

УДК 621.891

МЕТАЛЛОГРАФИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ИЗНАШИВАНИЯ МАТЕРИАЛОВ, ИСПОЛЪЗУЕМЫХ В ШАРОВЫХ КРАНАХ

Л. Ш. ШУСТЕР¹, Р. Р. КАМАЛЕТДИНОВА²

¹okmim@ugatu.ac.ru, ²regisha07.90@mail.ru

ФГБОУ ВО «Уфимский государственный авиационный технический университет» (УГАТУ)

Поступила в редакцию 14.04.2016

Аннотация. Исследовано изнашивание прямых и обратных пар трения, изготовленных из жаропрочного сплава и керамико-металлического материала (кермета) на основе карбида титана. Установлено, что в обратных парах трения изнашивание большей поверхности связано в основном с адгезионно-усталостными процессами, в прямых парах трения изнашивание значительно повышается за счет дополнительного абразивно-механического изнашивания.

Ключевые слова: адгезионно-усталостное изнашивание; абразивно-механическое изнашивание; керамико-металлический материал; линейная интенсивность изнашивания; оксиды.

Развитие высокотехнологичных отраслей промышленности во всех развитых странах характеризуется повышенным вниманием к проблемам трения и изнашивания. Любое продвижение к их решению дает комплексный результат. Это – повышение энергосбережений, возрастание показателей надежности изделий, улучшение их функциональных характеристик. Одно из перспективных направлений совершенствования работы узлов трения состоит в использовании керамико-металлических материалов (керметов), в том числе на основе карбида титана TiC [1], и нанесении на них износостойких покрытий [2]. Следует при этом учитывать, что в таких узлах одновременно происходит изнашивание обеих деталей пары трения.

Герметичность запорной арматуры трубопроводов (в том числе шаровых кранов) в значительной мере зависит от степени износа сопрягаемых поверхностей деталей арматуры. Так, при работе шаровых кранов одновременно происходит изнашивание и шара, и седла. По существу, каждая из сопрягаемых деталей, является источником, причиной износа другой детали. При этом, в зависимости от твердости контактирующих поверхностей, пары трения могут быть *прямыми* и *обратными* [3]. В случае *прямой* пары трения по большей поверхности скользит *более твердое* тело, а в случае *обратной* пары – *более мягкое* тело.

Целью данной работы является установление зависимости преобладающего вида изнаши-

вания поверхностей, работающих в контакте с керметом на основе карбида титана (при наличии и отсутствии износостойких покрытий).

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследования по изнашиванию пар трения выполняли на одношариковом трибометре «NANOVEA TRB» по схеме «шар–диск». В качестве шарика использовали сферические инденторы (радиусом сферы 2,5–3 мм), а в качестве дисков образцы (диаметром 25 мм и толщиной 5–7 мм). Образцы и инденторы изготавливались из материалов: жаропрочного сплава ЖС6У и керамико-металлического материала (кермета) на основе карбида титана TiC-ЖС6У (без покрытий и с износостойким покрытием Zr-Ti-N-C).

Эксперименты проводили при нормальном нагружении 2 Н и постоянной скорости скольжения 0,15 м/с. Диаметр поверхности трения на диске (образце) составлял 6 мм.

Количество циклов воздействий в испытаниях для всех пар трения было одинаковое и составляло $N \approx 15000$ (путь трения $l \approx 290$ м).

Испытания проводили без смазки при температуре окружающей среды 23–25°C и относительной влажности 50%. Перед началом испытаний поверхности образцов и инденторов обрабатывались спиртом и просушивались. Результаты трибологических испытаний представляли как усредненное значение, полученное по трем экспериментам.

Были выполнены исследования по изнашиванию прямых и обратных пар трения без покрытий и с покрытиями, с металлической или керамико-металлической подложками.

Металлографические исследования изношенных поверхностей выполнены на растровом электронном микроскопе «JSM-6490LV» и оптическом микроскопе «Olympus GX51». Изношенные «дорожки» на образцах изучались на электронном микроскопе для получения электронного изображения и микрохимического состава поверхности. Установить изношенные инденторы в электронном микроскопе для исследования торцевой поверхности представляет значительную техническую трудность, поэтому изношенные поверхности инденторов рассматривали на оптическом микроскопе.

Исследования адгезионного взаимодействия рассматриваемых пар трения выполнены на установке, в которой реализована физическая модель [3].

Используя метод постепенно снижающихся нагрузок, определили коэффициент β упрочнения адгезионных связей от действия давления на фрикционном контакте. Нагрев осуществляли электроконтактным способом.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Ниже приведены некоторые наиболее характерные результаты металлографических исследований.

На рис. 1–4 представлены виды изношенных поверхностей инденторов (при увеличении $\times 50$ и $\times 100$) при взаимодействии в условиях трения с образцами из разных материалов (без и с износостойкими покрытиями). Из рис. 1 хорошо видны следы абразивно-механического изнашивания мягкого сплава ЖС6У, из которого был изготовлен индентор, от взаимодействия с твердыми включениями TiC, входящими в состав кермета TiC-ЖС6У, из которого был изготовлен образец.

Вид изношенной поверхности индентора существенно изменяется, когда пара трения прямая, т.е. когда индентор тверже образца. В этом случае, как видно на рис. 2, в результате адгезионного взаимодействия между контактирующими поверхностями происходит сцепление, схватывание и вырыв более твердых частиц индентора, что приводит к его изнашиванию. При этом следы схватывания и вырывов хорошо видны на рисунке, а вот следы в виде бороздок, царапин, характерных для абразивно-механического изнашивания, на рис. 2 не видно.

Очевидно, аналогичные явления приводят к изнашиванию инденторов из одноименных материалов с материалами образцов, имеющих примерно одинаковую твердость (рис. 3, 4). Здесь тоже хорошо видны следы адгезионно-усталостного изнашивания.

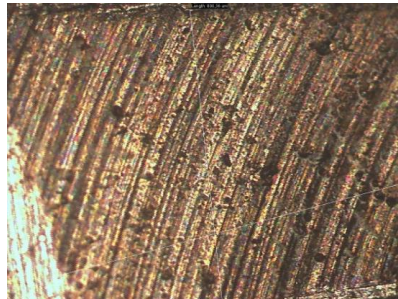


Рис. 1. Вид изношенной поверхности индентора из ЖС6У при контактировании с образцами из кермета TiC-ЖС6У, $\times 20$

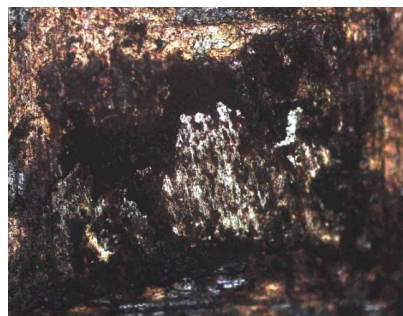


Рис. 2. Вид изношенной поверхности индентора из кермета TiC-ЖС6У при контактировании с образцами из сплава ЖС6У, $\times 20$

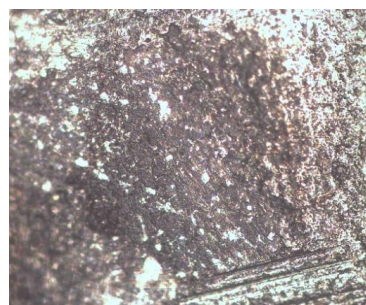


Рис. 3. Вид изношенной поверхности индентора из кермета TiC-ЖС6У при контактировании с образцами из TiC-ЖС6У, $\times 20$

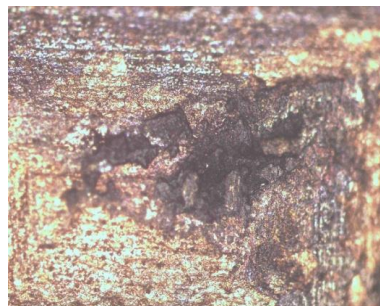
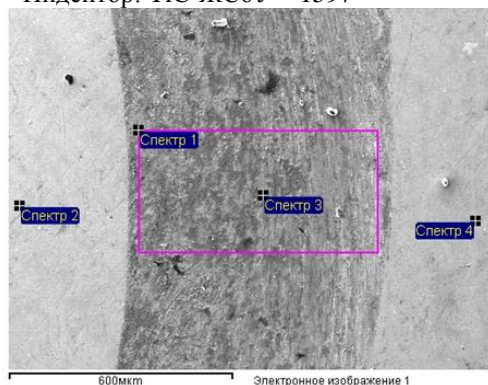


Рис. 4. Вид изношенной поверхности индентора из кермета TiC-ЖС6У + Zr-Ti-N-C при контактировании с образцами TiC-ЖС6У + Zr-Ti-N-C, $\times 20$

На рис. 5–7 представлены виды микрохимсостава изношенных поверхностей различных образцов при трении с инденторами из различных материалов. Данные по микрохимсоставу поверхностей трения позволяют шире и глубже рассмотреть изнашивание с учетом возможности появления при трении вторичных структур на этих поверхностях. Например, в прямой паре трения TiC-ЖС6У – ЖС6У (рис. 5) не только хорошо видны следы (характерные полосы – углубления) абразивного-механического изнашивания мягкого образца из ЖС6У, но и появление на локальных участках поверхности трения кислорода (O) свидетельствует об образовании при трении и изнашивании окисных пленок. Окисные пленки обнаружены также в смешанной паре трения TiC-ЖС6У – TiC-ЖС6У (рис. 6). В обоих случаях в контакт входил материал из кермета TiC-ЖС6У с твердыми включениями TiC. Очевидно, эти включения, внедряясь при трении в более мягкие области контртела, осуществляют его микрорезание (с образованием оксида) и приводят к дополнительному износу.

Образец: ЖС6У – 515

Индентор: TiC-ЖС6У – 1597



Образец: ЖС6У с индентором TiC-ЖС6У

Состав	Ni	C	Cr	Co	W	Al	Ti	Fe	O
Спектр 1	47,29	10,22	7,03	7,63	7,59	3,25	2,21	-	14,78

Образец: ЖС6У – 515 с индентором TiC-ЖС6У - 1597
(Точечное измерение)

Состав	Ni	C	Cr	Co	W	Al	Ti	Fe	O
Спектр 2	58,88	5,13	8,9	9,87	10,38	4,36	1,93	0,55	-
Спектр 3	43,81	7,29	6,8	7,53	7,82	3,08	2,34	0,45	20,89
Спектр 4	63,63	-	9,9	10,12	9,43	4,76	2,11	-	-

Спектр 2 и Спектр 4 - чистая поверхность

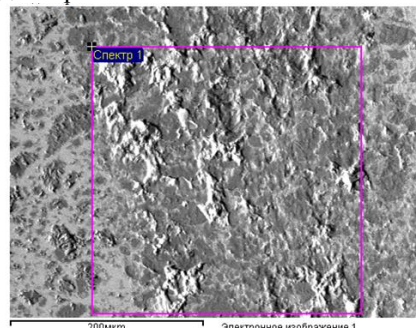
Рис. 5. Вид и микрохимсостав изношенной поверхности образца из ЖС6У при контактировании с индентором из кермета TiC-ЖС6У

Нанесение на керметы износостойких покрытий экранирует выход в контакт твердых включений TiC, в результате этого микрорезание при трении практически отсутствует, что видно из рис. 7. На изношенной поверхности не

видны характерные следы абразивного изнашивания и отсутствует кислород. На поверхности видны незначительные вырывы, происходящие при адгезионно-усталостном изнашивании.

Образец: TiC-ЖС6У – 1523

Индентор: TiC-ЖС6У – 1597



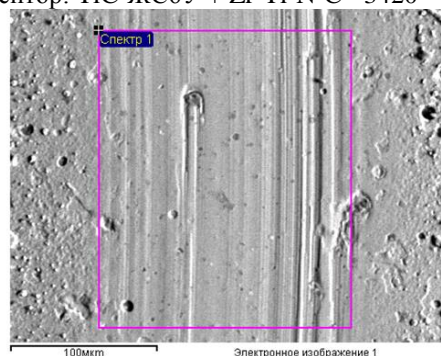
Образец: TiC-ЖС6У - 1523 с индентором TiC-ЖС6У - 1597

Состав	Ni	C	Cr	Mo	Al	Ti	Fe	Nb	O
Спектр 1	22,83	10,27	6,48	2,04	0,54	32,17	3,43	1,54	20,7

Рис. 6. Вид и микрохимсостав изношенной поверхности образца из кермета TiC-ЖС6У при контактировании с индентором из кермета TiC-ЖС6У

Образец: TiC-ЖС6У + Zr-Ti-N-C – 2060

Индентор: TiC-ЖС6У + Zr-Ti-N-C - 3420



Образец: TiC-ЖС6У + Zr-Ti-N-C – 2060 с индентором TiC-ЖС6У + Zr-Ti-N-C -3420

Состав	N	C	Zr	Ni	Ti
Спектр 1	5,44	8,41	62,54	0,47	23,14

Рис. 7. Вид и микрохимсостав изношенной поверхности образца из кермета TiC-ЖС6У + Zr-Ti-N-C при контактировании с индентором из кермета TiC-ЖС6У + Zr-Ti-N-C

Вместе с тем в смешанной паре TiC-ЖС6У – TiC-ЖС6У (рис. 6) следы царапания на изношенной поверхности отсутствуют в связи с тем, что, очевидно, образовавшиеся оксиды по твердости уступали твердости кермета и, оторвавшись из поверхности при износе, не смогли внедриться в нее для абразивного изнашивания. Поэтому на изношенной поверхности видны в основном следы вырывов, характерные для адгезионно-усталостного изнашивания.

Результаты исследования трибосопряжений

Инденторы		Суммарный износ, $V, \text{мм}^3 \cdot 10^{-2}$			
		Образцы / Микротвердость, МПа			
Материалы	Микротвердость, МПа	ЖС6У 567	TiC-ЖС6У 1271	TiC-ЖС6У +TiN 1388	TiC-ЖС6У+ Zr-Ti-N-C 2060
ЖС6У	550	6,43	5,22	1,05	1,75
TiC-ЖС6У	1597	14,96	3,41	0,91	0,52
TiC-ЖС6У +TiN	2083	0,91	1,17	0,48	2,92
TiC-ЖС6У+Zr-Ti-N-C	3420	0,35	0,54	0,81	0,32

Из табл. 1 видно, что суммарный износ исследуемых трибосопряжений изменяется в довольно широком диапазоне ($0,32 - 14,96 \text{ мм}^3 \cdot 10^{-2}$): более чем в 10 раз. Повышенный износ демонстрируют пары с участием мягкого жаропрочного сплава ЖС6У и кермета TiC-ЖС6У имеющего твердые включения карбида титана. Как было показано выше, именно в этих парах к адгезионно-усталостному изнашиванию прибавляется абразивно-механическое, что и увеличивает уровень суммарного износа пары трения. Картина кардинально изменяется, когда на поверхности трения наносятся покрытия, которые экранируют мягкую подложку и твердые включения кермета. Можно предположить, что именно это обстоятельство существенно уменьшает абразивно-механическую составляющую изнашивания в парах трения, что и приводит к снижению уровня суммарного износа.

Очевидно, что в парах трения, в которых поверхности трения имели примерно одинаковую микротвердость, главную роль в изнашивании играют адгезионно-усталостные процессы. Чтобы проверить это предположение, на рис. 8 в логарифмических координатах представлена зависимость суммарного износа V от адгезионного параметра β (при температуре $\Theta=150^\circ\text{C}$) для одноименных пар трения из материалов ЖС6У, TiC-ЖС6У и TiC-ЖС6У с покрытиями TiN и Zr-Ti-N-C. Из рис.8 видно, что эта зависимость может быть описана степенной функцией:

$$V = C \cdot \beta^m, \quad (1)$$

где C – коэффициент, зависящий от условий и режима работы пар трения (в данном конкретном случае $C=27$); m – показатель степени (в исследованиях получено $m=2$); β – коэффициент упрочнения адгезионных связей от действия нормальных напряжений (давлений) на подвижном фрикционном контакте.

Это по существу является прямым доказательством главенствующей роли адгезионных процессов в износе трибосопряжений, состав-

ленных из деталей из одноименных материалов на поверхностях трения.

Также предположение было высказано профессором Ю. Н. Васильевым [3] в его теоретических исследованиях. В данной работе это предположение впервые получило экспериментальное подтверждение.

Установленная зависимость (1) позволяет уже на стадии проектирования запорной арматуры трубопроводов давать оценку и прогнозировать работоспособность и надежность с учетом трибологических свойств материалов, из которых изготавливаются детали узла трения. Для этого достаточно располагать базой данных по коэффициенту β для различных материалов (в том числе керметов и износостойких покрытий), применяемых для изготовления деталей запорной арматуры, с учетом температуры фрикционного контакта.

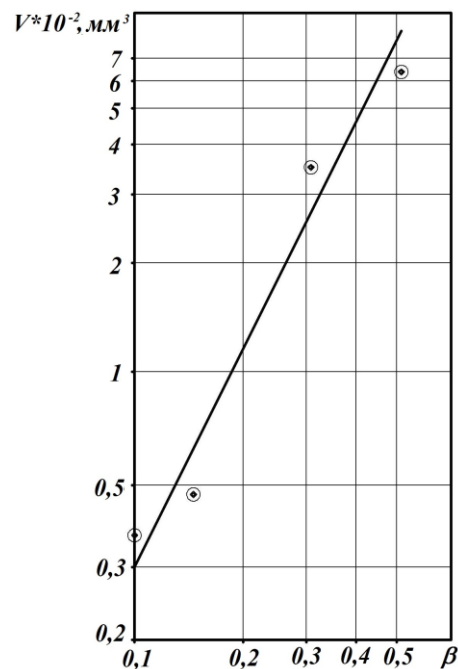


Рис. 8. Зависимость суммарного износа трибосопряжений из одинаковых материалов (ЖС6У; TiC-ЖС6У и TiC-ЖС6У с покрытием из TiN и Zr-Ti-N-C) от адгезионного параметра β

Из табл. 1 видно, что из полученных пар трения наименьший суммарный износ ($0,32 \text{ мм}^3 \cdot 10^{-2}$) или наибольшую износостойкость обеспечивает пара, изготовленная из кермета TiC-ЖС6У с покрытием Zr-Ti-N-C (с коэффициентом $\beta = 0,11$).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Установлено, что нанесение износостойких покрытий на обе контактирующие поверхности из керметов практически полностью исключает их абразивно-механическое изнашивание. Для пар трения из одноименных материалов (с близкой микротвердостью) превалирующим является адгезионно-усталостное изнашивание.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мамлеев Руст. Ф., Мамлеев Раф. Ф., Науширванов Р. Г. Изделия из высокотемпературных керметов TiC-Me для нефтепереработки и нефтехимии // Нефтепереработка и нефтехимия, 2010, №4. С. 33–38. [Rust. F. Mamleev, Raf.F. Mamleev, R.G. Naushirvanov, «Products made of high-temperature cermet TiC-Me for refining and petrochemicals», (in Russian), in *Neftepererabotka i neftehimija*, no. 4, pp. 33-38, 2010.]

2. Шустер Л. Ш., Криони Н. К., Шолом В. Ю., Мигранов М. Ш. Покрытия и смазка в высокотемпературных подвижных сопряжениях и металлообработке. – М.: Машиностроение, 2008. 318 с. [L. Sh. Shuster, N. K. Krioni, V. Ju. Sholom, M. Sh. Migranov, *Coatings and lubrication in high-movable joints and metal*, (in Russian), Moscow: Mechanical Engineering, 2008.]

3. Доценко А. Н., Буяновский И. А. Основы триботехники. М.: Инфра-М, 2014. 336 с. [A. N. Docenko, I. A. Bujanovskij, *Basics tribotechnology*, (in Russian), Moscow: Infra-M, 2014.]

ОБ АВТОРАХ

ШУСТЕР Лева Шмульевич, проф. каф. основ конструирования механизмов и машин, д-р. техн. наук по трению и износу (1991).

КАМАЛЕТДИНОВА Регина Рамилевна, асс. кафедры основы конструирования механизмов и машин, Дипл. инженер технолог (УГАТУ, 2012). Готовит дисс. о повышении эффективности применения керметов в запорной арматуре.

METADATA

Title: Metallurgical studies of wear of the materials used in ball valves.

Authors: LS Schuster ¹, RR Kamaletdinova ²

Affiliation:

^{1,2}Ufa State Aviation Technical University (UGATU), Russia.

Email: ¹okmim@ugatu.ac.ru, ²regisha07.90@mail.ru

Language: Russian.

Source: Vestnik UGATU (scientific journal of Ufa State Aviation Technical University), vol. 20, no. 2 (72), pp. 61-65, 2016. ISSN 2225-2789 (Online), ISSN 1992-6502 (Print).

Abstract: Studied the direct and inverse wear of friction pairs, made of heat-resistant alloy and ceramic-metal material (cermet) of titanium carbide. It was found that the reverse friction pairs wear larger surface mainly due to the adhesion-fatigue processes, rubbing wear increases significantly in straight pairs due to additional abrasive mechanical wear.

Key words: adhesion-fatigue wear; Abrasive mechanical wear; ceramic-metallic material; linear wear rate; oxides.

About authors:

SHUSTER Leva Shmul'evich, Professor of "Fundamentals of design of machines and mechanisms," VPO "Ufa State Aviation Technical University," Dr. tehn. Science on friction and wear (1991).

KAMALETDINOVA Regina Ramilevna, assistant of the department "Basics of designing mechanisms and machines" VPO "Ufa State Aviation Technical University." Dipl. Engineer Technologist (CAA TU-2012). Prepares diss. to increase efficiency in the Applications, kremetov in the shut-off valve.