

Висновки

В ході досліджень виявлені закономірності зношування деталей двигунів автомобільних кранів і встановлені найбільш вагомі експлуатаційні фактори, які приводять до прискореного руйнування поверхонь тертя.

Список літератури: 1. Подоляк О. С. Особенности работы приводов автомобильных кранов при переходных процессах / О. С. Подоляк, А. В. Силка // Современные направления теоретических и прикладных исследований - 2008: междунар. науч.-техн. конф., тезисы докл. - Одесса – 2008. – Т. 3. С. 34 – 36. 2. Подоляк О. С. Исследование модели изменения ресурса силового агрегата автомобильного крана методом итерации / Подоляк О. С., Мельниченко А. А. // Восточно-европейский журнал передовых технологий. Харьков – 2008. – Вып. 6 (36). С. 27 – 30.

Надійшла до редколегії 20.12.2012

УДК 621.86.032

Експериментальне дослідження зношуваності двигунів внутрішнього згорання при динамічних режимах роботи/ О. С. Подоляк, О. А. Назаркін, І. І. Ісьєміні // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Х: НТУ «ХПІ», – 2012. - № 68 (974). – С. 7-10. – Бібліогр.: 2 назв.

Проведены исследования изнашиваемости деталей двигателя внутреннего сгорания при неуставившихся режимах работы с помощью метода планирования эксперимента, реализация которого осуществлялась на программированном стенде.

Ключевые слова: двигатель, режим работы, стенд, кривошипно-шатунный механизм, износ, математическая модель.

Experimental investigation of internal-combustion engine wearability by transient regime of a machine with a method of planning an experiment were researched. Realization of the method at the programmable stand was done.

Keywords: engine, mode of operation, stand, crank mechanism, wear, mathematical model.

УДК 669.018.25:519.863

С. Н. ПОПОВ, д-р фил. наук, проф., ЗНТУ, Запорожье,

АНАЛИЗ СОВМЕСТНОГО ВЛИЯНИЯ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА И ТВЕРДОСТИ НАПЛАВОЧНЫХ СПЛАВОВ Fe-C-Cr-B-Si НА СПОСОБНОСТЬ К СОПРОТИВЛЕНИЮ АБРАЗИВНОМУ ИЗНАШИВАНИЮ

В статье представлены исследования совместного влияния химического состава и механических свойств наплавочных материалов в среде полужаженного абразива без ударных нагрузок. Предложен алгоритм анализа комплексного влияния химического состава и твердости наплавочных сплавов Fe-C-Cr-B-Si на способность к сопротивлению абразивному изнашиванию. Проведено математическое планирование эксперимента и получена нелинейная система уравнений влияния содержания углерода, хрома, бора и кремния в сплаве на твердость HRC и относительную износостойкость ϵ_m .

Ключевые слова: твердость, химический состав, наплавочные материалы, износостойкость, регрессия.

Введение

Наиболее эффективной защитой деталей от абразивного изнашивания является нанесение на их поверхность (с помощью наплавки, напыления, металлизации и др.) износостойких сплавов, которые с базовым материалом образуют защитное покрытие. Основная задача создания комплексных композиций заключается в обеспечении высокой износостойкости покрытия и прочного соединения его по всей поверхности контакта с основным металлом.

Анализ литературных источников.

Наиболее перспективными материалами для покрытий, работающих в условиях абразивного изнашивания, являются сплавы с высокой исходной твердостью 58-68 HRC, и значительным содержанием 50-80% упрочняющей избыточной фазы микротвердостью $H_{50}=16-30$ ГПа, расположенные в мартенсито-аустенитной матрице. Указанным

© С. Н. ПОПОВ, 2012

требованиям достаточно хорошо отвечают заэвтектические сплавы системы Fe-C-Cr-B-Si, которые не содержат дефицитных элементов и в зависимости от отношения хрома к углероду, бору и кремнию кристаллизуются с различной избыточной фазой – крабидной $(Cr, Fe)_7C_3$, $(Fe, Cr)_{23}C_6$; боридной $(Cr, Fe)B$, $(Cr, Fe)B$ и карбоборидной $(Cr, Fe)_7(CB)_3$; $(Cr, Fe)_{23}(CB)_6$ [1-7].

Таким образом, система легирования Fe-C-Cr-B-Si имеет все потенциальные возможности, чтобы на её основе был разработан новый износостойкий материал с оптимальным соотношением химических элементов.

Цель работы.

Целью данной работы является исследование совместного влияния химического состава (углерода, бора, кремния) и твердости наплавленных хромистых сплавов на способность к сопротивлению абразивному изнашиванию. На основании анализа данных этого исследования планируется получить комплексную систему математических уравнений влияния углерода, хрома, бора и кремния на твердость и относительную износостойкость материала.

Материалы исследования.

За параметр оптимизации принята относительная массовая износостойкость (ϵ_m) (эталон сталь 45, в отожженном состоянии), которая определялась на лабораторной установке согласно ГОСТ 23.208-79. Планирование эксперимента проводили по плану Бокса-Уилсона [6-8] для трех независимых переменных на двух уровнях варьирования (табл.).

Таблица - Результаты реализации матрицы планирования эксперимента 2^3 и свойства полученных сплавов

№ спл.	Содержание элементов масс, %				HRC	Микротвердость Нц, ГПа		Относительная износостойкость, ϵ_m
	Cr	C	B	Si		основы	упрочняющей фазы	
1	13	1,5	1,0	5,5	54	8,1-10,9	-	3,5
2	13	1,5	4,0	2,5	64	10,9-14,5	20,7-22,6	5,55
3	13	2,5	1,0	2,5	56,2	8,1-8,6	14,5-16,9	3,96
4	13	2,5	4,0	5,5	62,5	10,9-13,5	20,7-22,6	4,98
5	13	1,5	1,3	2,5	54,0	7,3-10,3	-	3,45
6	13	1,5	1,3	5,5	63,0	10,9-11,7	18,9-20,7	4,20
7	13	2,5	1,0	5,5	56,5	6,5-8,6	-	5,54
8	13	2,5	4,0	2,5	62,5	10,9-12,5	20,7-22,6	4,87
9	13	2,0	2,5	4,0	62,5	9,7-10,9	15,6-16,9	5,98
10	13	2,6	2,5	4,0	61,5			6,50
11	13	1,4	2,5	4,0	59,5			5,03
12	13	2,0	4,3	4,0	63			5,25
13	13	2,0	0,7	4,0	57			4,57
14	13	2,0	2,5	5,8	61,5			5,80
15	13	2,0	2,5	2,2	61			5,78
Сталь 45		0,42-0,5	0,5-0,8	0,17-0,37	HV 220			1,00

В качестве основных независимых факторов были выбраны: массовая доля углерода, бора и кремния в наплавленном металле. Массовая доля хрома оставалась постоянной и равнялась 12,5 - 13%.

Обработка результатов эксперимента при вычислении коэффициентов регрессии полиномиальной модели B_1 и B_2 проводилась на основе реализации расширенной матрицы планирования (табл. 1) с использованием метода наименьших квадратов [8].

Характер разрушения поверхности трения после изнашивания наплавочного сплава 150X13P3C4 и микроструктуры наплавочных сплавов 150X13P3C4 и 150X13P4C3 показаны на рис. 1 и 2 соответственно.

Таким образом, в результате обработки результатов планирования эксперимента получены следующие адекватные уравнения регрессии:

$$\varepsilon_m = -6,77 + 5,76[C] + 3,84[B] + 0,66[Si] - 0,41[C][B] + 0,50[C][Si] - 0,16[B][Si] - 1,48[C]^2 - 0,42[B]^2 - 0,16[Si]^2 \quad (1)$$

$$HRC = 23,14 + 21,72[C] + 7,86[B] + 2,00[Si] - 1,17[C][B] - 4,34[C]^2 - 0,63[B]^2 - 0,25[Si]^2 \quad (2)$$

где [C] – массовая доля углерода, %; [B] – массовая доля бора, %; [Si] – массовая доля кремния, %; $[\varepsilon_m]$ – массовая относительная износостойкость; HRC – агрегатная твердость;

Оценка статистической значимости найденных коэффициентов осуществлялась независимо, используя $t(k, \alpha)$ – критерии Стьюдента, сравнимость дисперсий оценивали по критерию Кохрена, а адекватность уравнения регрессии проверяли по критерию Фишера.

Качественный анализ полученной регрессии $\varepsilon_m = F(C; B; Si)$ показывает (рис. 3), что углерод [C], бор [B] и кремний [Si] входят в уравнение со знаком плюс и вызывают повышение износостойкости, хотя парные взаимодействия углерода и бора [C][B], кремния и бора [Si][B] имеют отрицательный вклад и вызывает некоторое снижение сплава к сопротивлению абразивному изнашиванию.

Отрицательное влияние парного взаимодействия [C][B] можно объяснить «конкуренцией» углерода и бора в повышении износостойкости металла, поскольку при его кристаллизации происходят различные процессы как карбидообразования, так и образования боридной фазы, которые могут подавлять друг друга.

В то же время парное взаимодействие углерода и кремния [C][Si] с положительным вкладом показывает, что эти элементы не являются «конкурентами», а наоборот, дополняют друг друга. Присутствие в уравнении квадратичных членов $[C]^2$, $[B]^2$, $[Si]^2$ с отрицательным вкладом свидетельствует об ограниченном характере описанной поверхности отклика и определяет наличие локальных экстремумов. Учитывая то, что относительная износостойкость (ε_m) может принимать только положительные значения, то уравнение было проверено в точках факторного пространства, ограниченного нижним и верхним уровнями варьирования.

Отрицательных значений износостойкости не зарегистрировано. Оптимизация регрессии $\varepsilon_m = F(C; B; Si)$ выполнялась с дифференцированным заданием погрешности вычисления ($R=0,1$) и шага поиска ($\Delta X=0,01$) по каждой переменной при выполнении граничных условий, не позволяющих выйти за пределы реализованного факторного пространства. Проведенные расчеты показали, что максимальное значение относительной

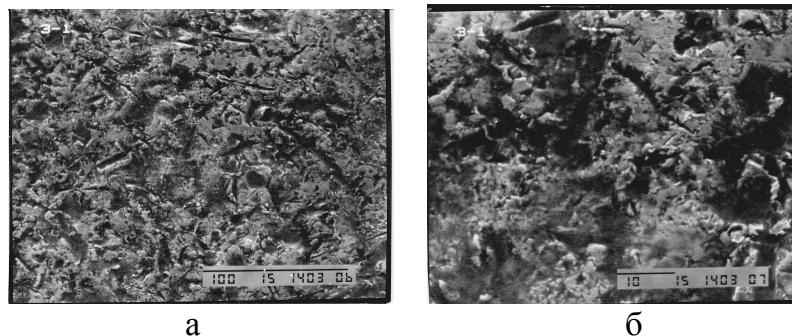


Рис.1 - Характер разрушения поверхности трения после изнашивания наплавочного сплава 150X13P3C4: а - x200; б - x500

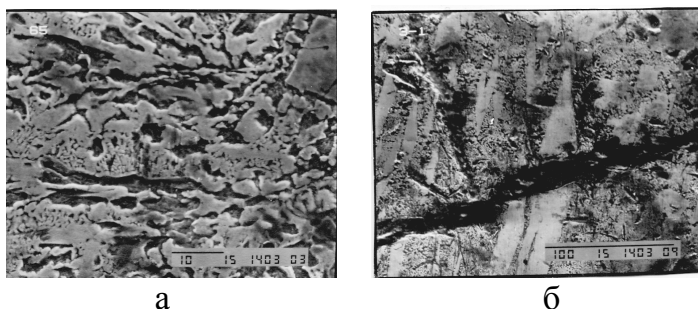


Рис. 2 - Микроструктура наплавочного сплава: а - 150X13P3C4 x500; б - 150X13P4C3 x500

износостойкости ε_m достигается в следующих интервалах массовых долей: Cr 12,5-13%; C - 2,3-2,6%; B - 2,4-2,6%; Si - 4-4,5%.

Качественный анализ регрессии $HRC = F(C; B; Si)$ показал (рис. 4), что углерод [C], бор [B], кремний [Si] входят в уравнение с положительным вкладом и увеличивают агрегатную твердость сплава.

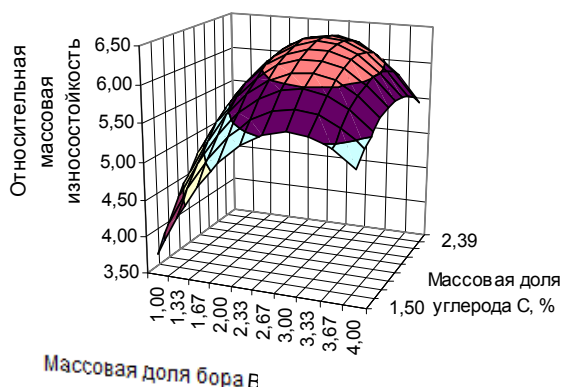


Рис. 3 – Зависимость относительной массовой износостойкости ε_m от массовой доли бора B и углерода C при постоянном значении Si = 4,00%

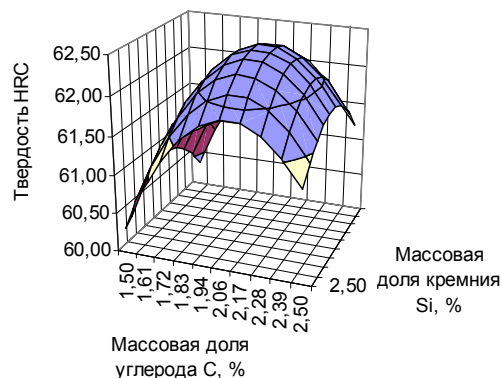


Рис. 4 – Зависимость твердости HRC от: массовой доли углерода C и кремния Si при постоянном значении B = 2,60%

В то же время наличие в уравнении отрицательных квадратных членов $[C]^2$, $[B]^2$, $[Si]^2$ свидетельствует о замкнутости функции отклика, в которой находится максимально возможное значение твердости, определяющееся оптимальным соотношением легирующих элементов.

Это подтверждает и анализ уравнения, полученного при построении парной корреляции между относительной износостойкостью и твердостью сплавов:

$$\varepsilon_m = -168,37 - 5,73[HRC] - 0,05[HRC]^2 \quad (3)$$

где HRC – агрегатная твердость;

ε_m – относительная износостойкость;

R = 0,63 – коэффициент корреляции.

Анализ уравнения показал, что квадратичная зависимость имеет интервал перегиба в пределах 60-63 HRC. Дальнейшее увеличение твердости вызывает снижение износостойкости, что вероятно связано с повышением хрупкости и возможным выкрашиванием микрообъемов металла в момент контактного взаимодействия с абразивом. Это подтверждает и анализ поверхности изнашивания, а также микроструктуры, в частности сплава 150X13P4C3, с наличием значительной холодной микротрещины.

Выводы

Исходя из этого, становится очевидным, что при необходимости разработки сплавов с высокой твердостью необходимо повышать пластичность основы или измельчать упрочняющую фазу. Однако первое решение опасно возможностью выкрашивания твердых включений за счет быстрого изнашивания основы металла и может привести к значительному снижению износостойкости. Второй путь, связанный с измельчением включений, является весьма перспективным, поскольку, чем меньше размер избыточной фазы, тем прочнее она удерживается в основе сплава и тем больше надо приложить энергии для его разрушения, а следовательно, и способность сплава сопротивляться абразивному изнашиванию будет больше. Однако, в настоящее время отсутствуют данные о критериях технологической надежности, твердости, износостойкости, границ легирования карбидообразующими элементами, устанавливаемые для износостойких сплавов и покрытий, для различных условий изнашивания. Поэтому создание таких

критериев крайне необходимо, что вызывает настоятельную потребность в проведении обязательных дальнейших направленных исследований. Таким образом, представленные исследования на основе математического моделирования позволяют разработать оптимальный наплавочный материал, обладающий достаточной твердостью, который можно рекомендовать для эксплуатации в среде полужакрепленного абразива без ударных нагрузок.

Список литературы: 1. *Попов С. М.* Триботехнічні та матеріалознавчі аспекти руйнування сталей і сплавів при зношуванні: Навчальний посібник / *С. М. Попов, Д. А. Антонюк, В. В. Непребо.* – Запоріжжя: ЗНТУ, ВАТ «Мотор Січ», 2010. – 368 с. 2. *Popov S. N.* Wears resistance of metal disposed in working parts of road-boulding machiness during their operation / *S. N. Popov* // The paton welding journal, 2000. – №8. – P.14-18. 3. *Jankauskas V.* Research of strengthening plough parts by welding / *V. Jankauskas, R. Kreivaitis, D. Stonkus, A. Andriušis* // *Mechanika*, 2008. – №.1(69), P.80-84. 4. *Popov S. N.* Adequacy analysis of methods of forecasting the abrasive stability steels and alloys / *S.N. Popov* // *Problems of Tribology.* – Хмельницький: Хмельницький національний університет Міністерства освіти і науки України: журнал – 2005. – №2 (35). – С.95-101. 5. *Graff L.* Discrete element method simulation of wear due to soil-tool interaction: a thesis... master science: Agricultural and Bioresource Engineering / *Lyndon Graff.* – Saskatoon, Canada, 2010. – 120 p. 6. *Попов С. Н.* Математическое моделирование и разработка высокоизносостойких рабочих покрытий биматериалов на базе системы легирования Fe-C-Cr-B-Si / *С. Н. Попов, А. А. Мутяев* // Придніпровський науковий вісник, 1998. – № 12 (79). – С. 9-14. 7. *Мутяев О.* Агдезійна міцність стійких проти спрацювання Fe-C-Cr-B-Si сплавів / *О. Мутяев, С. Попов* // *Машинознавство*, 2000. – № 10 (40). – С. 15-18. 8. Forecasting of mechanical properties of weld connections after the thermodeformation cycle on the basis of the mathematical regression analysis [Text] / *S. N. Popov, V. V Naumik., T. V. Popova, D. A. Antonyuk* // *Нові матеріали та технології в металургії та машинобудуванні*, 2004. – №1. – С.150-156.

Надійшла до редколегії 20.12.2012

УДК 669.018.25:519.863

Анализ совместного влияния химического состава и твердости наплавочных сплавов Fe-C-Cr-B-Si на способность к сопротивлению абразивному изнашиванию / С. Н. Попов // *Вісник НТУ «ХП»*. Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Х: НТУ «ХП», – 2012. - № 68 (974). – С. 10-14. – Бібліогр.:8 назв.

У статті подано дослідження сукупного впливу хімічного складу і механічних властивостей наплавлювальних матеріалів на здатність до спрацювання у середовищі напівзакріпленого абразиву без ударних навантажень. Запропоновано алгоритм аналізу комплексного впливу хімічного складу і твердості наплавлювальних сплавів Fe-C-Cr-B-Si на здатність до опору абразивному зношуванню. Проведено математичне планування експерименту та отримана нелінійна система рівнянь впливу вмісту вуглецю, хрому, бору та кремнію в сплаві на твердість HRC і відносну зносостійкість ϵ_m .

The paper presents the study of joint influence of the chemical composition and mechanical properties of the coating materials in the environment semifixed abrasive without shock. The algorithm for the analysis of the combined effect of the chemical composition and hardness of hardfacing alloys Fe-C-Cr-B-Si on the ability to resist abrasion. The mathematical design of experiments and the nonlinear system of equations of the influence of carbon, chromium, boron, and silicon in the alloy hardness HRC and the relative durability of ϵ_m .

Keywords: hardness, chemical composition, coating materials, wear resistance, regression.

УДК 621.9.048.4

Л. Ф. ГОЛОВКО, д-р техн. наук, проф., НТУУ «КПІ», Київ;

О. С. ЧУМАЧЕНКО, канд. техн. наук, доц., КНТУ, Кировоград

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННОЙ ОБРАБОТКИ МНОЖЕСТВЕННЫМ РАЗРЯДОМ

Исследованы показатели производительности, шероховатости, глубины измененного слоя поверхности деталей после электроэрозионной обработки множественным разрядом в потоке жидкости.

© Л. Ф. ГОЛОВКО, О. С. ЧУМАЧЕНКО, 2012