

**ОПИСАНИЕ  
ИЗОБРЕТЕНИЯ  
К ПАТЕНТУ**  
(12)

РЕСПУБЛИКА БЕЛАРУСЬ



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ЦЕНТР  
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ  
СОБСТВЕННОСТИ

(19) **ВУ** (11) **6249**

(13) **С1**

(51)<sup>7</sup> **С 22С 9/05,  
F 16С 33/12**

(54) **КОМПОЗИЦИОННЫЙ МАТЕРИАЛ ДЛЯ ОПОР СКОЛЬЖЕНИЯ**

(21) Номер заявки: а 20000351

(22) 2000.04.13

(46) 2004.06.30

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

(72) Авторы: Калиниченко Александр Сер-  
геевич (ВУ); Кезик Виталий Яковлевич  
(UA); Воронин Евгений Анатольевич);  
Лютич Сергей Юрьевич (ВУ)

(73) Патентообладатель: Белорусский нацио-  
нальный технический университет (ВУ)

(57)

Композиционный материал для опор скольжения, содержащий матрицу из меди, марганца, кремния и титана, **отличающийся** тем, что он дополнительно содержит чугунные гранулы при следующем соотношении компонентов, мас. %:

медь	30,8-46,5
марганец	7,1-9,3
кремний	2,1-3,1
титан	0,04-0,06.
чугунные гранулы	остальное,

при этом массовое соотношение меди, марганца и кремния составляет 15:2,95:1,05.

(56)

JP 60114545 A, 1985.

RU 94038081 A1, 1997.

RU 2017848 C1, 1994.

SU 1730857 A1, 1996.

Изобретение относится к области машиностроения и может быть использовано при изготовлении деталей узлов трения, работающих в экстремальных условиях.

Проблема обеспечения работоспособности узлов трения в экстремальных условиях (сухое и граничное трение, высокие контактные давления, высокие положительные и низкие отрицательные температуры, ударные и вибрационные нагрузки и т.д.) для своего решения требует создания новых материалов со специфическими трибосвойствами.

Известен трибокомпозиционный материал [1], состоящий (в мас. %) из: меди - 18,6-28,5, цинка - 10,8-20,0, индия - 1,00-1,25, никеля - 0,03-0,1, титана - 0,03-0,15, чугуна - остальное. В условиях безокислительного трения данный материал обладает высокой износостойкостью. Но при трении на воздухе, с низкими скоростями до 0,04 м/с и температурах более 150 °С, вследствие потери прочности и пластичности матрицы, он быстро деградирует, что вызывает преждевременный выход из строя узла трения.

Известен износостойкий композит с матрицей на основе бронзы, армированный шаровидными или игольчатыми частицами силицида железа [2] состава (в мас. %): алюминий -

# ВУ 6249 С1

5-10, силицид железа - 2-10, бериллий - до 0,5, железо - до 5, никель - до 5. Однако в указанных пределах компонентов при повышенных температурах (более 200 °С) матрица разупрочняется и, в зависимости от состава, может терять пластичность. При контактных давлениях более 2,0 МПа, температуре 300 °С и скорости скольжения 0,02 м/с износ данного материала составляет более 2 мм/км. Таким образом, по износостойкости этот композит относится к 6 классу, чего явно недостаточно для любой опоры скольжения.

Известен износостойкий материал с матрицей на основе сложного медно-цинкового твердого раствора (латуни), армированной силицидами марганца ( $Mn_5Si_3$ ) и железа ( $Fe_3Si$ ) [3] - прототип. Для получения данного материала в сплав состава (в мас. %): цинк - 15-40, алюминий - 2-8, марганец - 0,5-5, никель - 0,5-5, олово - 0,1-2, железо - 0,5-5, кремний - 1-5, хром - 0,01-1, 0, титан - 0,1-0,5, медь - остальное, при плавлении вводят тройную лигатуру железо-марганец-кремний в количестве 1-15 % по массе при соотношении железо: кремний, равном 0,3-1,4, и марганец: кремний = 0,3-1,4. После чего сплав закристаллизовывают со скоростью 50-2000 °С/мин.

В нормальных условиях эксплуатации этот материал обладает удовлетворительными трибосвойствами. Но с повышением температуры его свойства резко ухудшаются. Это является следствием относительно низкой концентрации упрочняющих элементов (силицидов) и понижения прочности твердых растворов основы матрицы. Пересыщенные  $\alpha$ - и  $\beta$ -твердые медно-цинковые растворы, которые образуются в результате ускоренной кристаллизации, при последующих нагревах до 200 и более °С, претерпевают распад с выделением новых фаз, соответствующих более стабильному состоянию такой системы. Кроме того, при эксплуатации в условиях высоких температур наблюдается испарение цинка. Таким образом, при трении в экстремальных условиях происходит изменение химического, структурного и фазового состава материала, что недопустимо, поскольку влечет за собой неконтролируемое и непрогнозируемое изменение трибосвойств. Это выражается в снижении износостойкости с 8-9 классов в обычных условиях до 5-го класса при повышении температуры свыше 250 °С, что делает неприемлемым применение данного материала. Нормальным является наличие у опор скольжения 6-9 классов износостойкости.

Задачей настоящего изобретения является разработка состава материала, обеспечивающего работоспособность узлов трения в экстремальных условиях, в частности, при работе без смазки в условиях высоких температур и больших значений  $p \cdot V$  ( $p$  - давление,  $V$  - скорость скольжения).

Поставленная задача достигается тем, что композиционный материал для опор скольжения, содержащий матрицу из меди, марганца, кремния и титана, дополнительно содержит чугунные гранулы при следующем соотношении компонентов, в мас. %:

медь - 30,8-46,5

марганец - 7,1-9,3

кремний - 2,1-3,1

титан - 0,04-0,06

чугунные гранулы - остальное,

при этом массовое соотношение меди, марганца и кремния составляет 15:2,95:1,05.

Высокие триботехнические свойства эвтектических материалов определяются термостабильностью структуры, рассеивающей поступающую извне энергию тепловыми полями, а их долговечность - малой избыточной энергией межфазных границ и собственно температурным порогом существования.

Поэтому в данном композите установлен состав и соотношение компонентов, обеспечивающее формирование эвтектической матрицы с областью существования до 800 °С и максимальной жаропрочностью твердого раствора, являющегося одной из фаз эвтектики [4, 5].

В условиях формирования предлагаемого композиционного материала методом жидкофазного совмещения, при высокой концентрации химических элементов, способных к

# ВУ 6249 С1

образованию химических соединений, неизбежно образование интерметаллида и его развитие в сторону твердой фазы, подавляющей эрозию последней. Это было использовано для армирования материала силицидом железа, который образуется на поверхности чугунных гранул при взаимодействии с расплавом матрицы.

Выбор железоуглеродистых гранул обеспечивает также наиболее равномерное распределение силицида железа в объеме композита без каких-либо дополнительных технологических приемов. Одновременно достаточно хрупкий силицид железа, находясь между матрицей и гранулами с большими, чем у него коэффициентами линейного расширения, испытывает напряжение сжатия - наиболее благоприятный вид силового воздействия на хрупкий материал, препятствующий преждевременному разрушению и выкрашиванию силицида железа в процессе трения.

Из большого числа железоуглеродистых гранул чугунные - являются самыми распространенными, доступными и дешевыми. Чугуны, в том числе и гранулы, в наибольшей степени позволяют изменить свой фазовый состав и структуру в ходе термической, химической и химико-термической обработки в твердом состоянии. Среди прочих черных металлов чугуны обладают лучшим сочетанием триботехнических и демпфирующих свойств, коррозионной и термической стойкостью.

Поэтому чугунные гранулы были выбраны как один из компонентов предлагаемого композита. Их количество (41,04-59,9) в материале установлено из необходимости обеспечить его работоспособность и, с другой стороны, максимально уменьшить содержание медного сплава, чтобы уменьшить стоимость композита. Снижение концентрации чугунных гранул менее указанного предела приводит к разупрочнению композита, уменьшению его несущей способности, увеличению износа. Повышение содержания чугунных гранул более установленного предела также ухудшает условия трения за счет уменьшения экранирующих пленок матрицы, ухудшения условий перераспределения нагрузок через матрицу и ухудшения условия теплоотвода от поверхности трения, что выражается в неравномерности износа по поверхности и увеличении коэффициента трения.

Титан в состав матрицы введен как модификатор и элемент, повышающий теплостойкость медных сплавов. Его количество установлено на основании известных рекомендаций.

В соответствии с предлагаемым составом были изготовлены образцы композита и материала-прототипа для проведения сравнительных испытаний.

Литая чугунная сферическая дробь (ДЧЛУ) состава (в % по массе): 3,1-3,5 углерода, 1,6-1,9 кремния, 0,4-0,5 марганца, диаметром 0,5-1,63 мм загружалась в литейную форму, засыпалась порошком борного ангидрида и прогревалась до 750-780 °С.

Сплав матрицы готовился в графитовом тигле, в печи электросопротивления СШОЛ-1,5 при температуре 900 °С путем последовательного растворения компонентов в расплаве медно-марганцевой лигатуры 60:40, под слоем борного ангидрида.

После расплавления всех компонентов и перемешивания расплав матрицы заливался в форму и инфильтровывался в объем дроби. Форма охлаждалась на воздухе, разбиралась и заготовка композита извлекалась для дальнейшей механической обработки.

Материал-прототип был изготовлен в соответствии с описанием. Состав (в мас. %): цинк - 25, алюминий - 6, марганец - 2,2, никель - 2,25, олово - 0,9, железо - 2,4, кремний - 3, хром - 0,4, титан - 0,25, медь - остальное. В расплав было введено 10 % лигатуры железо - марганец-кремний состава (в % по массе): 65 железа, 25 марганца, 10 кремния. Это давало соотношение железо: кремний - 6,5; марганец: кремний - 2,5 и находилось в установленных пределах. Сплав был залит в водоохлаждаемую изложницу, что обеспечило скорость кристаллизации 215 °С/мин.

Количественный металлографический анализ образцов предлагаемого композита и материала-прототипа, проведенный на микроскопе "Эпиквант 16", показал, что в плоскости шлифа (исходное состояние поверхности трения) материала-прототипа содержится от 3 до 5 % силицида марганца и от 2 до 4 % силицида железа, от 28 до 34 %  $\alpha$ -твердого рас-

# ВУ 6249 С1

творя на основе меди, до 2,5 %  $\gamma$ -фазы системы медь-олово-кремний и остальное - зерна  $\beta$ -твердого раствора на основе меди.

В плоскости шлифов предлагаемых композитов содержится 40-51 % гранул чугуна, 10-12 % силицида марганца, 8-11 % силицида железа, остальное -  $\alpha$ -твердый раствор на основе меди.

Трибоиспытания образцов были проведены при сухом трении, по схеме "диск-стержень" в интервале температур 100-650 °С, с постоянной скоростью скольжения 0,4 м/с и нагрузках 4,8; 16; 24 МПа в паре с диском из сплава ХН60ВТ твердостью 45 HRC<sub>2</sub>. Результаты испытаний по данным пяти опытов с точностью 95 % для высоких температур при средней (8 МПа) и высокой (24 МПа) нагрузках, как наиболее показательные, приведены в таблице.

Таблица

Композит №	Состав, в % по массе					Давление, МПа	Температура, °С	Износ, мкм/км	Коэффициент трения
	медь	марганец	кремний	титан	чугун				
1	29,0	5,8	1,9	0,03	63,27	8	400	32	0,22
							500	35	0,19
							650	30	0,20
						24	400	41	0,18
							500	44	0,16
							650	37	0,24
2	30,8	7,1	2,1	0,04	59,96	8	400	14	0,15
							500	14	0,15
							650	10	0,12
						24	400	12	0,12
							500	10	0,12
							650	9	0,13
3	38,5	7,7	2,6	0,05	51,15	8	400	12	0,12
							500	10	0,12
							650	10	0,12
						24	400	11	0,12
							500	12	0,12
							650	12	0,12
4	46,5	9,3	3,1	0,06	41,04	8	400	15	0,10
							500	14	0,09
							650	15	0,09
						24	400	18	0,10
							500	19	0,10
							650	19	0,10
5	48,0	9,6	3,2	0,07	39,13	8	400	54	0,19
							500	75	0,14
							650	59	0,17
						24	400	103	0,20
							500	114	0,16
							650	210	0,08
Прототип	25Zn, 6Al, 2,2Mn, 2,25Ni, 0,9Sn, 2,4Fe, 3,0Si, 0,4Cr, 0,25Ti, Cu-остальное + 10 %, Fe-Mn-Si, Fe/Si = 6,5; Mn/Si = 2,5; T <sub>охл</sub> = 215 °С/мин					8	200	2320	0,09
							400	8500	0,09
						24	200	Разрушение пары	
							400	Разрушение пары	

# ВУ 6249 С1

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

- имеет более совершенную и стабильную структуру;
- более прост в изготовлении и содержит значительно меньше дорогостоящих материалов;
- работоспособен в экстремальных условиях при температурах до 650 °С и  $p \cdot V$  до 9,6 МПа·м/с;
- по износостойкости в интервале температур 400-650 °С соответствует 8 классу;
- имеет характеристики лучших антифрикционных материалов.

Источники информации:

1. А.с. СССР 1383820, МКИ С 22С 37/00, опубл. 1991.
2. Заявка Японии 55-22543, МКИ С 22С 9/01, F 16С 33/12, опубл. 1980.
3. Заявка Японии 60-114545, МКИ С 22С 9/04, опубл. 1985.
4. Двойные и многокомпонентные сплавы на основе меди: Справочник/Под ред. Н.Х. Абрикосова. - М.: Наука, 1979. - с. 152.
5. М.В. Захаров, А.М. Захаров. Жаропрочные сплавы. - М.: Металлургия, 1972. - с. 70-90, 196-205.