
8. Маслов В.О. Композиційні матеріали на основі залізобитумних відходів металургійного виробництва / В.О. Маслов // Хімічна промисловість України. – 1994. – № 4. – С. 54-60.

**References:**

1. Ubbelade A.R. *Grafit i ego kristallicheskie soedineniya* [Graphite and its crystalline compounds]. Moscow, Mir Publ., 1965. 256 p. (Rus.)
2. Chernysh I.G., Karpov I.I., Prikhod'ko V.P., Shai V.M. *Fiziko-himicheskie svoystva grafitu i ego soedinenij* [Physical and chemical properties of graphite and its compounds]. Kiev, Naukova dumka Publ., 1990. 200 p. (Rus.)
3. Maslov V.A., Pustovalov Yu.P., Trofimova L.A., Dan L.A. Issledovanie processa okisleniya dispersnyh zhelezografitovyh othodov s cel'yu polucheniya soedinenij interkalirovaniya grafitu [The study of oxidation process of dispersed Fe-C containing waste to obtain intercalation compounds of graphite]. *Visnik Priazov'skogo derzhavnogo tekhnichnogo universitetu. Seriya: Tekhnicheskie nauki – Reporter of the Priazovskyi State Technical University. Section: Technical Science*, 2016, no. 32, pp. 48-53. (Rus.)
4. Maslov V.A., Trofimova L.A., Dan L.A. Structural-morphological and electrophysical characteristics of disperse iron-graphite metallurgical waste. *Steel in translation*, 2009, vol. 39, no. 7, pp. 551-555. (Eng.)
5. Maslov V.A., Trofimova L.A., Dan L.A. Dispersnye zhelezografitovye othody metallurgicheskogo proizvodstva kak syr'e dlya polucheniya novyh materialov [Disperse Fe-C containing wastes of metallurgy as raw material for new materials]. *Stal' – Steel*, 2009, no. 3, pp. 67-70. (Rus.)
6. Kanenko G.M., Noskov V.A., Makogon V.F. Sostoyanie i perspektivy utilizatsii zhelezosoderzhashchih othodov v metallurgicheskom proizvodstve Ukrainy [Status and prospects of utilization of Fe-C containing wastes of metallurgy of Ukraine]. *Metallurgicheskaya i gornorudnaya promyshlennost' – Metallurgical and Mining Industry*, 2001, no. 4, pp. 98-100. (Rus.)

7. Gurov N.I., Fedotov A.A. Resursy grafitosoderzhashchih othodov i ehffektivnost' ih ispol'zovaniya [Graphite containing waste resources and their effective use]. *Proizvoditel'nost' truda i ekonomiiia material'nykh resursov v metallurgii – Productivity and saving material resources in metallurgy*, 1973, no. 78, pp. 39-47. (Rus.)
8. Maslov V.O. Kompozicijni materialy na osnovi zalizografitovih vidhodiv metalurgijnogo virobniictva [Composition materials on the basis of Fe-C containing wastes of metallurgy]. *Khimichna promislovist' Ukraïni – Chemical industry of Ukraine*, 1994, no. 4, pp. 54-60. (Ukr.)

Рецензент: А.М. Скрещцов  
д-р техн. наук, проф., ГВУЗ «ПГТУ»

Статья поступила 18.04.2017

УДК: 621.785:669.146:004.42

© Чейлях А.П.<sup>1</sup>, Рябикина М.А.<sup>2</sup>, Мак-Мак Н.Е.<sup>3</sup>

### СВЯЗЬ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ, ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТИ И ПАРАМЕТРОВ ЗАКАЛКИ ЦЕМЕНТОВАННЫХ КОНСТРУКЦИОННЫХ СТАЛЕЙ

Установлена существенная взаимосвязь высотных показателей шероховатости изношенной поверхности и относительной износостойкости поверхностных слоев сталей 25 и 50Г, модифицированных цементацией. Показано противоположное влияние температуры нагрева под закалку на износостойкость и шероховатость поверхности. Износостойкость цементованных сталей 25 и 50Г повышается закалкой от 1000°C вследствие изменения структурно-фазового состояния поверхностного слоя.

**Ключевые слова:** модифицированный слой, шероховатость, износостойкость, стали.

**Чейлях О.П., Рябікіна М.А., Мак-Мак Н.Є.** Зв'язок зносостійкості, шорсткості поверхні і параметрів гарту цементованих конструкційних сталей. Встановлено істотний взаємозв'язок висотних показників шорсткості зношеної поверхні і відносної зносостійкості поверхневих шарів сталей 25 і 50Г, модифікованих цементацією. Показано протилежний вплив температури нагріву під гарт на зносостійкість і шорсткість поверхні. Зносостійкість цементованих сталей 25 і 50Г підвищується гартуванням від 1000°C внаслідок зміни структурно-фазового стану поверхневого шару.

**Ключові слова:** модифікований шар, шорсткість, зносостійкість, сталі.

**O.P. Cheiliakh, M.A. Ryabikina, N.E. Mak-Mak.** *Interrelation of wear resistance, surface roughness and carburized structural steels quenching parameters.* The essential relationship of high-altitude indexes of roughness  $R_a$ ,  $R_z$ ,  $R_{max}$  of worn out surface and the relative wear resistance of the surface layers of the steels (0,27% C) and (0,55% C, 1% Mn) after carburizing and quenching by different regimes have been established. An opportunity to apply the methods of statistical analysis for evaluation of the shape roughness was shown. A correlation between the coefficient of relative durability and characteristics of the worn-out surface shape was found. The opposite effect of the heating temperature for quenching on wear resistance and surface roughness was displayed. The

<sup>1</sup> д-р техн. наук, профессор, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь

<sup>2</sup> канд. техн. наук, доцент, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь

<sup>3</sup> мастер производственного обучения, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь