

**ОПИСАНИЕ  
ИЗОБРЕТЕНИЯ  
К ПАТЕНТУ**  
(12)

РЕСПУБЛИКА БЕЛАРУСЬ (19) **ВУ** (11) **6031**



(13) **С1**

(51)<sup>7</sup> **С 22С 33/02**

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ЦЕНТР  
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ  
СОБСТВЕННОСТИ

(54)

**КОМПОЗИЦИОННЫЙ МАТЕРИАЛ**

(21) Номер заявки: а 19991039

(22) 1999.11.23

(46) 2004.03.30

(71) Заявитель: Белорусский националь-  
ный технический университет (ВУ)

(72) Авторы: Калиниченко Александр Сер-  
геевич (ВУ); Кезик Виталий Яковле-  
вич (UA)

(73) Патентообладатель: Белорусский на-  
циональный технический университет  
(ВУ)

(57)

Композиционный материал на основе литых чугунных гранул, содержащий медь, **отличающийся** тем, что он дополнительно содержит легирующие элементы кремний и железо при следующем соотношении компонентов, мас. %:

медь	30-50
кремний	1,5-3,0
железо	0,3-0,6
чугунные гранулы	остальное,

причем кремний и железо находятся в массовом соотношении 5:1.

(56)

SU 905309, 1982.

SU 1759934 A1, 1992.

SU 912767, 1982.

RU 97119774 A, 1999.

RU 2055933 C1, 1996.

EP 0312161 A1, 1989.

Предлагаемое изобретение относится к области металлургии, в частности к составам композиционных материалов, получаемых методами жидкофазного совмещения компонентов (литьем и пропиткой), которые могут быть использованы при изготовлении деталей пар трения энергетического оборудования, работающего в условиях нормальных и повышенных температур, низких скоростей и высоких давлений трения.

Литые чугунные гранулы (чугунная дробь) марок ДЧЛ и ДЧЛУ широко распространены, их производство налажено и может полностью удовлетворить потребность в армирующих элементах для синтеза большого числа антифрикционных композитов, т.к. эти гранулы обладают прочностью при одноосевом сжатию до 6500 МПа, твердостью 42-63 HRC<sub>3</sub>, удовлетворительным коэффициентом трения и износостойкостью. Но отсутствие достаточного количества составов матриц ограничивает применение композитов на основе литой чугунной дроби. В состоянии поставки гранулы имеют преимущественно структуру белого или отбеленного чугуна вследствие закалки из жидкого состояния при распылении. В процессе формирования композитов эту структуру стараются сохранить, что определяет наряду с обязательным условием смачивания дроби расплавом использования матриц на

# ВУ 6031 С1

основе серебряно-медных или медно-цинковых сплавов с температурами плавления не более 930 °С. В первом приближении можно принять свойства композита как результат пропорционального сложения свойств его армирующих элементов и матрицы. Тогда требования по сохранению структуры белого (отбеленного) чугуна в армирующих элементах не является строго обязательным для достижения лучших антифрикционных свойств композита. Появляется возможность расширения области применяемых матриц за счет использования сплавов с более высокими температурами плавления и смачивающими чугун - сплавов меди типа бронз. Однако большинство таких сплавов и частая медь имеют провал прочности и пластичности при повышенных температурах в интервале 180-600 °С, что при значительных нагрузках и малых скоростях трения вызывает быструю деградацию композиционного материала.

Известен композиционный материал [1], состоящий (в мас. %) из: меди - 18,0-28,5, цинка - 10,8-20,00, никеля - 0,03-0,1, индия - 1,00-1,25, титана - 0,03-0,15, чугуна - остальное. В условиях безокислительного трения имеет более высокую износостойкость в парах трения со сталями. Однако в условиях трения на воздухе при повышенных 150-500 °С температурах и низких скоростях скольжения до 0,4 м/с вследствие одновременной потери прочности и пластичности матрицы он быстро деградирует, что приводит к преждевременному выходу из строя узла трения.

Известен композиционный материал [2] - прототип, состава (в % по массе): 3,5-8 - медь, 5,95-8,2 - цинк, 5,66-14,35 - кадмий, 7,2-19,4 - серебро, 0,05-0,11 - никель, чугун - остальное.

В ходе формирования композита при заливке гранул чугуна медью происходит контактно-диффузионное насыщение расплава матрицы кремнием, марганцем, железом из гранул чугуна. С одной стороны, это способствует улучшению свойств композита за счет улучшения свойств матрицы, но с другой, - такого насыщения матрицы недостаточно; ее структура неоднородна. При насыщении матрицы обедняется состав чугуна. Такие гранулы имеют низкую твердость и износостойкость. В результате повышение эксплуатационных свойств в условиях повышенных температур оказывается недостаточным и такой композит имеет высокий коэффициент трения (более 0,35) и может использоваться при нагрузках не более 14-16 МПа. Кроме того, в качестве ответной пары применяется титан ВТ-14. Существенным недостатком материала является наличие драгметаллов (серебро) и токсичных металлов (кадмий).

Задачей, решаемой изобретением, является разработка состава композиционного материала работоспособного в условиях трения с низкими скоростями в широком интервале нагрузок и температур.

Поставленная задача достигается тем, что композиционный материал на основе литых чугуновых гранул, содержащий медь, дополнительно содержит легирующие элементы кремний и железо при следующем соотношении компонентов, мас. %: медь - 30-50, кремний - 1,5-3,0, железо - 0,3-0,6, чугуновые гранулы - остальное, причем кремний и железо находятся в массовом соотношении 5:1.

В условиях растекания и смачивания жидкой фазы по твердой в относительно малых зазорах, т.е. в условиях формирования композиционной структуры методом жидкофазного совмещения компонентов, наблюдается отсутствие равновесия по концентрациям элементов в твердой и жидкой фазах. На кинетической стадии (момент растекания) основное влияние оказывает растворимость атомов твердой фазы в жидкой и, чем она ниже, тем быстрее достигается равновесная концентрация со стороны твердой фазы. На этой стадии диффузионные зоны имеют максимум, величина которого, в твердой фазе, возрастает с уменьшением ее растворимости. В малом зазоре поток направлен в твердую фазу, что обусловлено вкладом самого диффузионного потока атомов расплава в твердую фазу и ограниченной толщиной слоя расплава. Это приводит к формированию в твердой фазе широкой диффузионной зоны. Суммарное время взаимодействия составляет 5-10 с.

Таким образом, для предотвращения неконтролируемого перехода элементов из чугуновых гранул в расплав меди последний должен быть насыщен основными элементами - кремнием и железом. В свою очередь, легирование меди кремнием обеспечивает получение

# ВУ 6031 С1

сплава с высокими механическими, пружинящими, антифрикционными и антикоррозионными свойствами. А введение железа упрочняет медно-кремниевый сплав, измельчает литую структуру, повышает порог рекристаллизации и устраняет или существенно уменьшает провал пластичности при повышении температуры. Избыточная концентрация кремния в расплаве матрицы по отношению к таковому в чугуновых гранулах и расширение зоны диффузии вследствие смещения границы раздела обеспечивают диффузию кремния в чугун. Повышение содержания кремния в чугунной дробе по сравнению с исходным способствует повышению его жаростойкости. Являясь графитизатором, кремний инициирует выделение углерода в виде отдельных графитных включений, которые повышают антифрикционные свойства гранул. Медь также диффундирует в гранулы чугуна, чем оказывает благотворное влияние на процесс распада аустенита. Совместное насыщение чугуновых гранул кремнием и медью оказывает действие подобное инокулирующему модифицированию и облагораживает структуру литой дроби в композите.

К сожалению, точное аналитическое решение нестационарной диффузионной задачи на движущейся границе для капиллярного зазора вызывает непреодолимые математические трудности. Поэтому при выборе концентрации компонентов основу составили экспериментальные данные по эксплуатационным свойствам данного композиционного материала при трении. Примеры конкретного выполнения приведены в таблице.

Вместе с тем известно, что системы медь-кремний и медь-кремний-железо относятся к системам третьего типа, классифицируемым по составу - жаропрочности [3] и для этих сплавов максимум жаропрочности лежит в области насыщения твердого раствора: 2,8-3,0 % по массе кремния 0,6-1,2 % по массе железа. Удовлетворительные механические свойства матрицы формируются при содержании кремния 3,5-5,5 % по массе. Из диаграммы состояния Cu-Fe-Si следует, что отклонение от соотношения кремний-железо 10:2,2 - 4:0,8 происходит образование новых фаз, находящихся в равновесии с твердым раствором на основе меди. Подобное изменение исходного фазового состава может изменить условия формирования композита. Для устранения подобного явления задается соотношение кремния к железу 5:1.

Основу заявляемого композиционного материала составляют литые чугуновые гранулы, определяющие несущую способность материала. Поэтому уменьшение содержания армирующих элементов менее указанного предела приводит к разупрочнению композита, падению его несущей способности и износостойкости. А увеличение содержания чугуновых гранул выше указанного предела вызывает увеличение коэффициента трения и неравномерный износ композита, т.к. ухудшаются условия перераспределения нагрузки через матрицу. Кроме того, уменьшение количества последней не обеспечивает образование экранирующих пленок на поверхности трения.

Поэтому, с учетом диффузионного перераспределения элементов матрицы и армирующей фазы в ходе формирования композиционного материала, установлен приведенный выше состав, который был проверен и уточнен в ходе испытаний образцов и экспериментальной эксплуатации в узлах турбины Т-250/240 Минской ТЭЦ-4 (станционный № 6).

Чугуновые гранулы (литая дробь) ДЧЛ состава, мас. %: углерод - 2,9-3,5, кремний - 1,2-2,0; марганец - 0,4-0,5, и диаметром 0,5-2,5 мм загружались в литейную форму и прогревались до 1000 °С. Матричный сплав был приготовлен сплавлением исходных компонентов в графитовом тигле и перегрет до температуры 1200 °С. После этого производилась заливка матрицы в форму с гранулами, в которой расплав оставался жидким в течение 3-5 мин. После охлаждения на воздухе форму разбирали и отливка из композиционного материала механически обрабатывалась для придания требуемых размеров и образования поверхности трения, состоящей из площадок чугуна и сплава матрицы. Образцы композиционного материала испытывались на трение по схеме "диск-стержень" при торцевом трении на машине МТП-24 в паре со стальным диском из Ст 45 твердостью 38HRC<sub>3</sub>. Результаты испытаний при температуре 350 °С приведены в таблице по данным опытов с точностью совпадения 96 %.

# ВУ 6031 С1

Ком- позит, №	Содержание компонентов, массовые %%				Скорость скольже- ния, м/с	Давле- ние, МПа	Износ мкм/км	Коэф- фициент трения
	медь	кремний	железо	чугун				
1	23	3,2	0,45	осталь- ное	0,02	8	39	0,24
						16	49	0,30
						24	65	0,22
2	30	1,5	0,3	осталь- ное	0,02	8	12	0,18
						16	10	0,16
						24	14	0,14
3	40	2,25	0,45	осталь- ное	0,02	8	8	0,12
						16	6	0,12
						24	9	0,10
4	50	3,0	0,6	осталь- ное	0,02	8	4,2	0,12
						16	3,0	0,11
						24	4,1	0,09
5	51	3,2	0,65	осталь- ное	0,02	8	29	0,21
						16	35	0,24
						24	41	0,19
2	30	1,5	0,3	осталь- ное	0,04	8	9	0,16
						16	10	0,14
						24	12	0,10
3	40	2,25	0,45	осталь- ное	0,04	8	12	0,14
						16	14	0,10
						24	16	0,10
4	50	3,0	0,6	осталь- ное	0,04	8	5,6	0,10
						16	4,1	0,09
						24	6,2	0,09
Прото- тип	8,0	(Zn-8,2; Ni-0,11)	(Cd-14,35; Ag-19,4)	осталь- ное	0,02	16	320	0,28
Прото- тип	5,95	(Zn-4,95; Ni-0,11)	(Cd-8,98; Ag-14,01)	осталь- ное	0,04	16	430	0,39
Прото- тип	3,48	(Zn-5,95; Ni-0,05)	(Cd-5,66; Ag-7,2)	осталь- ное	0,04	16	Задирь	0,36

Из результатов испытаний следует, что предлагаемый состав композиционного материала по сравнению с прототипом обладает следующими преимуществами:

при целенаправленном насыщении армирующих гранул формируется более совершенная структура, которая обеспечивает более низкий износ и более низкий коэффициент трения;

более высокая работоспособность при высоких нагрузках, низких скоростях скольжения и повышенных температурах эксплуатации;

эксплуатационные характеристики соответствуют лучшим антифрикционным материалам.

Источники информации:

1. А.с. СССР 1383820, МПК С 22С 37/00, 1991.
2. А.с. СССР 905309, МПК С 22С 37/00; С 22С 33/00; F 16С 33/12, 1982.
3. Захаров М.В., Захаров А.М. Жаропрочные сплавы. - М.: Металлургия, 1972. - С. 156-213.