

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 materiali 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.¹, Рябикина М.А.², Мак-Мак Н.Е.³

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

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

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

³ мастер производственного обучения, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь

wear resistance of carburized steel (0,27% C) and (0,55% C, 1% Mn) is increased by quenching from 1000°C due to changes in the structural-phase state of the surface layer. Wearing out of the hardened surface is more smooth and even due to the high content of A_{res} in the carburized structure, that is capable of $\gamma \rightarrow \alpha'$ strain-induced martensite transformation at wearing (DMTW). DMTW causes additional self-strengthening of the surface working layer as deformation martensite is more dispersed and solid as compared with quenching martensite. The interrelation between wear resistance and surface roughness has been defined. With an increase in the wear resistance of the investigated steels the roughness characteristics decrease following the linear pattern.

Keywords: modified layer, roughness, wear resistance, steel.

Постановка проблемы. В настоящее время на машиностроительных и в ремонтных предприятиях для упрочнения поверхности деталей машин и механизмов широко применяется химико-термическая обработка – цементация, азотирование, нитроцементация и др. [1-4]. Детали машин работают в условиях изнашивания и трения. При этом изнашивание протекает в виде отделения частиц за счет многократного изменения напряжения и деформации в местах контакта трущихся поверхностей. Интенсивность изнашивания зависит от площади фактического контакта и напряженного состояния изнашиваемого тела, которые, в свою очередь, в сильной степени зависят от геометрических параметров неровностей [5].

Анализ последних исследований и публикаций. Под влиянием цементации и последующей закалки в поверхностных слоях сталей происходит модифицирование структуры и фазового состава, как следствие, изменяются физико-механические свойства поверхности. Упрочняющий эффект цементации достигается за счет наведения остаточных напряжений сжатия в поверхностном слое, а также высокой твердости поверхности по Роквеллу $HRC59...62$ при наличии вязкой сердцевины твердостью $HRC32...40$ [6, 7]. Так же повышение содержания углерода в поверхностном слое способствует увеличению количества остаточного аустенита после закалки, способного к деформационному мартенситному превращению при изнашивании (ДМПИ) [8-10]. Известно [2, 5, 6], что наиболее распространенными геометрическими характеристиками трущейся поверхности являются высотные показатели шероховатости: среднее арифметическое отклонение профиля R_a , высота неровностей профиля R_z , наибольшая высота неровностей профиля R_{max} .

По своему физическому смыслу параметр R_a характеризует высоту всех неровностей профиля, R_z – наибольших, а R_{max} – полную высоту профиля. При исследовании процессов изнашивания модифицированного покрытия актуальным является нахождение корреляционной связи для износостойкости и характеристик геометрии контактных поверхностей.

Структура слоя, модифицированного цементацией и закалкой, состоит преимущественно из остаточного аустенита, мартенсита и карбидов, которые определяют поверхностные свойства детали – интенсивность и равномерность изнашивания упрочненной поверхности, ее шероховатость. В связи с этим, проанализировав параметры шероховатости, можно будет сделать вывод о том, насколько структура удовлетворяет требованиям работы детали в условиях изнашивания.

Целью данной работы является установление взаимосвязей между температурой нагрева под закалку, износостойкостью модифицированного цементацией покрытия и геометрическими характеристиками изношенной поверхности.

Изложение основного материала. Материал и методика исследования. Выбранные для исследования образцы стали 25 и 50Г подвергались цементации в твердом карбюризаторе при температуре 930°C с выдержкой 10 часов (охлаждение в коробе) на глубину 1,2-1,3 мм. После цементации на одной партии образцов проводилась закалка в масле от температур 900°C, 1000°C, а на другой партии проводилась плазменная закалка при 1200-1400°C. После всех вариантов закалки проводился низкий отпуск [10]. После скоростного плазменного нагрева со скоростью $10^3...10^4$ °C/с происходило естественное охлаждение упрочненной поверхности со скоростью выше критической за счет теплоотвода во внутренние области образцов. Величиной тепловложения регулировали различные фазово-структурные состояния упрочненного слоя с содержанием различного количества и степени метастабильности остаточного аустенита ($A_{ост}$) наряду с мартенситом и цементитом [11].

Относительная абразивная износостойкость (ϵ_a) модифицированного слоя определялась на установке типа Бринелля – Хаурта о полузакрепленные частицы электрокорунда. Шероховатость изношенной поверхности образцов исследована с помощью сканирующего 3D микроскопа Digital microscope VHX-1000*. Обработка экспериментальных данных проведена в электронных таблицах Excel.

Результаты исследований. Профили поверхностей изнашивания в 3D-изображениях представлены на рис. 1. Сечение поверхности перпендикулярной к ней плоскостью дает представление о профиле ее рельефа: о количестве, форме и величине выступов и впадин неровностей. Двумерное изображение рельефа показано на рис. 1 под поверхностью изнашивания.

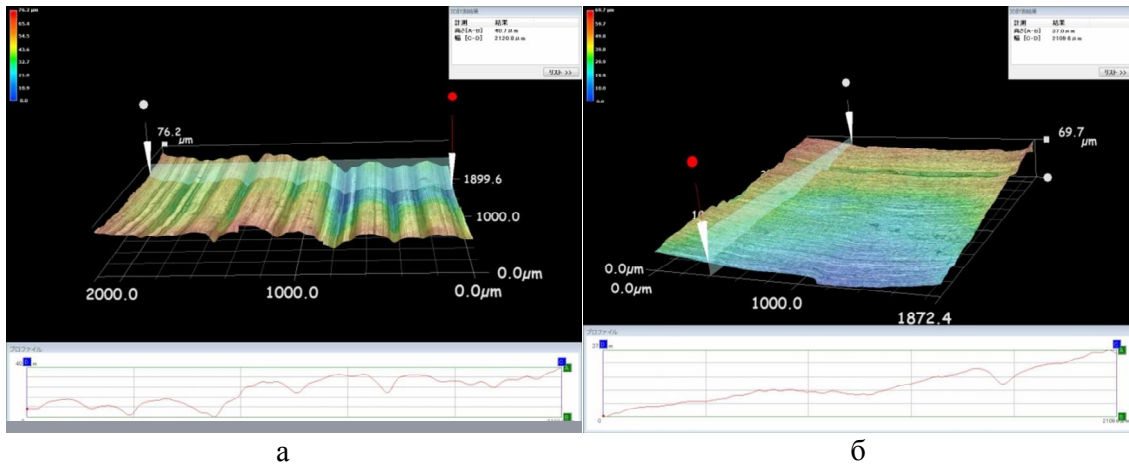


Рис. 1 – Изношенные поверхности и профилограммы образцов из цементованной стали 50Г: а – после закалки от температуры 900°C и отпуска при 200°C; б – после плазменной закалки при 1200-1400°C

Режимы обработки, результаты испытаний на изнашивание и параметры шероховатости поверхности приведены в таблице.

Таблица

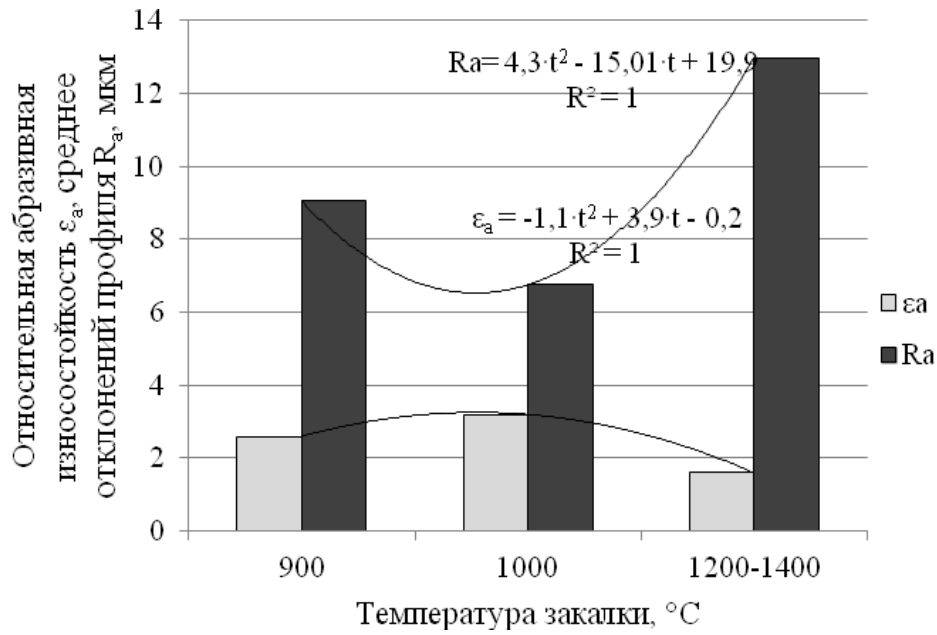
Относительная абразивная износостойкость ϵ_a и вертикальные характеристики профиля R_a , R_z , R_{max} после цементации и термической обработки сталей

Режим термообработки**	Сталь 25			Сталь 50Г		
	З 900°C + О 200°C	З 1000°C + О 200°C	ПЗ 1200-1400°C + О 200°C	З 900°C + О 200°C	З 1000°C + О 200°C	ПЗ 1200-1400°C + О 200°C
Относительная износостойкость ϵ_a	2,6	3,2	1,6	3,1	4,2	1,8
Среднее отклонений профиля R_a , мкм	9,1	6,8	13,0	9,9	5,7	7,6
Высота неровностей профиля R_z , мкм	40,7	24,8	50,0	40,7	26,1	37,0
Наибольшая высота неровностей профиля R_{max} , мкм	61,9	33,0	79,5	52,7	38,5	56,9

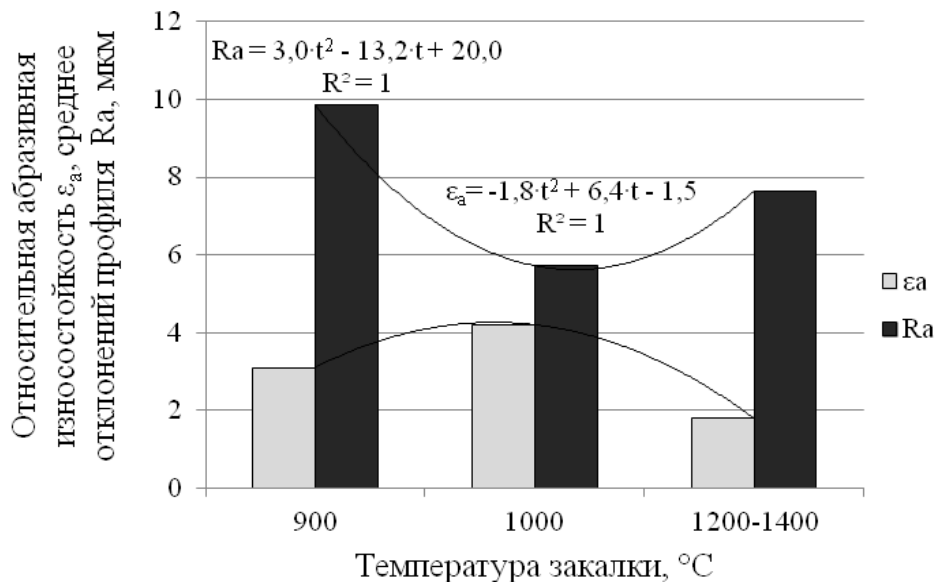
**З – закалка; О – отпуск; ПЗ – плазменная закалка.

На рис. 2 приведены зависимости для относительной абразивной износостойкости ϵ_a и средней шероховатости R_a изношенных поверхностей образцов из сталей 25 (а) и 50Г (б) после цементации и закалки от различных температур.

* Исследования выполнены в Муроранском институте технологий, г. Муроран, Япония, при содействии профессора Казумичи Шимизу



а



б

Рис. 2 – Влияние температуры закалки на относительную абразивную износостойкость ϵ_a и шероховатость изношенной поверхности R_a цементованных сталей после различных вариантов закалки: а – сталь 25; б – сталь 50Г

Аппроксимирующие кривые зависимости указанных характеристик от температуры закалки (t) и коэффициенты корреляции для стали 25:

$$R_a = 4,3 \cdot t^2 - 15,01 \cdot t + 19,9; R^2 = 1;$$

$$\epsilon_a = -1,1 \cdot t^2 + 3,9 \cdot t - 0,2; R^2 = 1.$$

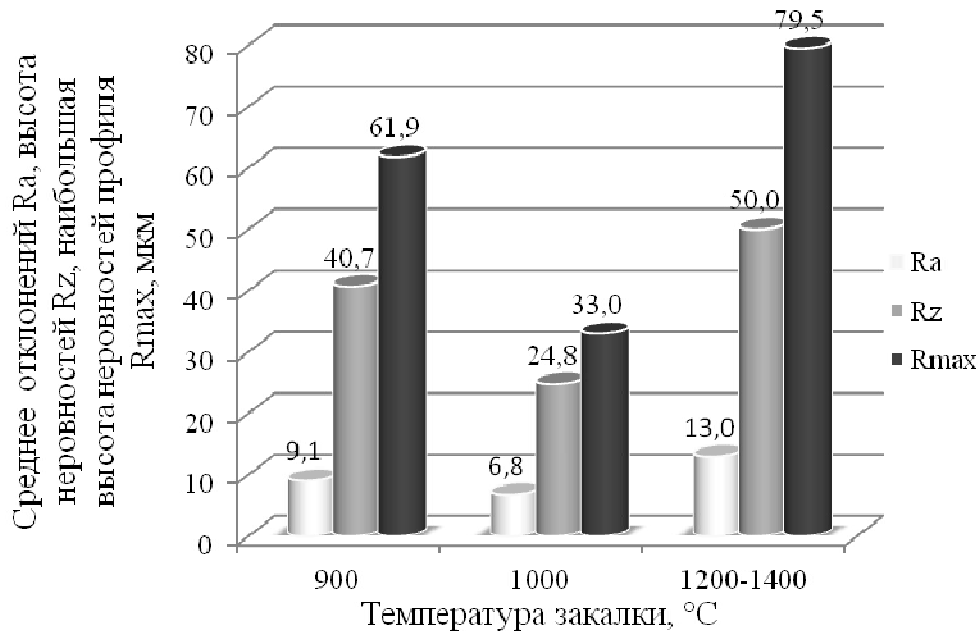
Для стали 50Г:

$$R_a = 3,0 \cdot t^2 - 13,2 \cdot t + 20,0; R^2 = 1;$$

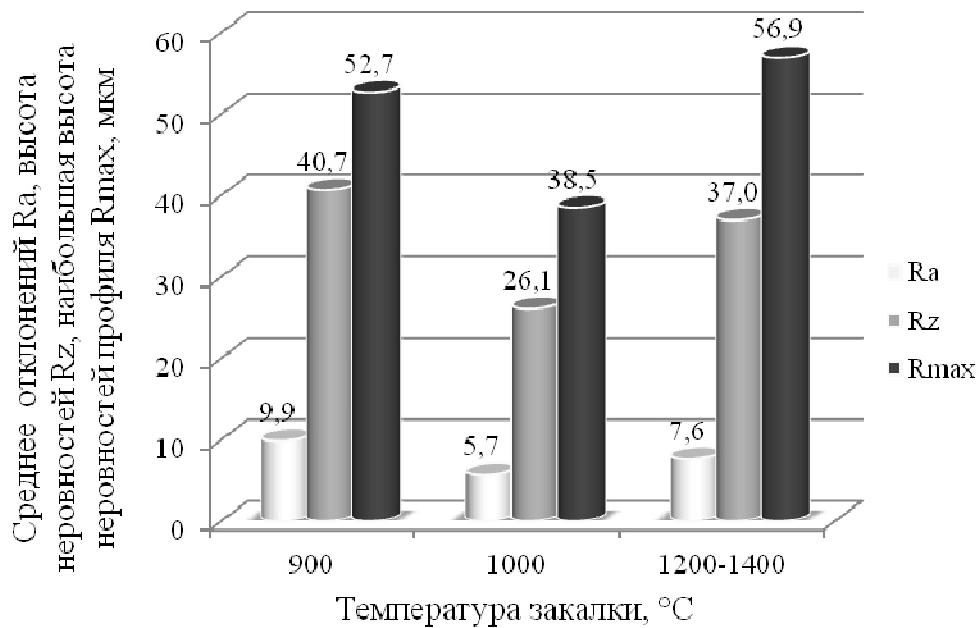
$$\epsilon_a = -1,8 \cdot t^2 + 6,4 \cdot t - 1,5; R^2 = 1.$$

Следует отметить немонотонный характер этих зависимостей. Вид зависимостей $\epsilon_a = f(t)$ и $R_a = f(t)$ полностью противоположный – высоким значениям относительной износостойкости ϵ_a соответствуют низкие значения среднего арифметического отклонений профиля R_a и наоборот. Таким образом, шероховатость изношенной поверхности, микроструктура и относительная износостойкость деталей имеют между собой тесную связь [11].

На рис. 3 приведены зависимости средней шероховатости R_a , размаха отклонений R_z и наибольшей высоты R_{max} профиля изношенных поверхностей в зависимости от температуры закалки.



а



б

Рис. 3 – Характеристики шероховатости поверхности износа цементованных сталей после различных вариантов закалки: а – сталь 25; б – сталь 50Г

Как видно из данного графика, наибольшие высотные показатели шероховатости в цементованных сталях 25 и 50Г наблюдаются после плазменной заковки при 1200-1400°C и отпуска при 200°C. При достаточно высоких показателях относительной износостойкости ($\epsilon_a = 2,6$ и $\epsilon_a = 3,6$) износ образцов происходит неравномерно, есть резкие выступы и впадины, что повышает показатели шероховатости. В стали 50Г аналогичный эффект получен также после заковки от 900°C и отпуска при 200°C, так как наблюдается смешанная структура мартенсита и троостита и сетка вторичного цементита (рис. 4, а), что резко увеличивает хрупкость и так же повышает шероховатость изношенной поверхности.

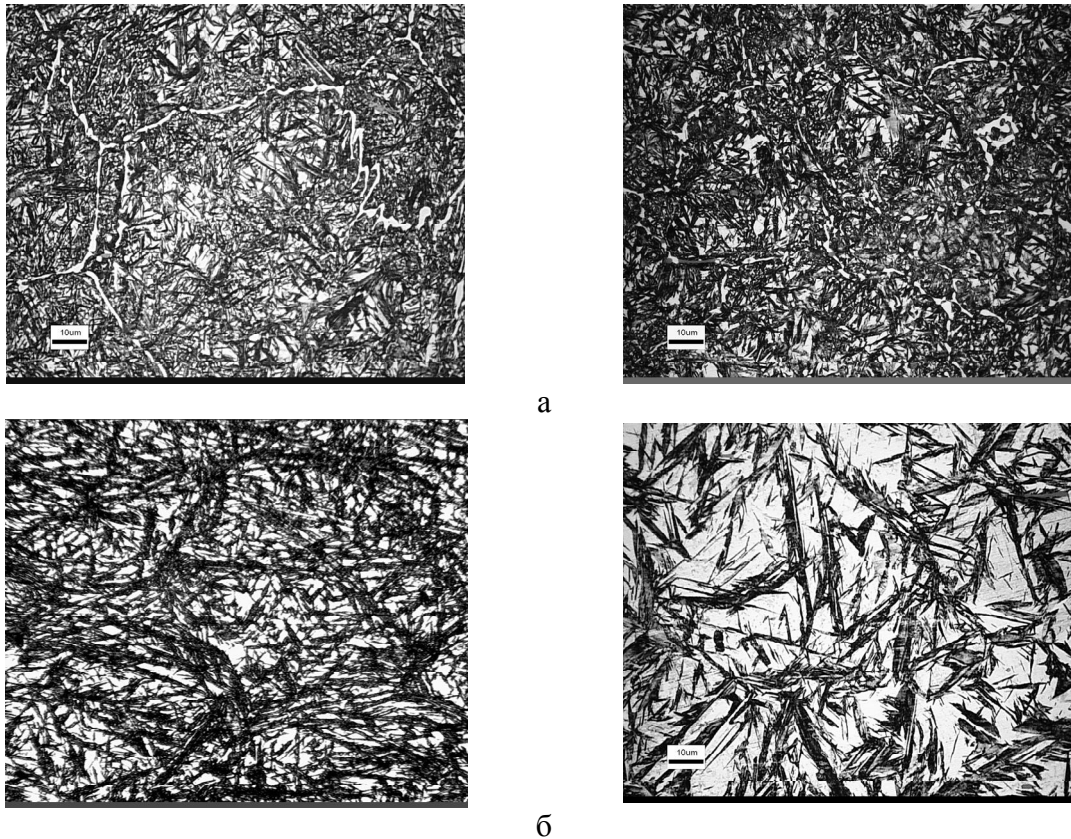
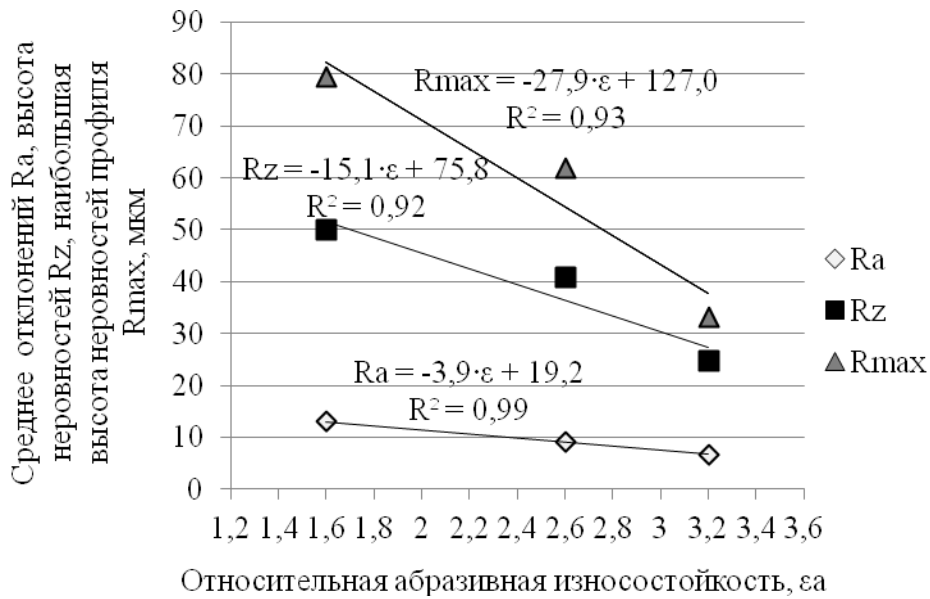


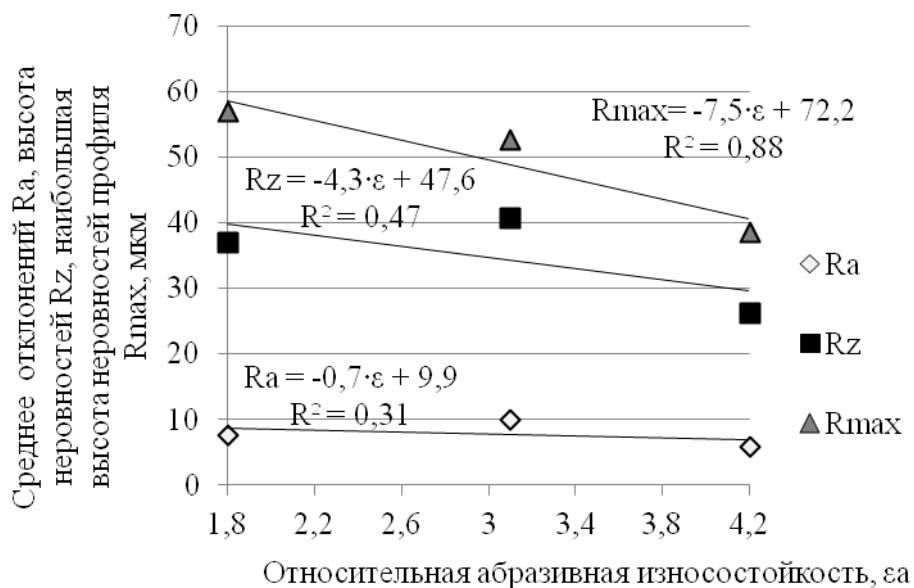
Рис. 4 – Микроструктура цементованных сталей 25 (слева) и 50Г (справа) после заковки при температурах (отпуск 200°C): а – 900°C; б – 1000°C

Структура сталей после заковки от 1000°C отпуска при 200°C – мартенсит + цементит + метастабильный остаточный аустенит ($A_{ост}$) (рис. 4, б). После цементации как в поверхностном слое, так и по глубине упрочненного слоя, содержится повышенное содержание углерода, что вызывает понижение мартенситных точек M_n и M_k и образование $\approx 30-50\%$ $A_{ост}$. Этой температуре заковки цементованных сталей 25 и 50Г соответствуют минимальные значения средних высот профиля R_a – 6,8 и 5,7 мкм, следовательно, изнашивание проходило более плавно и равномерно. В процессе абразивного воздействия $A_{ост}$, предположительно, претерпевает мартенситное $\gamma \rightarrow \alpha'$ ДМПИ и в тонком поверхностном слое частично превращается в мартенсит деформации [12-16]. По мере изнашивания этого слоя ДМПИ распространяется на следующие слои.

На рис. 5 представлена взаимосвязь между коэффициентом относительной абразивной износостойкости ϵ_a и показателями профиля поверхностей износа R_a, R_z, R_{max} в виде математических моделей линейного вида. Видно, что с увеличением износостойкости ϵ_a зависимости для R_a, R_z, R_{max} имеют убывающий характер. Коэффициент достоверности аппроксимации установленных взаимосвязей для цементованной стали 25 изменяется в диапазоне $R^2=0,92 \div 0,99 \approx 1$. Для цементованной стали 50Г имеет место ослабление корреляционной связи характеристик шероховатости и износа контактных поверхностей, особенно для зависимости $R_a=f(\epsilon_a)$.



а



б

Рис. 5 – Взаимосвязь относительной абразивной износостойкости ϵ_a и показателей профиля R_a , R_z , R_{max} модифицированных цементацией поверхностей сталей после различных вариантов термообработки: а – сталь 25; б – сталь 50Г

Выводы

1. В Excel рассчитаны параметры шероховатости R_a , R_z , R_{max} поверхности изношенных образцов конструкционных сталей 25 и 50Г после цементации и закалки по различным режимам.
2. Методом корреляционно-регрессионного анализа получены нелинейные зависимости относительной абразивной износостойкости ϵ_a и средней шероховатости R_a модифицированной цементацией поверхности стальных образцов от температуры закалки. Высокие значения относительной износостойкости ϵ_a соответствуют минимальным высотным показателям шероховатости R_a .
3. Установлено, что минимальные значения шероховатости изношенной поверхности R_a , R_z , R_{max} наблюдаются после цементации и закалки сталей 25 и 50Г от 1000°C. Изнашивание уп-

роченной поверхности происходит более плавно и равномерно за счет присутствия в цементованной структуре повышенного содержания $A_{\text{ост}}$, способного к мартенситному $\gamma \rightarrow \alpha'$ ДМПИ.

4. Установлена взаимосвязь износостойкости и шероховатости изношенной поверхности. С увеличением износостойкости исследованных сталей характеристики шероховатости изменяются по линейной убывающей зависимости.

Список использованных источников:

1. Чейлях А.П. Перспективные упрочняющие технологии обработки материалов : учебное пособие / А.П. Чейлях, Я.А. Чейлях, Ю.С. Смотугина. – Мариуполь : ООО «ППНС». – 2016. – 378 с.
2. Комбалов В.С. Влияние шероховатости твердых тел на трение и износ / В.С. Комбалов. – М. : Наука. – 1974. – 111 с.
3. Уманский В.Б. Упрочнение деталей металлургического оборудования / В.Б. Уманский, А.А. Костенко, Ю.Т. Худик. – М. : Металлургия. – 1991. – 176 с.
4. Азотирование и карбонитрирование / Р. Чаттерджи-Фишер [и др.]; под ред. А.М. Супова. – М. : Металлургия. – 1990. – 280 с.
5. ГОСТ 25142-82. Шероховатость поверхности. Термины и определения. – Утв. и введ. 1983-01-01, № 730. – М. : Издательство стандартов, 1982. – 20 с.
6. Рубан А.Р. Ограниченная выносливость цементуемых зубьев колес судовых редукторов / А.Р. Рубан // Вестник АГТУ. Сер.: Морская техника и технология. – 2011. – № 1. – С. 56-62.
7. Зинченко В.М. Инженерия поверхности зубчатых колес методами химико-термической обработки / В.М. Зинченко. – М. : Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2001. – 303 с.
8. Малинов Л.С. Экономнолегированные сплавы с мартенситными превращениями и упрочняющие технологии / Л.С. Малинов, В.Л. Малинов. – Харьков : ННЦ ХФТИ, 2007. – 346 с.
9. Брыков М.Н. Износостойкость сталей и чугунов при абразивном изнашивании : научное издание / М.Н. Брыков, В.Г. Ефременко, А.В. Ефременко. – Херсон : Гринь Д.С., 2014. – 364 с.
10. Влияние температуры закалки на состояние остаточного аустенита и абразивную износостойкость цементованной конструкционной стали 50Г / А.П. Чейлях [и др.] // Современные методы и технологии создания и обработки материалов. Технологии и оборудования механической и физико-технической обработки : Сб. науч. тр. – Минск : ФТИ НАН Беларуси. – 2014. – С. 390-396.
11. Чигарев В.В. Создание метастабильных состояний и повышение износостойкости хромистых инструментальных сталей плазменной и электронно-лучевой обработкам / В.В. Чигарев, И.И. Пирч, Я.А. Чейлях // Нові матеріали і технології в металургії та машинобуд. – 2008. – № 2. – С. 67-70.
12. Emamian A. A Study on Wear Resistance, Hardness and Impact Behaviour of Carburized Fe-Based Powder Metallurgy Parts for Automotive Applications / A. Emamian // Materials Sciences and Applications. – 2012. – № 3. – P. 519-522.
13. In situ synchrotron study on the interplay between martensite formation, texture evolution and load partitioning in low-alloyed TRIP steels / E. Jimenez-Melero [et al.] // Materials Science and Engineering A. – 2011. – № 528. – P. 6407-6416.
14. Чейлях А.П. Влияние высокотемпературной термоциклической обработки на структуру и свойства цементованной стали 20ГЛ / А.П. Чейлях, Н.Е. Караваева // Университетская наука-2015 : Сборник тезисов докладов международной научно-технической конференции / ГВУЗ «ПГТУ». – Мариуполь, 2015. – С. 243-246.
15. Чейлях А.П. Исследование возможности управления свойствами конструкционной стали способами поверхностного упрочнения / А.П. Чейлях, Н.Е. Караваева // Строительство, материаловедение, машиностроение : Сб. науч. тр. / ГВУЗ «ПГАСА» – Днепропетровск, 2015. – Вып. 80. – С. 327-332.
16. Чейлях А.П. Влияние закалки на структуру, состав метастабильного остаточного аустенита и абразивную износостойкость цементованных конструкционных сталей / А.П. Чейлях, М.А. Рябикина, Н.Е. Караваева // Вісник Приазовського державного технічного університету. Сер. : Технічні науки : Зб. наук. пр. / ДВНЗ «ПДТУ». – Мариуполь, 2012. – Вип. 25. – С. 95-101.

References:

1. Cheiliakh A.P., Cheilyakh Y.A., Samotugina Yu.S. *Perspektivnyye uprochnyayushchiye tekhnologii obrabotki materialov: uchebnoye posobie* [Strengthening technologies for materials treatments: textbook]. Mariupol, Ltd. «PPNS» Publ., 2016. 336 p. (Rus.)
2. Kombalov V.S. *Vliyaniye sherokhovatosti tverdykh tel na treniye i iznos* [Influence of surface roughness of solids in the friction and wear]. Moscow, Nauka Publ., 1974. 111 p. (Rus.)
3. Umanskiy V.B. *Uprochneniye detaley metallurgicheskogo oborudovaniya* [Hardening of the details of metallurgical equipment]. Moscow. Metallurgiya Publ., 1991. 176 p. (Rus.)
4. Chatterdzhi-Fisher R. *Azotirovaniye i karbonitirovaniye* [Nitriding and carbonitriding] Moscow, Metallurgiya Publ., 1990. 280 p. (Rus.)
5. GOST 25142-73. *Sherokhovatost' poverkhnosti. Terminy i opredeleniya* [State Standard 25142-73. The surface roughness. Terms and Definitions]. Moscow, Standartinform Publ., 1982. 20 p. (Rus.)
6. Ruban A.R. Ogranichennaya vynoslivost' tsementuyemykh zub'yev koles sudovykh reduktorov [Limited endurance carburized gear teeth wheel ship] *Vestnik AGTU. Ser.: Morskaya tekhnika i tekhnologiya – Vestnik of ASTU. Ser.: Marine engineering and technologies*, 2011, № 1, pp. 56-62. (Rus.)
7. Zinchenko V.M. *Inzheneriya poverkhnosti zubchatykh koles metodami khimiko-termicheskoy obrabotki* [Engineering cogwheels surface methods of chemical and thermal processing]. Moscow, MGTU im. N.E. Bauman Publ., 2001. 303 p. (Rus.)
8. Malinov L.S. *Ekonomnolegirovannyye splavy s martensitnymi prevrashcheniyami i uprochnyayushchiye tekhnologii* [Economically alloyed alloys with a martensitic transformations and strengthening technologies]. Khar'kov, NNTS KHFTI Publ., 2007. 346 p. (Rus.)
9. Brykov M.N. *Iznosostoykost' staley i chugunov pri abrazivnom iznashivanii* [The wear resistance of steels and cast irons with abrasive wear]. Kherson, Grin D.S. Publ., 2014. 364 p. (Rus.)
10. Cheiliakh A.P. Vliyaniye temperatury zakalki na sostoyaniye ostatochnogo austenita i abrazivnyuyu iznosostoykost' tsementovannoy konstruktsionnoy stali 50G [Influence of quenching temperature on the state of retained austenite and abrasive wear resistance of carburized structural steel 50G]. *Sovremennyye metody i tekhnologii sozdaniia i obrabotki materialov. Kn. 2 : Tekhnologii i oborudovanie mekhanicheskoi i fiziko-tekhnicheskoi obrabotki – Modern methods and technologies of creation and material handling. Volume 2 : Technology and equipment for mechanical and physical-technical processing*, 2014, no. 9, pp. 390-396. (Rus.)
11. Chigarev V.V. Sozdaniye metastabil'nykh sostoyaniy i povysheniye iznosostoykosti khromistykh instrumental'nykh staley plazmennoy i elektronno-luchevoy obrabotkam [Creation of metastable states and increase the wear resistance of chromium tool steel, plasma and cathode ray treatments]. *Novi materiali i tekhnologii v metalurgii ta mashinobud – New materials and technologies in metallurgy and machine building*, 2008, no. 2, pp. 67-70. (Rus.)
12. Emamian A.A Study on Wear Resistance, Hardness and Impact Behaviour of Carburized Fe-Based Powder Metallurgy Parts for Automotive Applications. *Materials Sciences and Applications*, 2012, no. 3. pp. 519-522. (Eng.)
13. Jimenez-Melero E. In situ synchrotron study on the interplay between martensite formation, texture evolution and load partitioning in low-alloyed TRIP steels. *Materials Science and Engineering*, 2011, no. 528, pp. 6407-6416. (Eng.)
14. Cheiliakh A.P., Karavaeva N.E. Vlyyanye vysokotemperaturnoy termotsyklycheskoy obrabotky na strukturu y svoystva tsementovannoy staly 20HL. *Anotatsii dopovidei Mezhn. nauk.-techn. konf. «Unyversytetskaya nauka-2015»* [Influence of high-temperature thermocyclic treatment on the structure and properties of cemented steel 20HL. Abstracts of Int. Sci.-Tech. Conf. «University science-2015»]. Mariupol, 2015, pp. 243-246. (Rus.)
15. Cheiliakh A.P. Issledovaniye vozmozhnosti upravleniya svoystvami konstruktsionnoy stali sposobami poverkhnostnogo uprochneniya [Investigation of the properties of structural management capabilities have become methods of surface hardening]. *Stroitel'stvo, materialovedeniye, mashinostroyeniye – Construction, materials science, mechanical engineering*, 2015, no. 80, pp. 327-332. (Rus.)
16. Cheiliakh A.P., Riabikina M.A., Karavaeva N.E. Vliyaniye zakalki na strukturu, sostav metastabil'nogo ostatochnogo austenita i abrazivnyuyu iznosostoykost' tsementovannykh konstruktsionnykh staley [Influence of quenching on the structure, the composition of a metastable retained aus-

tenite and abrasive wear resistance of carburized structural steels]. *Visnik Priazovs'kogo derzhavnogo tekhnichnogo universitetu. Ser.: Tekhnichni nauki: Zb. nauk. prats'* – Reporter of the Priazovskiy state technical university. Section: Technical science: Collection of scientific works, 2012, no. 25, pp. 95-101. (Rus.)

Рецензент: В.Г. Ефременко
д-р техн. наук, проф., ГВУЗ «ПГТУ»

Статья поступила 21.03,2017

УДК 621.78:669.14.018.295

© Ткаченко І.Ф.¹, Уніят М.А.²

БАГАТОЦІЛЬОВА ОПТИМІЗАЦІЯ ХІМІЧНОГО СКЛАДУ СТАЛІ Е36 ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ КОМП'ЮТЕРНИХ МЕТОДІВ ГЛИБОКОГО РОЗВІДУВАТЕЛЬНОГО АНАЛІЗУ ДАНИХ

В роботі вирішена актуальна науково-технічна задача підвищення експлуатаційних характеристик сталей, усунення анізотропії механічних та фізико-хімічних властивостей за рахунок оптимізації хімічного складу. Із застосуванням методів глибокого розвідувального аналізу даних досліджено вплив параметрів виробництва на механічні властивості. Вивчено вплив термічної обробки на розподіл хімічних елементів, мікроструктуру, твердість та механічні властивості низьколегованих сталей. За допомогою методів математичного аналізу проведена оптимізація хімічного складу сталі Е36.

Ключові слова: нормалізована сталь, міцність, пластичність, оптимізація хімічного складу.

Ткаченко И.Ф., Уният М.А., Многоцелевая оптимизация химического состава стали Е36 с применением компьютерных методов глубокого разведывательного анализа данных. В работе решена актуальная научно-техническая задача повышение эксплуатационных характеристик сталей, устранение анизотропии механических и физико-химических свойств за счет оптимизации химического состава. С применением методов глубокого разведывательного анализа данных исследовано влияние параметров производства на механические свойства. Изучено влияние термической обработки на распределение химических элементов, микроструктуру, твердость и механические свойства низколегированных сталей. С помощью методов математического анализа, проведена оптимизация химического состава стали Е36.

Ключевые слова: нормализуемая сталь, прочность, пластичность, оптимизация химического состава.

I.F. Tkachenko, M.A. Uniyat. Multipurpose optimization of the chemical composition of the steel E36 with the use of computer methods of the deep data analysis. An actual scientific and technical task solution, that is operational performance improvement, elimination of the mechanical and physico-chemical properties anisotropy by optimizing the chemical composition has been given in the paper. Using the methods of the deep data analysis, the effect of production parameters (chemical composition and thickness of rolled metal) on the key indicators of the mechanical properties – ultimate strength, yield strength, percent elongation and impact resistance-has been investigated. It is shown that the most responsive characteristic of mechanical properties – impact resistance, is influ-

¹ д-р техн. наук, профессор, ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», м. Маріуполь

² здобувач, Донецький регіональний центр з гідрометеорології, м. Маріуполь, muniyat@ukr.net