



Список литературы

1. Костяков В. Н., Сидак В. Б. Перспективы прямого легирования литейных сплавов оксидами металлов // Процессы литья. – 2008. – № 3. – С. 26-30.
2. Филипенков А. А. Отливки из ванадийсодержащих сталей. – М.: Машиностроение, 1982. – 125 с.
3. Легирование чугуна хромом из оксидного расплава электросталеплавильного шлака/ В. Н. Костяков, Н. В. Кирьякова, А. И. Мацкул, В. Я. Хоружий // Процессы литья. – 2010. – № 1. – С. 63-65.
4. Костяков В. Н., Сидак В. Б., Мацкул А. И. Опробование технологии легирования углеродистой стали ванадием из золы ТЭС и ванадиевого концентрата в промышленных условиях // Металл и литье Украины. – 2011. – № 1. – С.11-13.
5. Костяков В. Н., Полетаев Е. Б., Медведь С. Н. Технологические процессы получения легатур и сплавов из технологических отходов в электропечах // Процессы литья. – 2007. – № 1-2. – С. 8-19.

Поступила 15.11.2011

УДК 669.112:546.3-19

И. В. Олексенко, Е. А. Марковский, В. П. Гаврилюк

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, Киев

ВЛИЯНИЕ МОДИФИЦИРОВАНИЯ МИКРОПОРОШКОМ TiN НА СТРУКТУРУ И ТРИБОТЕХНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СПЛАВОВ ТИПА СЧCuS

С целью повышения физико-механических свойств литья в качестве модификаторов использованы нанопорошки SiC, BN и TiN. Рассмотрено влияние TiN на структуру и свойства серого чугуна, легированного медью и серой в литом, закаленном и отожженном состояниях.

Ключевые слова: сплав, модифицирование, нанопорошки, износостойкость.

З метою підвищення фізико-механічних властивостей литва в якості модифікаторів застосовувано нанопорошки SiC, BN та TiN. Розглянуто вплив TiN на структуру та властивості сірого чавуну, легваного міддю та сіркою.

Ключові слова: сплав, модифікування, нанопорошки, зносостійкість.

In order to improve the physical and mechanical properties of casting as a modifier was used nanometer SiC, BN and TiN. The influence of TiN on the structure and properties of cast iron, alloyed with copper and sulphur in the cast, quenched and annealed states.

Keywords: alloy, inoculation, nanopowder, wear resistance.

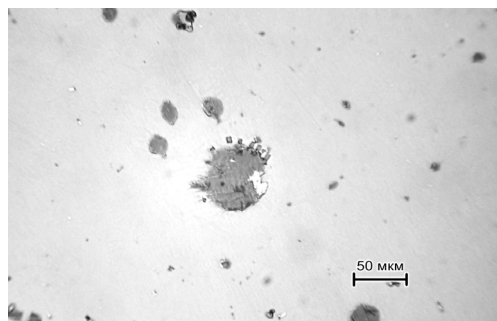
В последние годы проводятся технологические эксперименты по применению нанопорошков в качестве модификаторов с целью повышения физико-механических свойств литья в области металлургии чугуна. В работах [1-3] изучали влияние добавок нанопорошков с массовой долей оксида алюминия 0,001-0,1 % на прочность и износостойкость легированных чугунов типа ИСЦ, СЧЦ1-Е, ИЧХ12-М и др. Получили увеличение механических свойств на 10-20 %. В качестве нанопорошков (НП) были опробованы SiC и BN. Однако, физико-химические эффекты воздействия этих модифицирующих присадок требуют тщательного изучения.

В качестве микропорошков взяли порошки TiN со средним размером частицы от 0,05 до 0,5 мкм. Нитрид титана, как и ранее приведенные вещества, обладает высокой температурой плавления – 2950 °С.

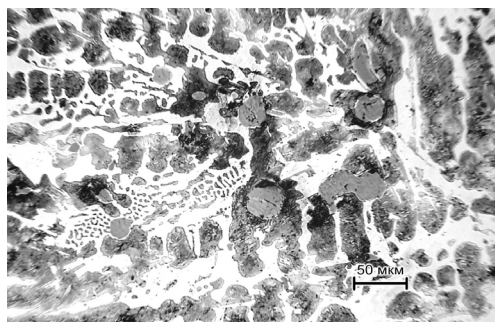
Объектом исследования был разрабатываемый антифрикционный сплав серого чугуна, легированный медью и серой (типа СЧCuS). После выплавки сплавов при добавлении порошков TiN с массовой долей 0,1 % из полученных сплавов были изготовлены образцы для металлографического анализа, испытания на износ, определения массопереноса между поверхностями трения в литом состоянии, после закалки и отжига.

Таблица 1. Средний химический состав сплава

Сплав	Химический состав, массовая доля, %						Примечание	
	C	Si	Mn	P	S	Ti		Cu
СЧCuS+ + TiN	3,29	0,35	0,05	0,05	0,90	0,15	5,17	спектральный анализ
		-	0,08	-	0,42	0,13	-	по данным химической лаборатории



a



a

Рис. 1. Структура сплава СЧCuS + TiN в литом состоянии: *a* – нетравленная; *б* - травленная

В табл. 1 приведен средний химический состав опытного сплава.

Сплав СЧCuS + TiN в литом состоянии (рис. 1) практически имеет ту же структуру, что и без модифицирования TiN. Основа структуры – половинчатый чугун с карбидной фазой в трооститной матрице. Сульфидные включения имеют компактную форму, сферичность которой частично нарушена из-за выделений скоплений частиц TiN (рис. 1, *a*). Твердость сплава достаточно велика – 515 НВ.

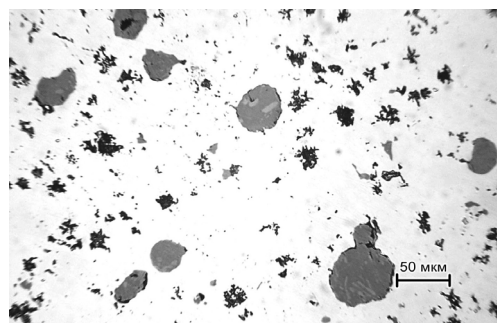
Структура закаленного сплава СЧCuS + TiN (рис. 2) претерпела значительную перестройку по отношению к литой. В результате высокого нагрева под закалку (900 °С) карбид распался с выделением хлопьевидного графита. Основной матрицы стал мартенсит с высокой твердостью (табл. 2). Включения графита расположены на небольших участках феррита. Твердость сплава 578 НВ. Одновременно с явными структурными изменениями происходит существенное изменение химического состава фаз.

Таблица 2. Микрхимический анализ фаз сплавов с TiN

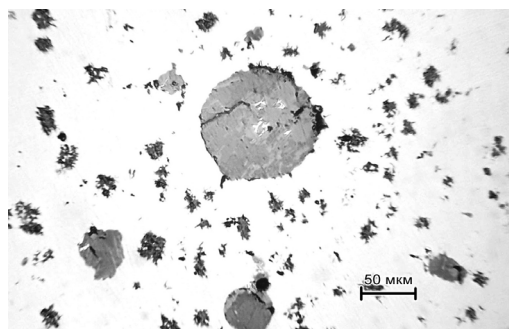
Элементы	Химический состав, массовая доля, %							
	сплав С4CuS + TiN							
	литой			закаленный			отожженный	
	карбид	матрица	сульфид	матрица белая	матрица серая	сульфид	матрица	сульфид
Al	0,00	0,00	1,57	0,00	0,00	0,97	0,00	0,12
Si	0,07	0,38	0,23	0,86	1,13	0,81	0,33	0,23
P	0,02	0,01	0,40	0,00	0,02	0,17	0,07	0,60
S	0,00	0,00	28,70	0,21	0,29	23,43	0,08	26,34
Ti	0,08	0,06	1,81	0,13	0,10	2,21	0,09	2,05
Cr	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Mn	0,00	0,00	4,90	0,03	0,00	1,73	0,09	3,05
Fe	99,18	91,92	16,13	94,63	92,86	27,00	95,58	14,50
Cu	0,15	7,55	46,15	4,07	5,59	43,70	3,73	51,93

Отжиг сплава С4CuS + TiN привел к полному распаду карбидной фазы и образованию значительного количества графита (рис. 3) довольно компактной формы, в то же время сульфидные включения сфероидальной формы несколько увеличились. Матрица сплава – перлит, твердость сплава – 250 НВ. Произошло также некоторое изменение состава сульфида, в нем увеличилась массовая доля меди. В табл. 3 приведены показатели микротвердости фаз сплавов трех структурных состояний, которые свидетельствуют о значительном их отличии в механических свойствах.

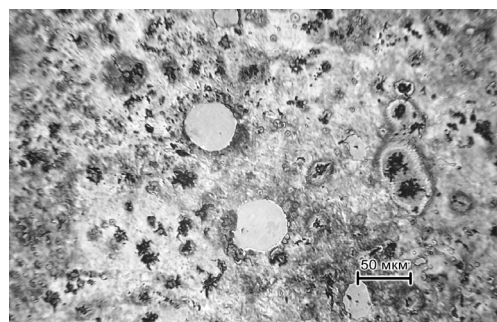
Данные по износу пар трения представлены на рис. 4. Сравнение износостойкости пар трения со сплавами в различном структурном состоянии показало, что



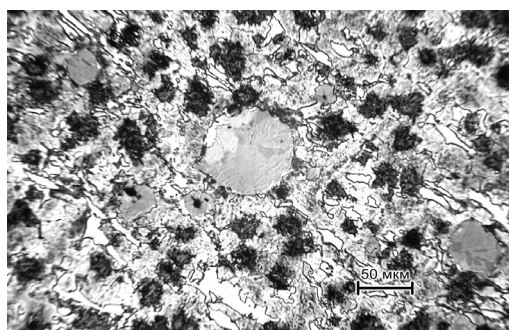
а



а



б



б

Рис. 2. Структура сплава С4CuS + TiN после закалки: а – нетравленная; б – травля

Рис. 3. Структура сплава С4CuS + TiN после отжига: а – нетравленная; б – травля

Таблица 3. Микротвердость фаз сплава С4CuS, легированного порошком TiN в различных структурных состояниях

Фаза	Микротвердость, кг/мм ²		
	литой	закаленный	отожженный
Матрица перлит	410 троостит	-	250 перлит
Матрица мартенсит	-	950 мартенсит	-
Карбид	836	-	-
Сульфид	235	360	225
Графито-феррит	-	~ 90	100

при всех нагрузках большей износостойкостью обладают пары, в контакте трения которых работают литые сплавы.

С увеличением нагрузки износостойкость пары трения со сплавом С4CuS + TiN в различных структурных состояниях уменьшается и стабилизируется, причем интенсивность изнашивания составляющих пару трения практически сравнивается. Однако, характерно то, что интенсивность изнашивания пары трения незначительно увеличивается от литого состояния к закаленному и отожженному. Для этой пары трения следует отметить благоприятное действие модифицирования TiN как фактора, положительно влияющего на структуру во всех состояниях.

Применение порошков нитрида титана для повышения износостойкости как антифрикционных сплавов, так и пары трения в целом, вполне целесообразно, в том числе и для трения в условиях больших нагрузок. Процессы нормального (минимального) изнашивания пары трения при отсутствии микрорезания поверхностей схватывания (микрохолодная сварка) полностью предопределяются процессами массопереноса на молекулярном и атомном уровнях.

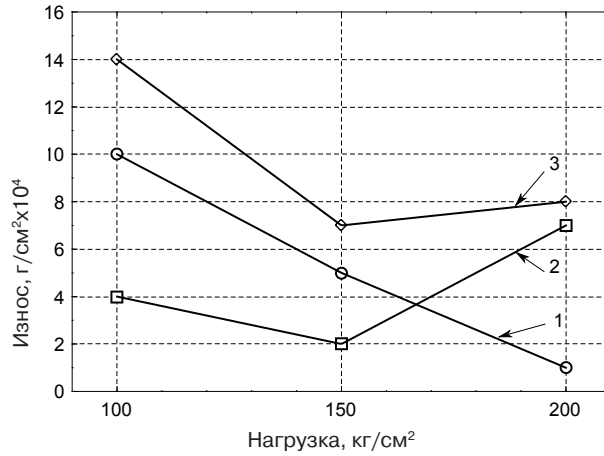
Изменению состава сплавов на поверхностях трения пар был определен массоперенос, который формировал структуру поверхностных слоев металла по разнице химического состава поверхностей трения до и после изнашивания. Результаты этих исследований представлены на рис. 5-7.

Для пары трения сплав С4CuS + TiN – Ст5_{зак} независимо от структурного строения сплавов в процессе массопереноса участвует вещество фаз, относящихся к сульфидам, а именно медь, сера и титан. Следует также отметить, что литой сплав в результате изнашивания увеличивает в деформированной трением поверхности количество меди и серы, в результате чего с увеличением нагрузки (рис. 4) интенсивность изнашивания сплава уменьшается до минимума.

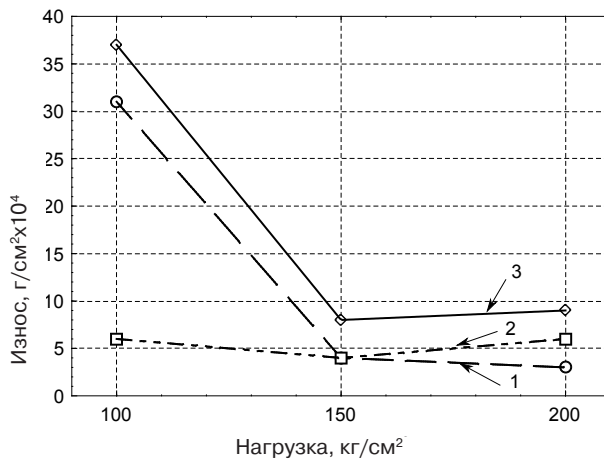
В то же время сплав С4CuS + TiN после закалки и отжига в результате внешнего трения теряет в поверхностном слое элементы меди и серы при некотором увеличении массовой доли титана.

При трении литых и закаленных сплавов на поверхности контртела из закаленной Ст5 относительное количество перенесенного вещества по сере составляет 0,12-0,14 %, а по меди – 0,18-0,19 % (в связи с тем, что толщина слоя перенесенного металла составляет в среднем не более 0,1 мкм). Это свидетельствует о том, что в качестве эффективного вещества, которое играет роль твердой смазки, выступает сульфид на основе меди и серы.

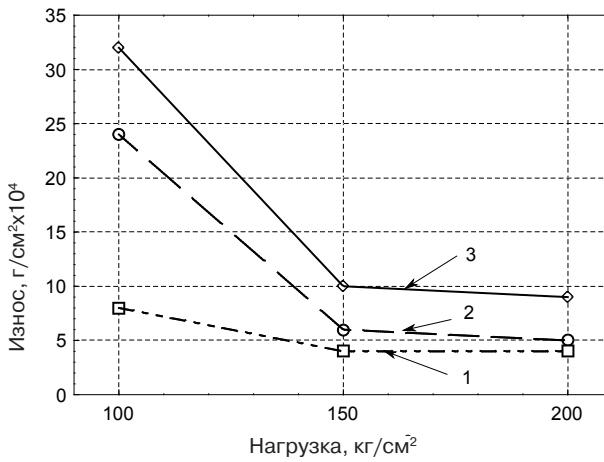
В структуре сплава после отжига в большом количестве выделился графит, вещество слоя, в основном, формируется на основе меди. Для уточнения этого вывода в дальнейшем следует получить сканограммы распределения основных элементов по поверхности трения, наличие в структуре закаленного и отожженного сплава С4CuS + TiN графита создает благоприятное условие для прирабатываемости пары трения



a



б



в

Рис. 4. Влияние нагрузки на износ пары трения ССuS+TiN – Ст5_{зак}: *a* – литой сплав, *б* – закаленный, *в* – отожженный; 1 – сплав, 2 – контртело, 3 – суммарный износ

Новые литые материалы

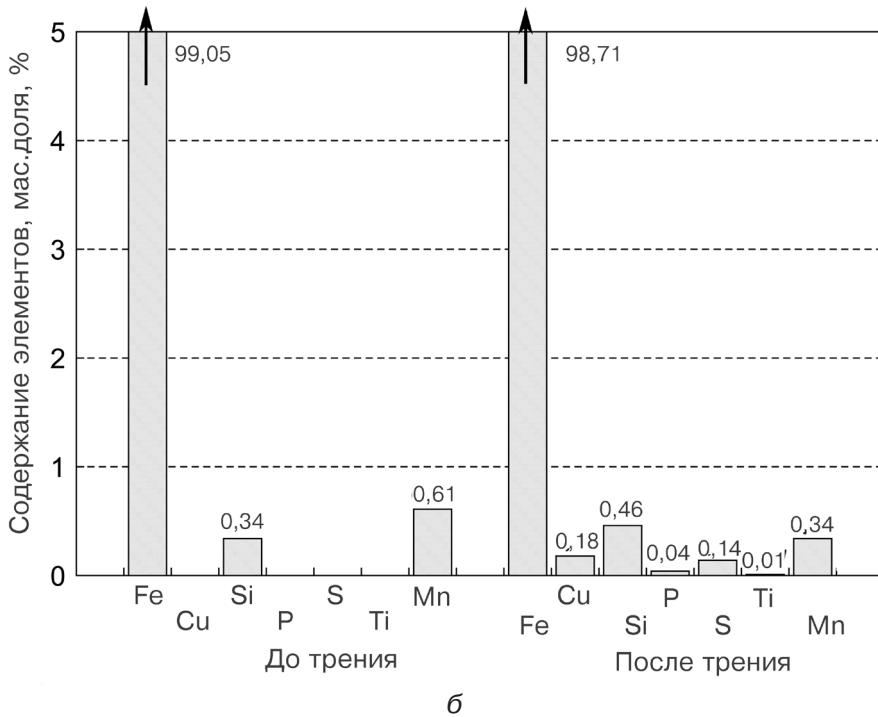
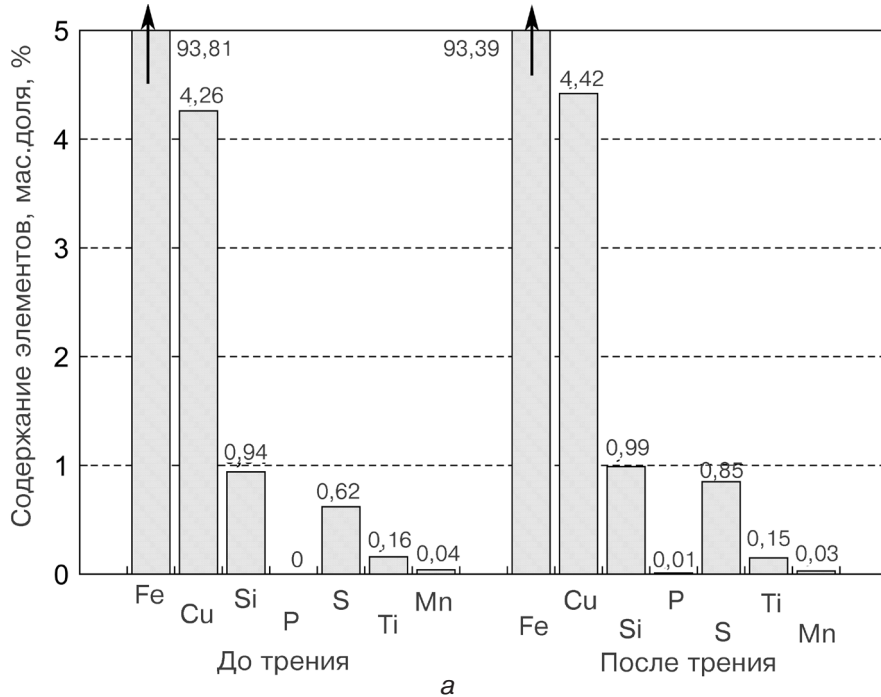
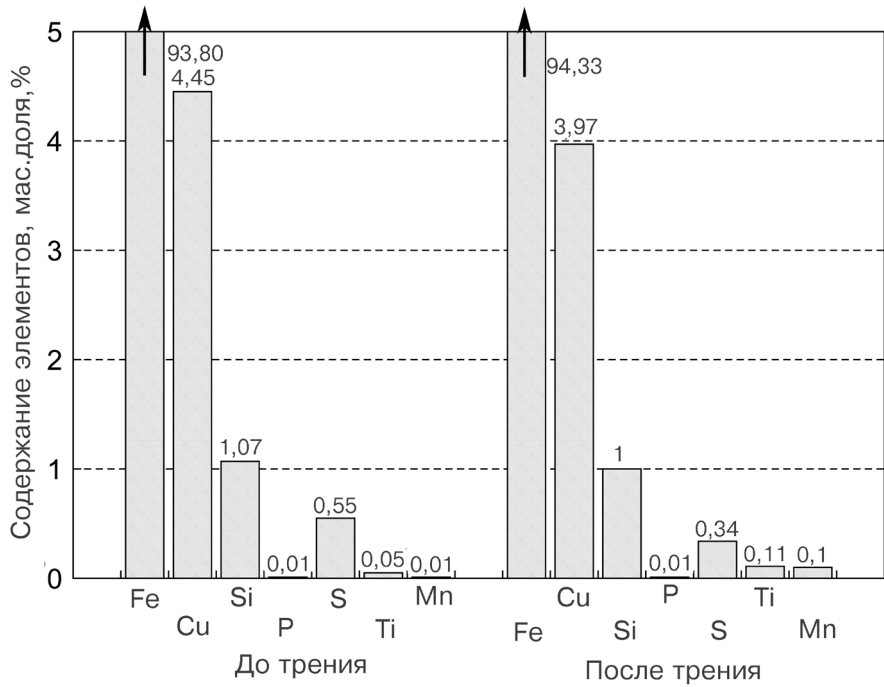


Рис. 5. Микрохимический анализ поверхностей трения при граничном трении до и после изнашивания при нагрузке 200 кг/см^2 : а – сплав С4CuS + TiN литой; б – контртело Ст5_{зак}

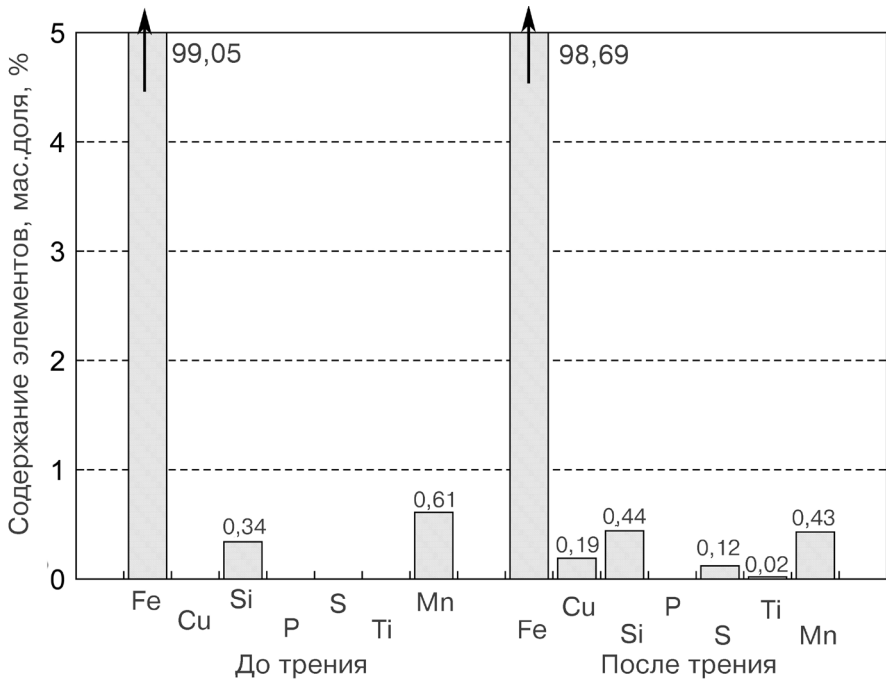
в условиях высоких нагрузок – $150\text{-}200 \text{ кг/см}^2$, что также способствует повышению износостойкости контртела и пары трения в целом.

Таким образом, следует отметить следующее: данные влияния нагрузки на интенсивность изнашивания сплавов типа С4CuS, модифицированных микропорошками TiN, зависят от исходного структурного и микрохимического состояний.

Новые литые материалы



а



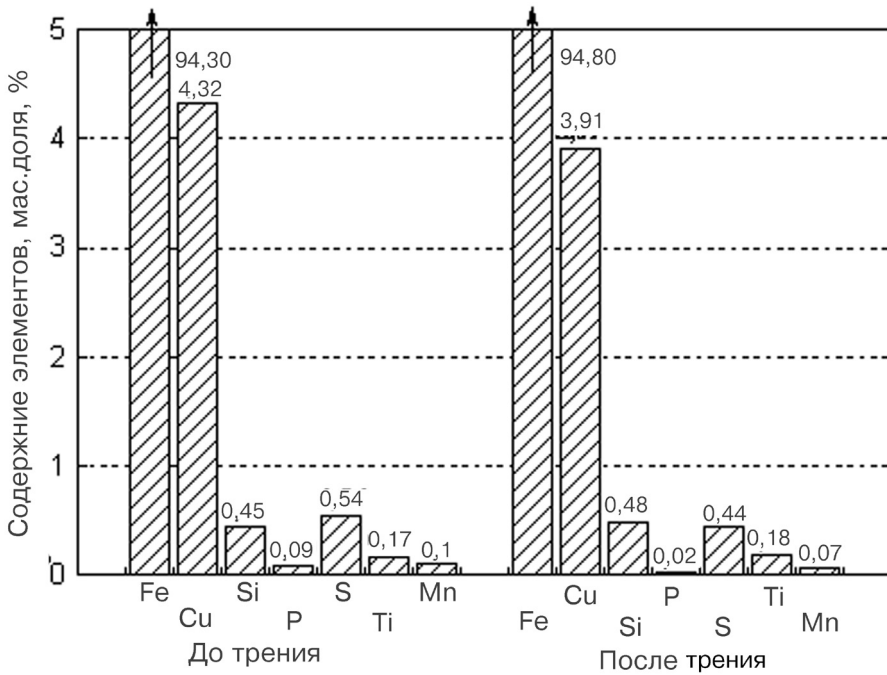
б

Рис. 6. Микрохимический анализ поверхностей трения при граничном трении до и после изнашивания при нагрузке 200 кг/см²: а – сплав С4СuS + TiN после закалки; б – контротело Ст5_{зак}

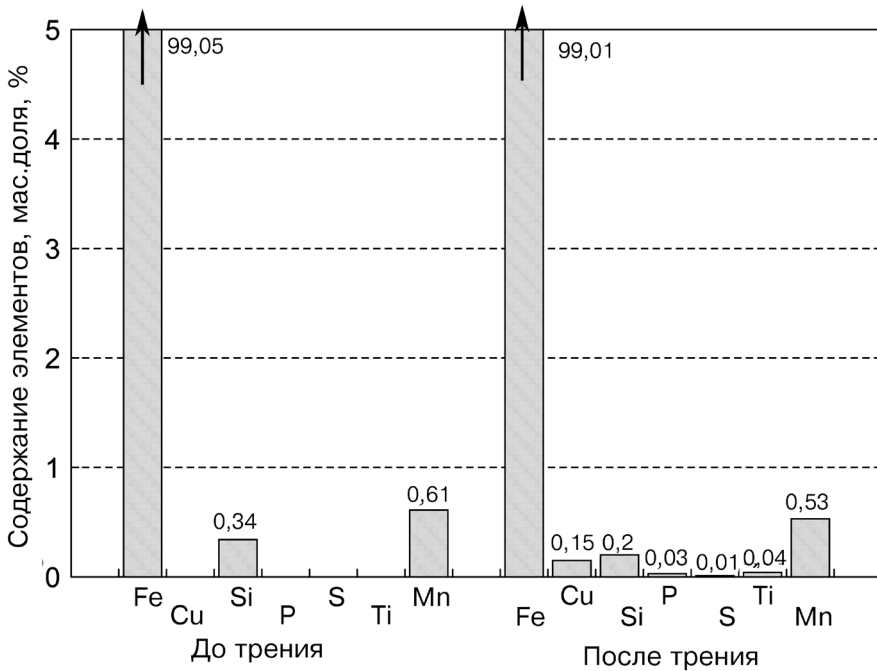
Литой сплав С4СuS + TiN обладает максимально возможной износостойкостью во всем диапазоне нагрузок.

Такой же высокой износостойкостью обладает и сплав С4СuS + TiN после отжига и закалки, причем последний при больших нагрузках обеспечивает минимальный износ контротела и пары трения. Это объясняется тем, что термическая обработка

ISSN 0235-5884. Процессы литья. 2012 № 1 (91)



а



б

Рис. 7. Микрохимический анализ поверхностей трения при граничном трении до и после изнашивания при нагрузке 200 кг/см²: а – сплав С4CuS + TiN после отжига; б – контролено Ст5_{зак}

вызывает распад цементита структуры и выделение графита розеточной формы.

Высокая износостойкость сплавов С4CuS + TiN и пар трения полностью определяется наличием на поверхности трения наноструктурного слоя, состоящего из фрагментов (молекул) сульфида на основе меди и титана, а также графита.



Список литературы

1. Модифицирование металла нанопорошковыми инокуляторами в кристаллизаторе сортовой машины непрерывного литья заготовок / В. П. Кожушков, А. Н. Черепанов, Е. В. Протопопов и др. // Изв. вузов. Чер. металлургия. – 2008. – № 8. – С. 10-11.
2. Крушенко Г. Г., Ямских И. С., Бочонков А. А., Мишин А. С. Повышение качества чугунных отливок с помощью нанопорошков // Металлургия машиностроения. – 2002. – №2 (9). – С. 26 – 27.
3. Модифицирование высокохромистого чугуна ИСЧ ультра дисперсным порошком / В. Ф. Пинкин, Г. Г. Крушенко, А. Г. Каренгин и др. // Литейн. пр-во. – 1994. – № 3. – С. 7.

Поступила 15.11.2011

УДК 669.296:620.193.22

**Н. П. Бродниковский, И. В. Орышич, Т. Л. Кузнецова,
Н. Е. Порядченко, Ю. Е. Зубец**

Институт проблем материаловедения им. И. Н. Францевича НАН Украины, Киев

ВЛИЯНИЕ МАЛЫХ ДОБАВОК ХРОМА, ЖЕЛЕЗА И НИОБИЯ НА ЖАРСТОЙКОСТЬ ЦИРКОНИЙ-АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА

Исследована жаростойкость литого сплава Zr-8Al без дополнительного легирования, а также легированного небольшими добавками хрома, железа и ниобия (~ 1 %) при температурах 500, 600, 700 °С и выдержке до 50 ч. Показано, что все сплавы в литом состоянии в процессе окисления при температурах 500-600 °С имели очень низкий уровень жаростойкости (100-150 мг/см²). Длительный высокотемпературный отжиг (750 °С, до 15 ч) обеспечивает высокий уровень жаростойкости всех сплавов, а легирование сплава Zr-8Al указанными малыми добавками практически не ухудшает их жаростойкость.

Ключевые слова: жаростойкость, хром, железо, ниобий, легирование.

Досліджено жаростійкість литого сплаву Zr-8Al без додаткового легування, а також легуваного невеликими добавками хрому, заліза та ніобію (~ 1 %) при температурах 500, 600, 700 °С та витримці до 50 ч. Показано, що всі сплави в литому стані у процесі окиснення при температурах 500-600 °С мали дуже низький рівень жаростійкості (100-150 мг/см²). Тривалий високотемпературний відпал (750 °С, до 15 ч) забезпечує високий рівень жаростійкості всіх сплавів, а легування сплаву Zr-8Al зазначеними малими добавками практично не погіршує їх жаростійкість.

Ключові слова: жаростійкість, хром, залізо, ніобій, легування.

Investigated the heat-resistance Zr-8Al cast alloy without additional alloying and alloyed with small additions of Cr, Fe, Nb (~ 1 %) at temperatures of 500, 600 and 700 °C, 50 h. It is shown that all the cast alloys had a very low level of heat resistance (100-150 mg/cm²) during the oxidation of 500-