УДК 621.7.014

А. Г. КОСТОРНОВ, О. И. ФУЩИЧ, Т. М. ЧЕВЫЧЕЛОВА,
В. Т. ВАРЧЕНКО, А. Д. КОСТЕНКО, В. Ф. ГОРБАНЬ, М. В.КАРПЕЦЬ

Институт проблем материаловедения НАН Украины

ТРИБОТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ТИТАНОВОГО СПЛАВА Ti+10Mo

Сообщение 1

А. Г. КОСТОРНОВ, О. И. ФУЩИЧ, Т. М. ЧЕВЫЧЕЛОВА,
В. Т. ВАРЧЕНКО, А. Д. КОСТЕНКО

ВЛИЯНИЕ СОСТАВА КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ТИТАНОВОГО СПЛАВА Ti+10Mo И СКОРОСТИ СКОЛЬЖЕНИЯ ПАРЫ ТРЕНИЯ КМ – СТАЛЬ 45 НА ИХ ТРИБОТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Исследовано влияние состава композиционных материалов (КМ1 Ti+10Mo+MoS_2, КМ2 Ti+10Mo+MoS_2, КМ3 Ti+10Mo+CaF_2, КМ4 Ti+10Mo+BN) и скорости скольжения (1, 2, 4, 6 и 15 м/с) на их триботехнические характеристики при трении в паре со сталью 45 на воздухе всухую под давлением 0,8 МПа.

***Ключевые слова**: композиционный материал, состав, структура, скорость скольжения, давление, коэффициент трения, износ, температура, синтез, вторичная смазывающая пленка, нанокристаллическое состояние, фазовый состав, мехнические свойства.*

Введение. В работе изложены результаты исследования влияния состава композиционных материалов (далее КМ) на основе титанового сплава Ti+10Mo, работающих в паре со сталью 45, а так же скорости скольжения пар трения на их триботехнические характеристики. В процессе трения повышается температура рабочей поверхности и происходит образование оксидов, а затем плотной вторичной смазывающей пленки. По сравнению с исходными материалами вторичные пленки отличаются по составу, структурному состоянию и механическим свойствам и при сухом трении способствуют разделению поверхностей трения, предотвращая их повышенный износ [1–3].

Цель работы – исследовать влияние состава композиционных материалов на основе титанового сплава Ti+10Mo при трении на воздухе всухую при давлении 0,8 МПа.

Предварительно установлено, что в процессе трения КМ Ti+10Mo+BN на воздухе всухую в паре со сталями 45, 65Г, ШХ15, 40Х и Х18Н9Т при давлении 0,8 МПа и скоростях скольжения 1–6 м/с лучшие триботехнические характеристики имеет композиционный материал в паре со сталью 45. По этой причине сталь 45 выбрана нами в качестве материала контртела

Материалы и методы исследования. Объектом исследования служили четыре композиционных материала (далее КМ1–КМ4) на основе титанового сплава Ti+10Mo. Образцы материалов получали прессованием смеси исходных порошков с последующим их спеканием в вакууме при температуре 1150 °С в те-

чение 2 ч. Исходный состав порошковых смесей: КМ1 Ti+10Mo+MoS_2; КМ2 Ti+10Mo+$MoSe_2$; КМ3 Ti+10Mo+CaF_2 и КМ4 Ti+10Mo+BN.

Структуру спеченных композиционных материалов исследовали при помощи микроскопа МИМ-8, а фазовый состав — на рентгеновской установке ДРОН. Испытания композиционных материалов на трение и износ при давлении 0,8 МПа и скоростях скольжения 1, 2, 4, 6 м/с проводили на машине трения М-22М по схеме «палец (образец КМ) – вал (контртело—сталь 45 HRC 45÷48 шероховатостью R_a=32÷63)», а при P = 0,8 МПа и V = 15 м/с — на машине трения МТ-68М по схеме «палец (образец КМ) – диск (контртело—сталь 45) [4]. Путь трения составлял 10 км для каждой скорости.

Температуру образца измеряли с помощью термопары ЕХКП–XVIII на расстоянии 1 мм от его поверхности. На каждую точку испытывали 5–6 образцов.

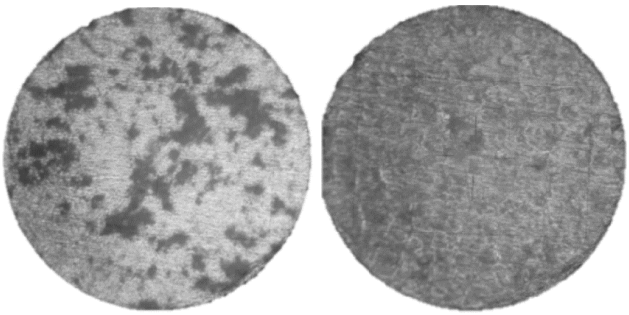
В процессе спекания порошковых композиций сформировалась микрогетерогенная структура композиционных материалов. Матрица материалов, кроме КМ4, представляет собой смесь твердых растворов молибдена в α - и β - титане. Твердый раствор Mo в α - Ti имеет низкотемпературную (<882 С) гексагональную атомную решетку, а твердый раствор Mo в β – Ti — высокотемпературную (>882 С) объемно-центрированную кубическую решетку. Кроме того, матрица исходного материала КМ2 упрочнена включениями молибдена в количестве 1 % мас., не вошедшего в твердый раствор в процессе его спекания. Матрица КМ4 представляет собой твердый раствор Mo в α-Ti, упрочненный частицами борида и нитрида титана.

Легирование титана молибденом при спекании материалов КМ1, КМ2, КМ3 приводит к образованию матрицы с α+β структурой, имеющей гексагональную и объемно-центрированную кубическую кристаллические решетки, а при спекании КМ4−к образованию матрицы с α - структурой с гексагональной кристаллической решеткой. Функциональной структурной составляющей служат: материала КМ1 — дисульфид молибдена, КМ2 — диселенид молибдена, КМ3 — фтористый кальций, КМ4 — нитрид бора, которые распределены в виде включений и при трении всухую играют роль твердой смазки. Твердые смазки при трении принимают участие в формировании на контактной поверхности материала тонких слоев — вторичных смазывающих пленок.

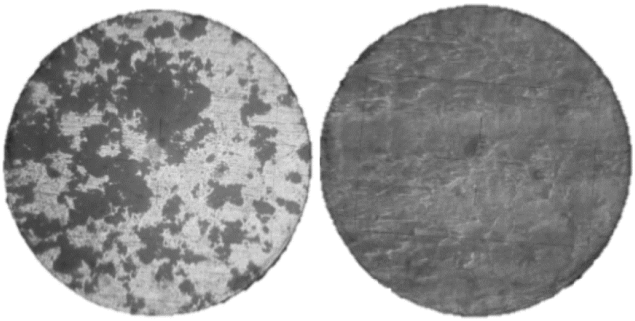
Результаты исследований и их обсуждение. Структура экспериментальных композиционных материалов и вторичных пленок, синтезированных трением на их поверхности в процессе трения, приведены на рис. 1.

Результаты испытаний на трение и износ композиционных материалов в паре со сталью 45 на воздухе всухую при давлении 0,8 МПа и скоростях скольжения 1, 2, 4, 6 и 15 м/с приведены в табл. 1–2.

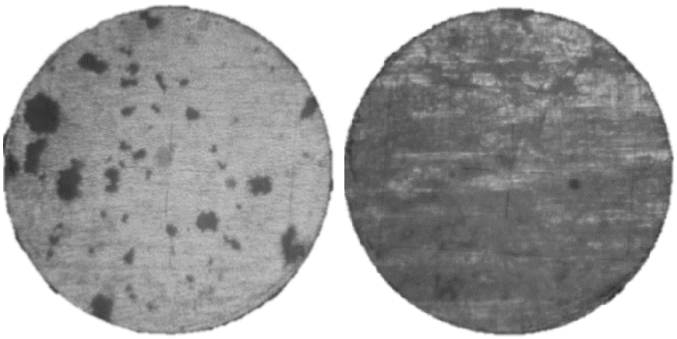
Из табл. 1 следует, что с увеличением скорости скольжения от 1 до 15 м/с коэффициент трения (f) всех исследуемых пар уменьшается в 1,8-2,4 раз (*а*). Наиболее интенсивно уменьшается коэффициент трения пары КМ1–сталь 45 (в 2,4), но минимальный f при всех исследованных скоростях скольжения у пары КМ3–сталь 45 (f = 0,28). Массовый износ композиционных материалов КМ1-КМ4 ($I_{км}$) уменьшается в 2,5–58,5 раз (*б*) включительно до V = 6 м/с Затем при V = 15 м/с.



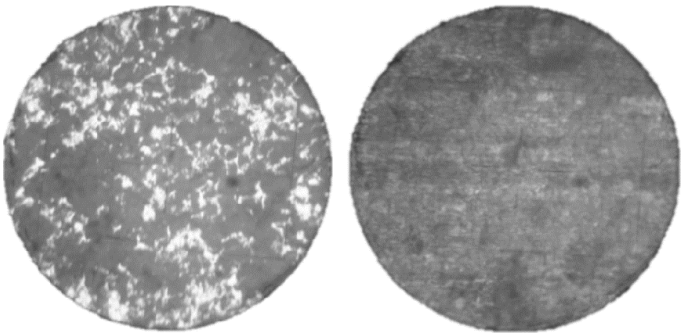
КМ1 Ti+10Mo+MoS_2



КМ2 Ti+10Mo+$MoSe_2$



КМ3 Ti+10Mo+CaF_2



КМ4 Ti+10Mo+BN

Рис. 1. Структуры композиционных материалов (слева) и их поверхностей трения, сформировавшиеся при V = 6 м/с и P = 0,8 МПа (справа)

Таблица 1

Коэффициент трения пары КМ-сталь 45 и массовый износ КМ при *P* = 0,8 МПа и *V* = 1-15 м/с

Пара трения КМ–сталь 45	Скорость скольжения *V*, м/с					Скорость скольжения *V*, м/с				
	1	2	4	6	15	1	2	4	6	15
	Коэффициент трения пары КМ сталь 45, *f*					Массовый износ КМ *I км* , мг/км				
КМ1–сталь 45	0,75	0,72	0,62	0,41	0,31	0,95	0,34	0,25	0,10	3,85
КМ2–сталь 45	0,66	0,64	0,58	0,44	0,30	1,02	0,73	0,66	0,33	55,4
КМ3–сталь 45	0,54	0,42	0,41	0,38	0,28	31	28,9	22	0,53	3,11
КМ4–сталь 45	0,65	0,64	0,51	0,48	0,36	0,75	0,70	0,50	0,30	0,47

Таблица 2

Массовый износ контртела, линейный износ пары трения КМ-сталь 45 и температура поверхности КМ при *P* = 0,8 МПа и *V* = 1–6 м/с

Пара трения КМ–сталь 45	Скорость скольжения *V*, м/с				Скорость скольжения *V*, м/с				Скорость скольжения *V*, м/с			
	1	2	4	6	1	2	4	6	1	2	4	6
	Массовый износ контртела *Iк*, мг/км				Линейный износ пары КМ–сталь 45 *Iл*, мкм/км				Температура КМ *T*, °С			
КМ1– сталь 45	8,4	2,0	1,72	0,36	5,3	5,1	3,8	3,2	85	107	155	165
КМ2– сталь 45	12,3	4,24	1,24	0,8	27,3	18,5	8,0	7,0	95	97	139	169
КМ3–сталь 45	1,0	0,79	0,6	0,44	73,3	69	45,7	10,4	95	100	112	126
КМ4– сталь 45	12	2	0,71	0,51	46,6	23,5	8,7	6,8	83	142	212	238

$I_{км}$ КМ1 и КМ2 увеличивается в 4-54 раз *(б₁)*, а $I_{км}$ КМ3 и КМ4 уменьшается в 10-1,6 раз ($б_1$) по сравнению с их массовым износом при скорости скольжения 1 м/с. По сравнению с $I_{км}$ при *V* = 6 м/с при *V* = 15 м/с массовый износ всех исследуемых КМ (КМ1, КМ2, КМ3 и КМ4) увеличивается в 1,6-38,5 раз *(б₂)* (табл. 1).

С увеличением скорости скольжения от 1 до 6 м/с массовый износ контртела *Iк* уменьшается в 2,3–23,4, линейный износ пар трения композиционные материалы – сталь 45 — в 1,6–7,0 раз; а температура поверхности трения образцов повышается в 1,32-2,86 раз (табл. 2).

При скорости скольжения 6 м/с массовый износ стали 45 (*Iк*), работающей в паре с КМ4, составляет 0,51 мг/км; *Iк* при работе с КМ3 — 0,44 мг/км; а при работе с КМ1— 0,36 мг/км. Однако, наиболее интенсивное уменьшение массового износа с увеличением скорости скольжения от 1 м/с до 6 м/с имеет место при трении в паре с КМ4 (в 23,5 раз). Если при *V* = 1 м/с *Iк*= 12 мг/км, то уже при *V* = 6 м/с *Iк* = 0,51 мг/км. Незначительно изнашивается сталь 45 при скоростях скольжения 1–6 м/с при трении в паре с КМ3. Из табл. 2 следует, что даже при *V* = 1 м/с массовый износ стали 45 в паре с КМ3 составляет всего 1,0 мг/км, в то время как в процессе трения в паре с другими КМ он в несколько раз выше. Таким образом, *Iк* стали 45 в процессе ее скольжения со скоростью 1 м/с в паре с КМ1 составляет 8,4 мг/км, а при *V* = 6 м/с — 0,36 мг/км. Следовательно, при увеличении скорости скольжения стали 45 от 1 м/с до 6 м/с в паре с КМ1 ее массовый износ уменьшился в 23,4 раз.

Выводы:

1. При трении на воздухе без смазки и PV = 0,8 МПа х 6 м/с (4,8 МПа м/с) КМ1–КМ4 в паре со сталью 45 имеют f = 0,38–0,48, а $I_{км}$= 0,10–0,53 мг/км, а при PV = 0,8 МПа х 15 м/с (12 МПа м/с) коэффициент трения пар f = 0,28–0,36, а $Iкм$ = 0,47–3,85 мг/км.

2. С увеличением скорости скольжения от 1 до 15 м/с коэффициент трения всех иследованных пар уменьшается в 1,8–2,4 раз. Наиболее интенсивно уменьшается коэффициент трения пары КМ1–сталь 45 (в 2,4 раз), минимальный коэффициент трения имеет пара КМ3-сталь 45 (f = 0,28).

3. Массовый износ композиционных материалов ($I_{км}$) включительно до V = 6 м/с уменьшается в 2,5–58,5 раз. При V = 15 м/с $I_{км}$ КМ1 и КМ2 увеличивается в 4-54 раз, а $I_{км}$ КМ3 и КМ4 уменьшается в 10-1,6 раз по сравнению с их массовым износом при скорости скольжения 1 м/с, а по сравнению с $I_{км}$ при V = 6 м/с массовый износ всех исследуемых КМ (КМ1, КМ2, КМ3 и КМ4) при V = 15 м/с увеличивается в 1,6-38,5 раз.

4. С увеличением скорости скольжения от 1 до 6 м/с массовый износ контртела $Iк$ уменьшается в 2,3–23,5; линейный износ пары трения композиционные материалы – сталь 45 – в 1,6–7,0 раз; а температура поверхностей трения повышается в 1,32-2,86 раз.

Список литературы

1. Косторнов А. Г. Дослідження трибосинтезу вторинних структур у зоні тертя компо-зиційного антифрикційного матеріалу за швидкості ковзання 5 м/с і незначних тисків / А. Г.Косторнов, О. І. Фущич, В. Ф. Горбань., Т. М. Чевичелова., О. Д. Костенко // Проблеми тертя та зношування. ─ К.: НАУ. – 2012. –Вип. 57. – С. 170–187.

2. Косторнов А. Г. Вплив параметрів сухого тертя на формування вторинних структур у зоні трибосинтезу композиційного антифрикційного матеріалу на основі заліза / А. Г.Косторнов, О. І. Фущич, В. Ф. Горбань, Т. М. Чевичелова, О. Д.Костенко // Порошковая металлургия. – 2012. – № 7/8. – С. 48–57.

3. Косторнов А. Г. Структура и механические свойства композиционных материалов на основе титана и синтезированных при трении вторичных пленок / А. Г. Косторнов, В. Ф. Горбань, О. И Фущич, М. В. Карпец, Т. М. Чевычелова, А. Д. Костенко // Порошковая металлургия. – 2013. – № 9/10. – С.36–45.

4. ГОСТ 26614–85. Материалы антифрикционные порошкове. Метод определения триботехнических свойств. – М.: Госкомстандарт, 1985. – 9 с.

Стаття надійшла до редакції 19.11.2015

А. Г. КОСТОРНОВ, О. І. ФУЩИЧ, Т. М. ЧЕВИЧЕЛОВА, В. Т. ВАРЧЕНКО, О. Д. КОСТЕНКО

ВПЛИВ СКЛАДУ КОМПОЗИЦІЙНОГО МАТЕРІАЛУ НА ОСНОВІ ТИТАНОВОГО СПЛАВУ Ti+10Mo І ШВИДКОСТІ КОВЗАННЯ ПАРИ ТЕРТЯ КМ–СТАЛЬ 45 НА ЇХ ТРИБОТЕХНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Досліджено вплив складу композиційних матеріалів (КМ1 Ti+10Mo+MoS_2, КМ2 Ti+10Mo+MoS_2, КМ3 Ti+10Mo+CaF_2, КМ4 Ti+10Mo+BN) і швидкості ковзання (1, 2, 4, 6 і 15 м/с) на їх триботехнічні характеристики при терті у парі зі сталлю 45 на повітрі без змащування під тиском 0,8 МПа.

Ключові слова: композиційний матеріал, склад, структура, швидкість ковзання, тиск, коефіцієнт тертя, знос, температура, синтез, вторинна мастильна плівка, нанокристалічний стан, фазовий склад, механічні властивості.

A. G. KOSTORNOV, O. I. FUSHCYCH, T. M. CHEVYCHELOVA, V.T. VARCHENKO, A. D. KOSTENKO

THE INFLUENCE OF COMPOSITE MATERIALS BASED ON TITANIUM ALLOY Ti + 10Mo AND THE SLIDING SPEED OF THE FRICTION PAIR OF COMPOSITE MATERIAL - 45 STEEL FOR THEIR TRIBOLOGICAL CHARACTERISTICS.

Influence of the composition of composite materials (KM1 Ti + MoS2 + 10Mo, KM2 Ti + MoS2 + 10Mo, KM3 Ti + 10Mo + CaF2, KM4 Ti + 10Mo + BN) and the sliding speed (1, 2, 4, 6 and 15 m / s) their tribological characteristics in combination with the friction of steel 45 under pressure of 0.8 MPa at room temperature.

Keywords: composite material, composition, structure, sliding velocity, pressure, friction, wear, temperature, synthesis, secondary lubricating film, nanocrystalline state, phase composition, mechanical properties.

Косторнов Анатолій Григорович – академік НАН України, д-р техн. наук, професор, завідувач відділу триботехнічних і проникних матеріалів Інституту проблем матеріалознавства НАН України, e-mail: Otd5Kostornov@ipms.kiev.ua.

Фущич Ольга Іванівна – канд. техн. наук, провідний науковий співробітник Інституту проблем матеріалознавства НАН України.

Чевичелова Тетяна Михайлівна – науковий співробітник Інституту проблем матеріалознавства НАН України.

Варченко Віктор Трифонович – науковий співробітник Інституту проблем матеріалознавства НАН України.

Костенко Олексій Дмитрович – науковий співробітник Інституту проблем матеріалознавства НАН України.