



Электронное научное издание
«Ученые заметки ТОГУ»
2013, Том 4, № 4, С. 1543 – 1549

Свидетельство
Эл № ФС 77-39676 от 05.05.2010
<http://ejournal.khstu.ru/>
ejournal@khstu.ru

УДК 621.745;621.746

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

(Тихоокеанский государственный университет, Хабаровск)

РАЗРАБОТКА ЭКОНОМНОЛЕГИРОВАННОГО СПЛАВА ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ БИЛ МОЛОТКОВЫХ МЕЛЬНИЦ

Разработана технология легирования сплавом 100X6Г3СВМ восстановленных бил молотковых мельниц. За счет повышения износостойкости и более низкой себестоимости, приведенные затраты на одну билу по разработанной технологии восстановления в 3 раза ниже, чем при использовании бил промышленного производства.

Ключевые слова: электрошлаковая наплавка, восстановление, легирование, била молотковых мельниц

M. V. Teplyashin, V. G. Komkov, V. A. Starienko DEVELOPMENT SPARINGLY ALLOYED ALLOY FOR RECOVERY BEATER OF HAMMER MILLS

Developed technology of alloying alloy 100X6Г3СВМ recovered beater hammer mills. By improving the durability and lower costs, the cost of one beater of the developed technology restore in 3 times lower than when using a beater industrial production.

Keywords: electroslag hardfacing, rebuilding, alloying, beater of hammer mills

Основной рабочей деталью молотковой мельницы является било, которое в процессе работы подвергается интенсивному абразивному изнашиванию, в результате которого его масса уменьшается на 25-35%, после чего они направляются в металлолом, что является экономически нецелесообразным. Потребность в билах молотковых мельниц (БММ) измеряется сотнями тысяч штук, поэтому проблема восстановления изношенных БММ является весьма актуальной.

Перспективным направлением повышения ресурса бил молотковых мельниц является их восстановление методом электрошлаковой наплавки (ЭШН). Но при этом необходимо учитывать, что легирование всей массы восстанавливаемой БММ износостойкими высоколегированными сплавами делает технологию восстановления экономически нецелесообразной.

Целью настоящей работы является разработка экономнолегированного (низколегированного) износостойкого сплава для восстановления БММ способом ЭШН.

Исходя из анализа существующих наплавочных материалов (сплавы на железной основе), применяемых в нашей стране и за рубежом [1,2], условий работы БММ, современных представлений о механизме абразивного изнашивания для исследований были выбраны следующие базовые стали системы: Fe-C-Cr-Mn и Fe-C-Cr-Ni в сочетании с такими элементами как W, V, Ti и Mo.

Наплавку исследуемых сплавов осуществляли способом ЭШН в водоохлаждаемом медном кокиле, при использовании «твердого» старта. Легирование осуществлялось посредством легирующей пластины, изготовленной путем смешивания порошков легирующих материалов со связующим, прессованием в пресс-форме, а затем сушкой в печи. Легирующую пластину устанавливали в кокиль со стороны рабочей поверхности билы.

В качестве составляющих шихты использовались ферросплавы. Материал электрода сталь 25Г2С, флюс АН-348-А. Режим наплавки: ток - 300 А, напряжение - 32 В.

Испытания на износостойкость исследуемых сплавов осуществлялись по методике ГОСТ 23.208-79 (испытания материалов о не жестко закрепленные абразивные частицы).

На первом этапе исследовались группы сплавов с содержанием углерода 0,35-0,67%; хрома – до 3,5%; вольфрама – до 0,6%; марганца – до 10% и никеля – до 3,5%. Содержание кремния во всех сплавах было постоянным – 0,8%.

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

Таблица 1

Химический состав и механические свойства сплавов

Но- мер груп- пы спла- вов	Но- мер об- раз- ца	Содержание легирующих элементов в наплавленном металле, %					Микротвердость, кг/мм ²		Механи- ческие свойства HRC	Относ износо- стой- кость ε
		C	Cr	Mn	Ni	W	γ-фаза	α-фаза		
I	115	0,375	-	1,92	1,58	W 0,51	350-642	T 490	42	1,3
	116	0,375	-	2,51	1,64	W 0,54	450-572	350-490	41-43	1,37
	117	0,375	-	3,32	1,63	W 0,52	572-642	410-540	42	1,50
	118	0,375	-	4,11	1,57	W 0,53	350-572	382-510	40-41	1,46
	119	0,375	-	7,20	1,66	W 0,50	410-540	350-420	39-41	1,43

Но- мер груп- пы спла- вов	Но- мер об- раз- ца	Содержание легирующих элементов в наплавленном металле, %					Микротвердость, кг/мм ²		Механи- ческие свойства	Относ износо- стой- кость
		C	Cr	Mn	Ni	W	γ-фаза	α-фаза	HRC	ε
	121	0,375	-	10,2	1,55	W 0,52	350-572	360-490	37-39	1,45
II	144	0,45	3,21	4,81	1,52	-	572-610	490-572	26-45	2,16
	126	0,45	0,98	4,74	1,58	-	610-640	490-610	49-50	1,41
	125	0,45	1,81	4,65	1,49	-	572	572-610	45-48	1,44
	129	0,45	2,72	4,76	1,51	-	572-640	410-572	38-44	2,01
	120	0,45	-	4,66	1,56	-	610-720	572	35-50	1,24
	130	0,45	-	4,40	1,62	W 0,52	824	540-640	45-57	1,67
III	173	0,675	0,94	3,56	0,95	-	510-680	680	17-32	2,12
	145	0,675	0,92	3,71	2,01	-	540-572	490-540	33-50	2,01
	162	0,675	0,96	3,62	2,47	-	490-572	572-610	20-58	2,01
	166	0,675	0,91	3,68	3,11	-	572-640	610-640	30-40	1,97
	112	0,675	-	3,64	2,83	-	605	572	38-41	1,98
	176	0,675	0,92	3,54	-	-	680-720	572-680	34-39	2,12
	178	0,675	0,94	3,53	-	-	620-750	610-640	46-55	2,25
IV	167	0,675	1,81	3,64	0,98	-	610-680	572-680	18-25	2,21
	142	0,675	1,90	3,60	3,81	-	640-720	610-640	28-30	1,96
	168	0,675	1,87	3,67	2,30	-	572-610	572-610	16-24	2,10
	169	0,675	1,84	3,59	1,42	-	640-680	610	15-16	2,19
	161	0,675	3,2	3,60	3,52	-	720-770	540	49-50	2,03

В ходе металлографических исследований было установлено, что структура слитков всех групп сплавов имеет дендритно-ячеистое строение, что обусловлено условиями быстрого охлаждения и направленного теплоотвода. Рентгеноструктурным анализом установлено, что структура всех сплавов аустенитно-мартенситная, с различным их соотношением.

В сплавах I группы Fe-C-Mn-Ni-W с содержанием углерода до 0,4 % повышение содержания марганца с 1,9 до 3,32% приводит к повышению износостойкости с 1,3 до 1,5. При дальнейшем повышении содержания марганца до 10% износостойкость снижается незначительно (рис. 1.а).

В сплавах II группы Fe-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.1.б). Износостойкость этих сплавов превосходит износостойкость сплавов I

группы. Это может быть связано с дополнительным легированием сплавов данной группы хромом и более высоким содержанием углерода. В сплавах I и II группы доля γ -фазы (аустенита) составляет 11-18% и 7-10 % соответственно.

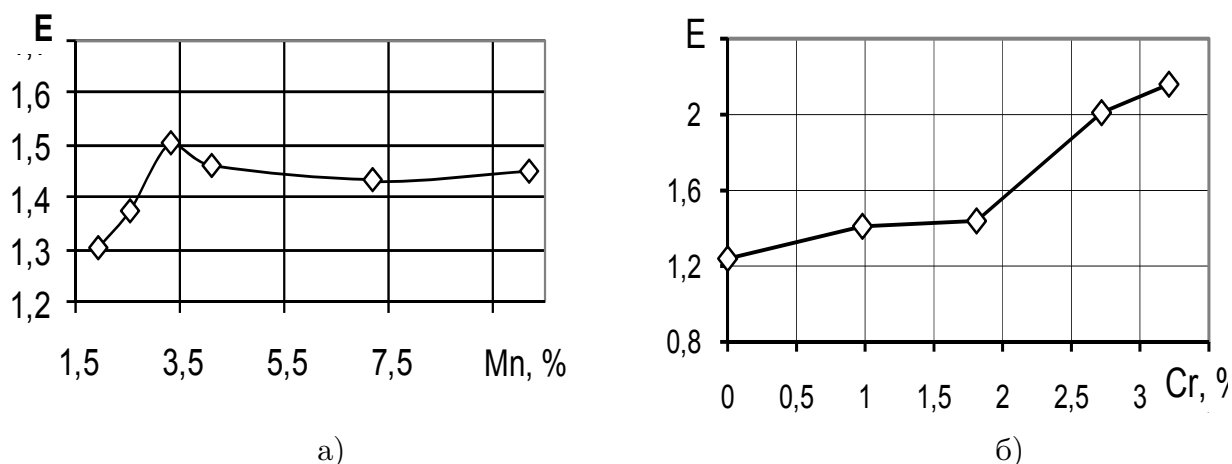


Рис. 1. Зависимость износостойкости (E): (а) от содержания марганца в сплавах I группы; (б) от содержания Cr в сплавах II группы

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.2). Сплавы IV групп 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 III группы в пределах 27-32 %.

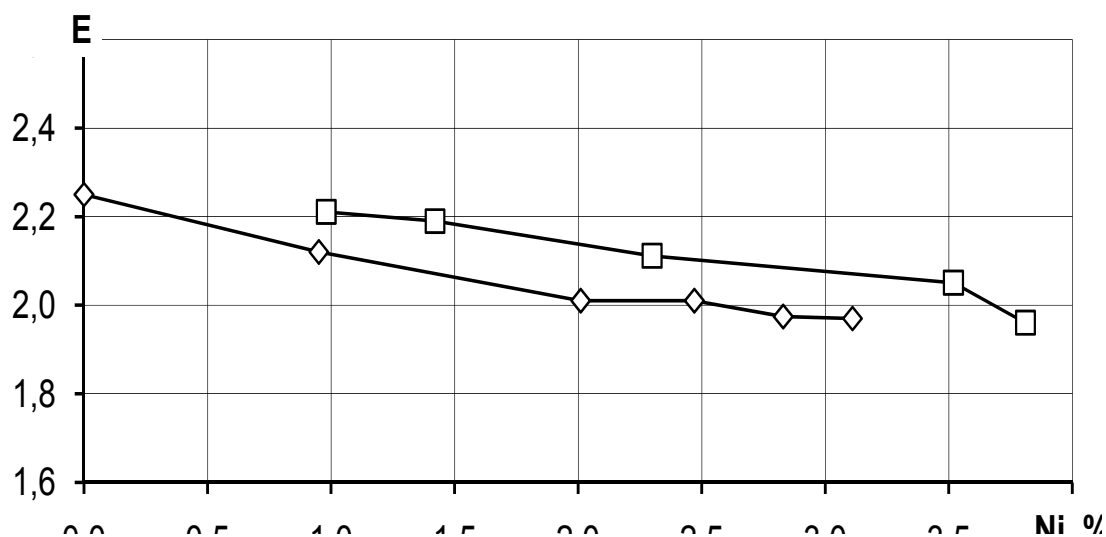


Рис.2. Износостойкость в сплавах групп III – IV в зависимости от содержания Ni

Таким образом, повышение содержания в сплавах углерода и хрома повышает их износостойкость, а никеля снижает. Для дальнейшего исследования было решено исследовать сплавы системы легирования Fe-C-Cr-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- раз- ца	Содержание легирующих элементов в наплавленном металле, %					Микротвердость		Твер- дость HRC	Изно- со- сток ε
		C	Cr	Mn	W	Прочие	γ-фаза	α-фаза		
V	184	0,75	2,71	2,51	-	Mo 0,15	572-824	572-683	45-50	2,67
	186	0,75	2,82	2,62	W 0,53	-	420-572	572-683	44-50	2,69
	187	0,75	2,76	2,61	W 0,30	-	610-720	640-680	44-51	2,45
	182	0,75	2,79*	2,68	W 0,25	Ti 0,1	572-640	612-700	20	2,16
	177	0,75	2,73	3,02	-	-	600-680	572-640	48-59	2,61
	190	0,75	2,79	3,13	-	Ti 0,2	490-572	642-774	35-40	2,56
	181	0,75	2,75*	3,22	-	Ti 0,1	540-610	610	50-60	2,27
VI	200	0,9	3,21	1,96	W 0,77	-	600	540-580	30	2,90
	198	0,9	3,15	1,92	W 0,75	Mo 0,17	480-600	490-612	46-50	2,93
	199	0,9	3,26	1,86	-	Mo 0,12	572-720	540-620	45-48	2,81
	202	0,9	3,19*	1,84	-	V 0,11 Mo 0,12	605-770	489-572	48-52	2,40
	191	0,9	3,23*	2,61	W 0,52	-	420-572	572	20	2,02
	188	0,9	3,2*	2,62	W 0,50	Mo 0,15	484-640	520-610	25-30	2,27
	189	1,05	3,20	2,62	W 0,81	Mo 0,21	464-542	490	20-30	3,06
	206	0,9	3,35*	2,61	W 0,25	-	610-750	468-560	50-53	2,20
	191	0,9	3,23*	2,61	W 0,52	-	420-572	572	20	2,02
	188	0,9	3,2*	2,62	W 0,50	Mo 0,15	484-640	520-610	25-30	2,27

* сплавы, легированные феррохромом марки ФХ-850.

На рис. 3 представлена зависимость износостойкости сплавов V и VI групп с содержанием углерода 0,75 и 0,9% соответственно.

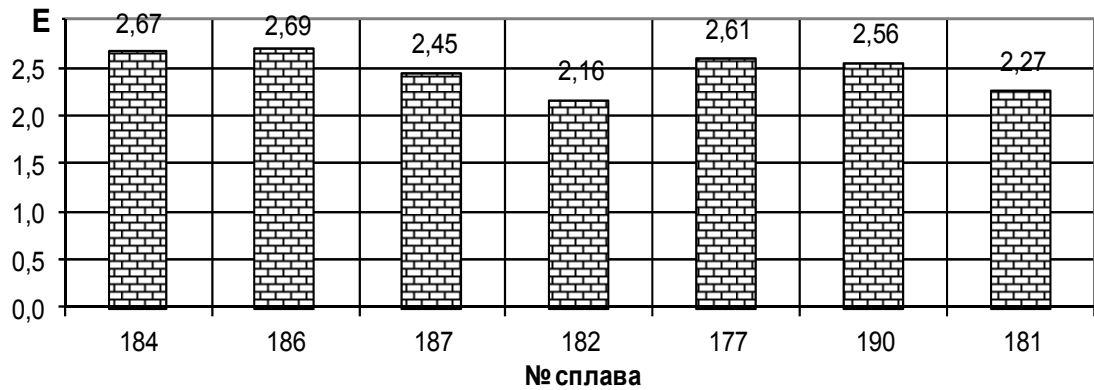
Совместное легирование сплавов вольфрамом и молибденом (сплавы 198 и 189) приводит к повышению износостойкости по сравнению со сплавами дополнительно легированными только вольфрамом или молибденом. Легирование сплавов титаном до 0,2 % существенного влияния на износостойкость не оказало.

При введении в состав шихты высокоуглеродистого феррохрома марки ФХ-850 вместо ФХ-001 в сплавах V и VI групп наблюдается снижение износостойкости.

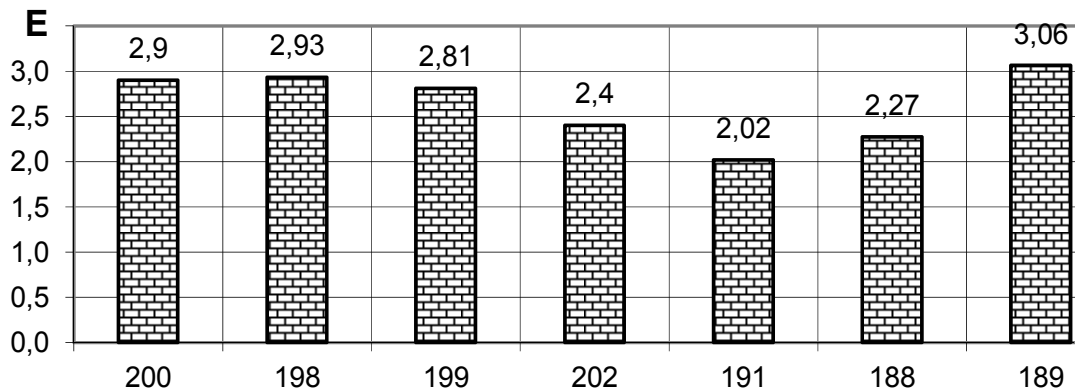
Износостойкость сплавов VI группы с содержанием углерода 0,9 % является наивысшей из всех рассматриваемых групп. В сплавах V группы количества аустенита находится в пределах 39-50 %, а в сплавах IV группы в пределах 80-92 %.

Установлено, что наибольшей износостойкостью обладают сплавы системы легирования C-Cr-Mn с дополнительных их легированием W и Mo при содержании C от 0,75 до 0,9 %. Для определения оптимального состава наплавленного сплава методом матема-

тического планирования эксперимента основные уровни содержания легирующих элементов соответствовали: 0,7-1,0% С, 1-4% Cr, 1,8-3,6% Mn, 0,2-0,8% W, 0,1-0,6% Mo. Для расчета оптимального состава наплавляемого сплава применяли метод Бокса-Уильсона (метод крутого восхождения). В качестве параметра оптимизации была выбрана относительная износостойкость.



а)



б)

Рис. 3. Износостойкость сплавов: (а) – V группы; (б) – VI группы

На основе предварительно проведенных экспериментов были выбраны уровни факторов и интервалы их варьирования (табл.3.)

Таблица 3

Уровни факторов и интервалы их варьирования

Факторы	С	Cr	Mn	W	Mo
Код	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5
Основной уровень	0,8	3	2	0,5	0,3
Интервал варьирования	0,1	2	2	0,5	0,3
Верхний уровень (+1)	0,9	5	4	1	0,6
Нижний уровень (-1)	0,7	1	2	0	0

Было получено уравнение регрессии следующего вида:

$$y = 2,66 + 0,175x_1 + 0,155x_2 + 0,0275x_3 + 0,0775x_4 + 0,06x_5$$

Крутое восхождение по градиенту линейного уравнения привело к незначительному повышению износостойкости. Для повышения износостойкости и с учетом экономической целесообразности в качестве сплава для восстановления БММ был выбран

сплав следующего состава: 0,98% С, 6% Cr, 3,3% Mn, 0,8% Si, 0,86% W и 0,48% Mo.

Разработанным сплавом 100X6ГЗСВМ была восстановлена опытная партия бил, которые прошли производственные испытания с серийными билами из стали Г13 на ТЭЦ №3 г. Хабаровска. В результате промышленных испытаний было установлено, что восстановленные БММ разработанным способом ЭШН имеют износостойкость в 2,58 раза выше, чем била промышленного состава. За счет повышения износостойкости и более низкой себестоимости, приведенные затраты на одну билу по разработанной технологии восстановления в 3 раза ниже, чем при использовании бил промышленного производства.

Список литературы

- [1] Наплавочные материалы стран-членов СЭВ: Каталог / Под ред. И.И.Фрумина и В.Б.Еремена. – К.: ИЭС им. Е.О. Патона, 1979.
- [2] Пилипченко А.В., Лукань Ю.Д., Васкул П.Н. Материалы для упрочнения деталей работающих в условиях интенсивного абразивного изнашивания // Аннотации докладов участников семинара Европейской экономической комиссии ООН «Новые материалы и их применение в машиностроении. – ИПМ им. И.Н. Францевича АН Украины, Киев. 1992.

E-mail: sl166@rambler.ru