



Электронное научное издание  
«Ученые заметки ТОГУ»  
2013, Том 4, № 4, С. 1554 – 1561

Свидетельство  
Эл № ФС 77-39676 от 05.05.2010  
<http://ejournal.khstu.ru/>  
[ejournal@khstu.ru](mailto:ejournal@khstu.ru)

УДК 621.746

© 2013 г. М. В. Тепляшин,  
В. Г. Комков

(Тихоокеанский государственный университет, Хабаровск)

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЛЕГИРУЮЩИХ  
ЭЛЕМЕНТОВ НА ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ В СПЛАВАХ,  
ПРЕДНАЗНАЧЕННЫХ ДЛЯ ЭЛЕКТРОШЛАКОВОЙ  
НАПЛАВКИ БИЛ МОЛОТКОВЫХ МЕЛЬНИЦ**

В статье рассмотрены вопросы выбора легирующих систем, и содержания в них компонентов для восстановления бил молотковых мельниц электрошлаковой наплавкой.

**Ключевые слова:** износостойкость, электрошлаковая наплавка, восстановление, легирование, сплав

M. V. Teplyashin, V. G. Komkov

**STUDY OF THE INFLUENCE OF ALLOYING ELEMENTS  
ON THE WEAR RESISTANCE OF THE ALLOYS INTENDED  
FOR ELECTROSLAG WELDING OF BEATER  
OF HAMMER MILLS**

The article deals with the problems of the choice of alloying systems, and the content of the components to restore beater of hammer mills by electro slag welding.

**Keywords:** wear resistance, electro slag welding, recovery, alloying, alloy

Важным вопросом при разработке нового наплавочного материала является выбор системы легирования сплава. При выборе системы легирования следует учитывать условия работы детали, стоимость наплавочного материала, результаты испытания различных материалов в лабораторных и натуральных условиях, а также характер и твердость различных фаз, их количество и т.д. [1].

Рассмотрение микроструктур различных наплавочных материалов позволяет разделить применяемые в настоящее время наплавочные сплавы для работы в условиях абразивного изнашивания на следующие основные виды в зависимости от характера микроструктуры:

1. Наплавочные материалы, дающие наплавленный металл с мартенситной или промежуточной структурой (продукты распада аустенита).

2. Наплавочные материалы, дающие наплавленный металл с аустенитной структурой, упрочняющейся при деформации.

3. Наплавочные материалы, которые при наплавке образуют заэвтектические сплавы со структурой, состоящей из первичных карбидов, расположенных в ледебурите.

4. Доэвтектические и эвтектические сплавы со структурой состоящей из дендритов твердого раствора и эвтектики.

5. Наплавочные материалы, дающие наплавленный металл с аустенитно-мартенситной основой и мелкими карбидами.

Анализируя данные структуры с точки зрения возможности их получения в наплавленном сплаве для восстановления электрошлаковой наплавкой (ЭШН) бил молотковых мельниц (БММ) необходимо отметить следующее. Использование сплавов второй группы с чисто аустенитной структурой, упрочняющейся при деформации не рационально, так как анализ условий эксплуатации и изучение топографии износа бил показал, что упрочнения в материале не происходит вследствие отсутствия значительных ударных нагрузок. Использование сплавов со структурами третьей и четвертых групп для восстановления БММ также является неприемлемым, так как данные структуры, можно, получить при значительном содержании углерода, что, нежелательно при наплавке значительных объемов металла. Наибольшее распространение сплавы с такими структурами нашли при армировании деталей, подвержены чисто абразивному изнашиванию.

Наиболее благоприятными основами для износостойких сплавов при восстановлении БММ является мартенситная и аустенитная. При этом в зависимости от общего строения сплава и наличия избыточных фаз в разных случаях предпочтительной может оказаться та или другая основа. Совмещение этих двух основ (мартенсита с определенным количеством аустенита) может обеспечить наиболее благоприятное сочетание свойств наплавляемого сплава.

Анализ наплавочных материалов (сплавы на железной основе) применяемых в нашей стране и за рубежом, для борьбы с абразивным изнашиванием позволяет сделать вывод о том, что С, Cr, Mn и Ni являются наиболее распространенными для легирования наплавочных материалов, работающих в условиях абразивного изнашивания. В сочетании к перечисленным элементам в наплавочные материалы также вводят такие сильно карбидообразующие элементы, как W, V, Ti и Mo.

С увеличением количества углерода в сплаве возрастает количество остаточного аустенита, а также количество карбидов и карбидная неоднородность. При высоком содержании хрома в сплаве, кроме образования специальных карбидов хрома, происходит упрочнение хромом аустенита и мартенсита. Хром, как и углерод, увеличивает карбидную неоднородность и в целом способствует повышению не только износостойкости, но и хрупкости металла.

Введение разного количества марганца и никеля в состав наплавочных материалов позволяет менять количество остаточного аустенита, который в свою очередь может по разному влиять на износостойкость материалов. Марганец и никель сходны в том отношении, что они оба растворяются в аустените, увеличивают его устойчивость и способствуют тем самым увеличению количества остаточного аустенита. Никель не входит в состав карбидов и в основном легирует твердый раствор (основу). Марганец содержится как в твердом растворе, так, частично, и в карбидах. С повышением количества марганца в материале возрастает склонность к росту зерна при нагреве, что неблагоприятно сказывается на его свойствах (увеличивается хрупкость). Легирование наплавочных материалов вольфрамом и ванадием приводит к образованию их карбидов, что повышает их износостойкость. К тому же вольфрам, находясь в твердом растворе, в некоторой степени увеличивает устойчивость аустенита.

В результате анализа существующих наплавочных материалов, условий работы БММ, современных представлений о механизме абразивного изнашивания для исследований были определены следующие системы легирования С-Сг-Mn и С-Сг-Ni в сочетании с такими элементами как W, V, Ti и Mo.

Наплавку исследуемых сплавов осуществляли в медном водоохлаждаемом кристаллизаторе с использованием «твердого» старта. В качестве флюса использовался марганцово - кремнистый флюс марки АН-348 А. В качестве электрода использовались прутки из арматурной стали 25Г2С ГОСТ 5781-82.

Легирование наплавленного материала осуществлялась посредством легирующих пластин, изготовленных из порошковой шихты устанавливаемой в кристаллизаторе.

На первом этапе исследовались группы сплавов с содержанием: углерода 0,35-0,9%; хрома – до 3,5%; вольфрама – до 0,6%; марганца – до 10% и никеля – до 3,5%.

Химический состав и механические свойства наплавленных сплавов представлены в табл. 1

Таблица 1

Химический состав и механические свойства сплавов

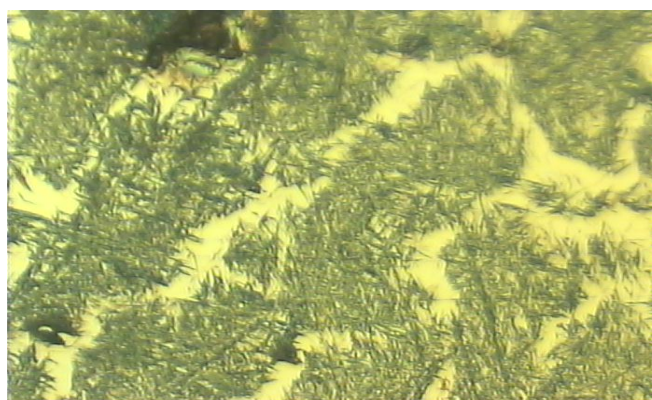
Номер группы сплавов	Номер образца	Содержание легирующих элементов в наплавленном металле, %					Микротвердость, кг/мм <sup>2</sup>	Механические свойства	Относительная износостойкость
		С	Сг	Mn	Ni	W			
I	115	0,37	-	1,92	1,58	0,51	490	42	1,3
	116	0,37	-	2,51	1,64	0,54	350-490	41-43	1,37
	117	0,37	-	3,32	1,63	0,52	410-540	42	1,50
	118	0,37	-	4,11	1,57	0,53	382-510	40-41	1,46
	119	0,37	-	7,20	1,66	0,50	350-420	39-41	1,43
	121	0,37	-	10,2	1,55	0,52	360-490	37-39	1,45
II	144	0,45	3,2	4,81	1,52	-	490-572	40-45	2,16
	126	0,45	0,9	4,74	1,58	-	490-610	49-50	1,41
	125	0,45	1,8	4,65	1,49	-	572-610	45-48	1,44
	129	0,45	2,7	4,76	1,51	-	410-572	38-44	2,01
	120	0,45	-	4,66	1,56	-	572	35-50	1,24
	130	0,45	-	4,40	1,62	0,52	540-640	45-57	1,67
III	173	0,67	0,9	3,56	0,95	-	680	17-32	2,12
	145	0,67	0,9	3,71	2,01	-	490-540	33-50	2,01
	162	0,67	0,9	3,62	2,47	-	572-610	20-58	2,01
	166	0,67	0,9	3,68	3,11	-	610-640	30-40	1,97

Номер группы сплавов	Номер образца	Содержание легирующих элементов в наплавленном металле, %					Микротвердость, кг/мм <sup>2</sup>	Механические свойства	Относительная износостойкость
		C	Cr	Mn	Ni	W			
	112	0,67	-	3,64	2,83	-	572	35-44	1,98
	176	0,67	0,9	3,54	-	-	572-680	44-49	2,12
	178	0,67	0,9	3,53	-	-	610-640	46-49	2,25
IV	167	0,67	1,8	3,64	0,98	-	572-680	38-45	2,21
	142	0,67	1,9	3,60	3,81	-	610-640	38-34	1,96
	168	0,67	1,8	3,67	2,30	-	572-610	44-46	2,10
	169	0,67	1,8	3,59	1,42	-	610	45-46	2,19
	161	0,67	3,2	3,60	3,52	-	540	49-50	2,03

В ходе металлографического анализа исследовались все группы сплавов. Было установлено, что структура слитков имеет дендритно-ячеистое строение, что обусловлено условиями быстрого охлаждения и направленного теплоотвода. Структура всех сплавов аустенитно-мартенситная.

В сплавах I группы доля  $\gamma$ -фазы (аустенита) составляет 11-18%. Микротвердость  $\alpha$ -фазы от 350-540 кг/мм<sup>2</sup>.

В сплавах данной группы (C-Mn-Ni-W) с содержанием углерода до 0,4 % повышение содержания марганца с 1,9 до 3,2% приводит к повышению износостойкости с 1,3 до 1,5. Дальнейшее повышение содержания марганца с 3,5 до 10% не приводит к увеличению износостойкости (рис.1, а). Сплавы I группы имеют самую низкую износостойкость.



×400

а

б

Рис.1. Зависимость износостойкости от содержания марганца в сплавах I группы (а) и микроструктура сплавов I группы (образец №115) (б)

В сплавах II группы C-Cr-Mn-Ni с содержанием углерода 0,45 % при изменении количества хрома в интервале от 0 до 3,5 % износостойкость увеличилась с 1,24 до 2,16 (рис.2, а).

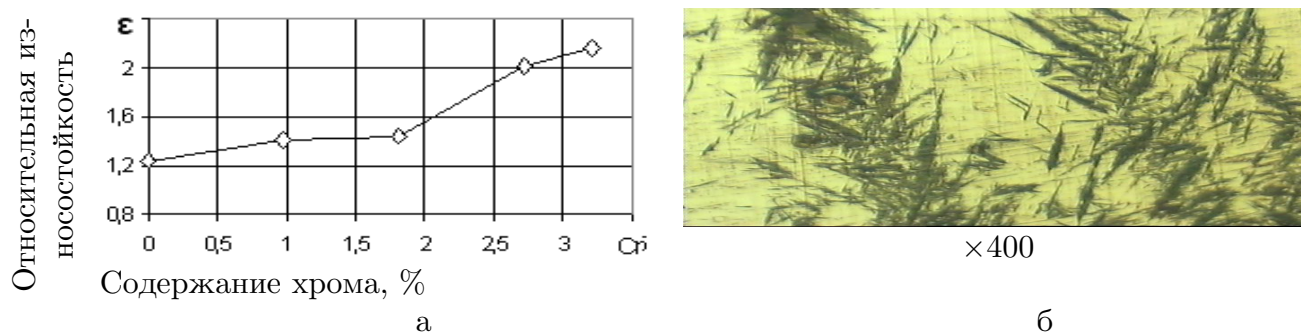


Рис. 2. Зависимость износостойкости (а) от содержания Cr в сплавах II группы и (б) микроструктура сплавов II группы (образец №125)

Износостойкость этих сплавов превосходит износостойкость сплавов I группы. По видимому это связано с дополнительным легированием сплавов данной группы хромом и более высоким содержанием углерода. В сплавах II группы доля  $\gamma$ -фазы (аустенита) составляет 7-10 %. Микротвердость  $\alpha$ -фазы 410-640 кг/мм<sup>2</sup>.

В сплавах III и IV групп с содержанием углерода – 0,67 % изменяли количество никеля от 0 до 3,2 %. В сплавах третьей группы содержания хрома находилось в пределах - 0,94%, а в сплавах четвертой группы в пределах – 1,85%.

Износостойкость сплавов III – IV групп снижается по мере увеличения содержания в них никеля (рис.3).

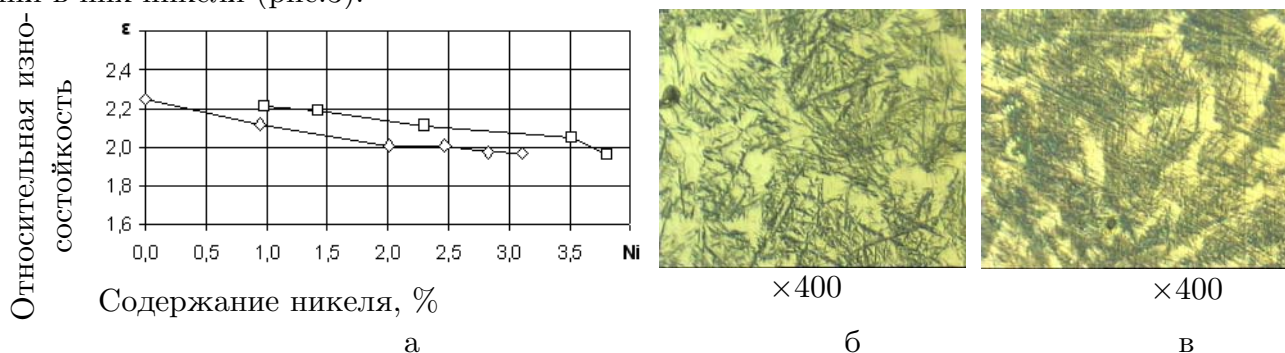


Рис.3. Износостойкость в сплавах групп III – IV в зависимости от содержания Ni (а) и микроструктура сплавов III группы (образец №176) (б), IV группы (образец №161) (в)

В сплавах III группы повышение содержания никеля с 0 до 3,1% приводит к снижению относительной износостойкости с 2,25 до 1,97. В сплавах IV группы повышение содержания никеля с 0,98 до 3,8% приводит к снижению относительной износостойкости с 2,21 до 1,96. При этом сплавы IV группы обладают более высокой износостойкостью, что может быть связано с большей степенью легирования хромом.

В сплавах IV группы количества аустенита находится в пределах 25-29 %, а в сплавах в пределах 27-32 %. Микротвердость  $\alpha$ -фазы в сплавах III группы находится в пределах от 490-680 кг/мм<sup>2</sup>, а в сплавах IV группы от 540-610 кг/мм<sup>2</sup>.

Для дальнейшего исследования было решено исследовать сплавы системы С-Сг-Mn-W с содержанием углерода от 0,75 до 1,00 %, хрома от 2,5 до 3,5 % и дополнительным их легированием Mo, V и Ti. Химический состав и механические свойства наплавленных сплавов представлены в табл.2

Таблица 2

## Химический состав и механические свойства сплавов

Но- мер груп- пы спла- вов	Но- мер об- разца	Содержание легирующих элементов в наплавленном металле, %					Микро- твердость, кг/мм <sup>2</sup>	Механи- ческие свойства	Отно- сительная износо- стойкость
		C	Cr	Mn	W	Прочие			
V	184	0,75	2,71	2,51	-	Mo 0,15	572-683	45-50	2,67
	186	0,75	2,82	2,62	W 0,53	-	572-683	44-50	2,69
	187	0,75	2,76	2,61	W 0,30	-	640-680	44-51	2,45
	182	0,75	2,79	2,68	W 0,25	Ti 0,1	612-700	48-49	2,16
	177	0,75	2,73	3,02	-	-	572-640	48-59	2,61
	190	0,75	2,79	3,13	-	Ti 0,2	642-774	39-43	2,56
	181	0,75	2,75 *	3,22	-	Ti 0,1	610	50-60	2,27
VI	200	0,9	3,21	1,96	W 0,77	-	540-580	45-48	2,90
	198	0,9	3,15	1,92	W 0,75	Mo 0,17	490-612	46-50	2,93
	199	0,9	3,26	1,86	-	Mo 0,12	540-620	45-48	2,81
	202	0,9	3,19 *	1,84	-	V 0,11 Mo 0,12	489-572	48-52	2,40
	191	0,9	3,23 *	2,61	W 0,52	-	572	40-46	2,02
	188	0,9	3,2*	2,62	W 0,50	Mo 0,15	520-610	42-47	2,27
	189	1,05	3,20	2,62	W 0,81	Mo 0,21	490	50-54	3,06
	206	0,9	3,35 *	2,61	W 0,25	-	468-560	50-53	2,20

\* сплавы, легированные феррохромом марки ФХ-850.

На рис. 4. представлена зависимость износостойкости сплавов V и VI групп с содержанием углерода 0,75 и 0,9 % соответственно.

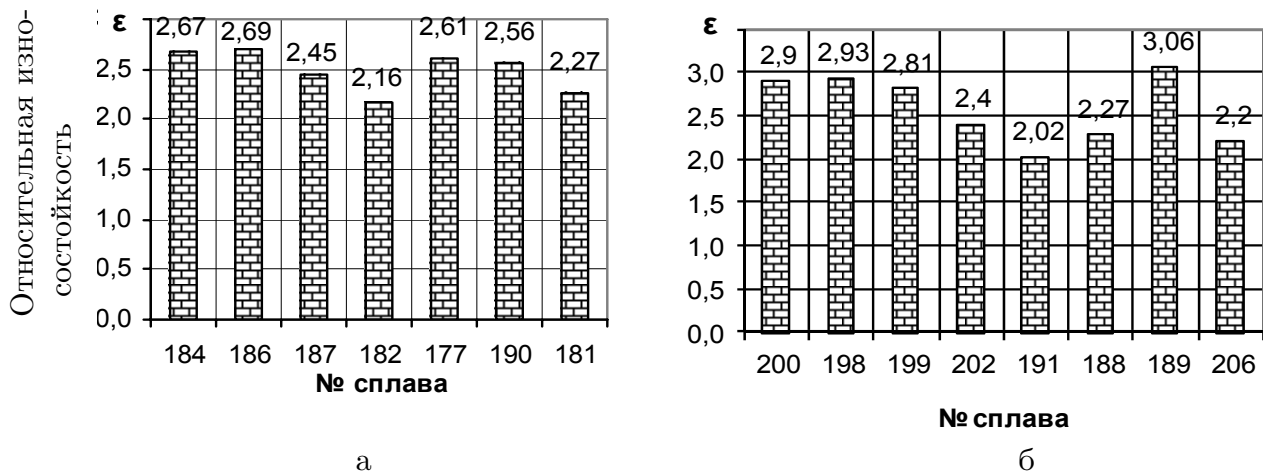


Рис. 4. Износостойкость сплавов: а – V группы; б – VI группы

При введении в состав шихты высокоуглеродистого феррохрома марки ФХ-850 вместо ФХ-001 в сплавах V и VI групп наблюдается снижение износостойкости (образцы №182, 181, 202, 191, 188, 206). Это связано с плохой растворимостью карбидов хрома, находящихся в структуре сплава ФХ-850 из-за повышенного содержания углеро-

да(8-9 %). Для их растворения в расплаве потребуется высокая температура (более 1600 °С) и более продолжительная выдержка при этих температурах (более 30 мин).

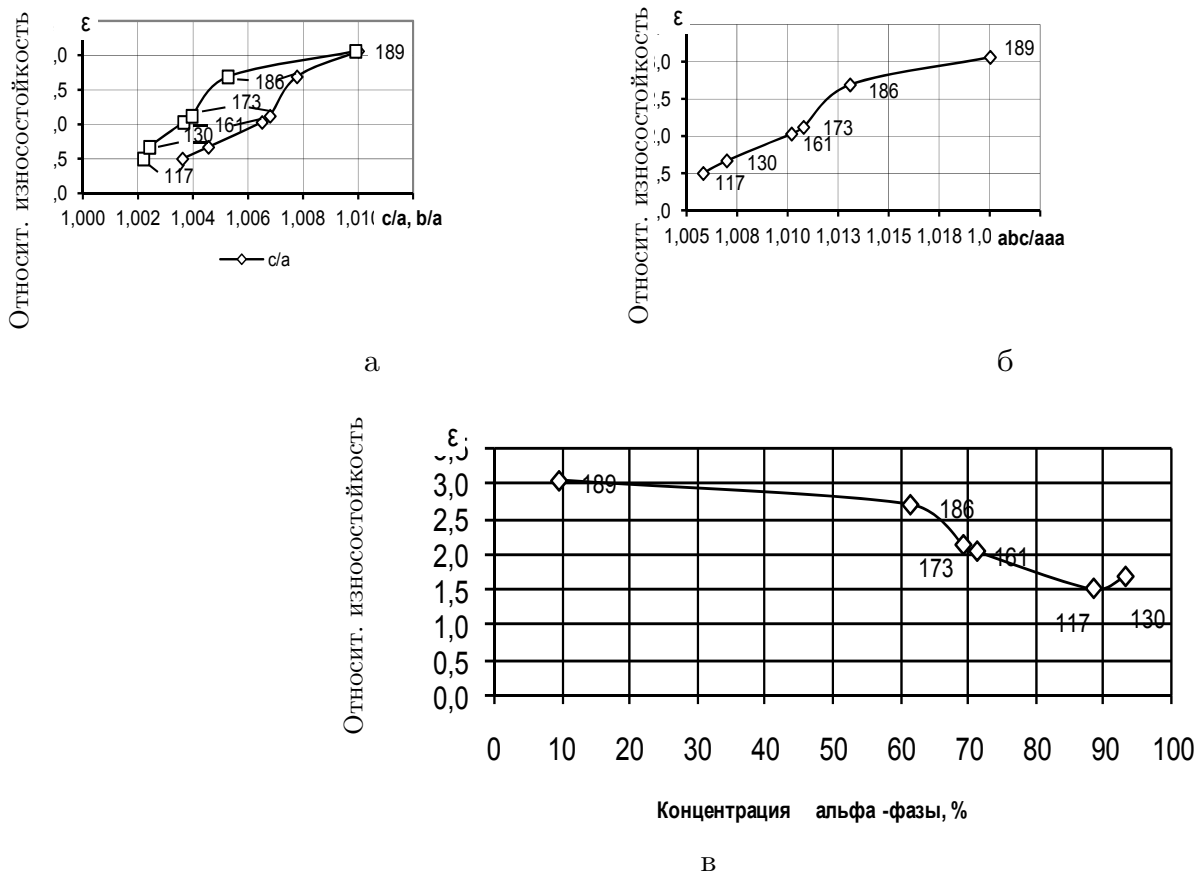


Рис.5. Изменение износостойкости в зависимости от: а - искажения решетки  $\alpha$ -фазы; б- суммарного искажения решетки  $\alpha$ -фазы; в - количества  $\alpha$ - и  $\gamma$ - фазы в структуре сплава

Установлено, что совместное легирование сплавов вольфрамом и молибденом (сплавы 198 и 189) приводит к повышению износостойкости по сравнению со сплавами, дополнительно легированными только вольфрамом или молибденом. Легирование сплавов титаном до 0,2 % существенного влияния на износостойкость не оказало. Износостойкость сплавов VI группы с содержанием углерода 0,9 % является наивысшей из всех рассматриваемых групп.

Для объяснения природы различной износостойкости сплавов исследовали фазовый состав и структуру сплавов всех шести групп.

Проведенный количественный фазовый рентгеноструктурный анализ сплавов подтвердил наличие в металлической основе двух фаз:  $\gamma$ -фазы (аустенита), имеющей гранецентрированную кубическую решетку, и  $\alpha$ -фазы (мартенсит) имеющий тетрагональную решетку.

Показано (рис.5), что структура кристаллической решетки большинства исследуемых сплавов (сплав №117, 130, 161, 173 и 186) ромбическая с небольшими искажениями по  $b$  и  $c$ . При этом их износостойкость возрастает с увеличением как степени искажения по обоим направлениям (соотношения  $c/a$  и  $b/a$ , рис.5, а), так и от суммарного искажения решетки  $\alpha$ -фазы (мартенсита) (рис.5, б). Наряду с этим прослеживается тенденция увеличения износостойкости с ростом в структуре доли  $\gamma$ -фазы (рис.5, в)

Установлено, что наивысшей износостойкостью обладает сплав (№189), имеющий

максимальную степень искажения кристаллической решетки по всем направлениям, при сохранении ее тетрагональности (рис.5, а, б). Кроме того, в структуре данного сплава наблюдается минимальное количество  $\alpha$ -фазы и максимальное количество  $\gamma$ -фазы (9,8 и 90,2% соответственно), что усиливает эффект прироста износостойкости вследствие явления наклепа.

Таким образом, в рассмотренных группах сплавов повышение износостойкости обусловлено увеличением степени искажения кристаллической решетки мартенсита и наклепа аустенита.

### Список литературы

- [1] Кречмар Э. Методы испытаний наплавленного металла.– В кн.: Теоретические и технологические основы наплавки. Свойства и испытания наплавленного металла. /Под ред. И.И.Фрумина.- Киев: изд. ИЭС им. Патона АН УССР, 1979, с. 3-22.

*E-mail: sl166@rambler.ru*