

ВОПРОСЫ ИЗНАШИВАНИЯ NiP ПОКРЫТИЙ

© 2011 И.Р. Асланян, Л.Ш. Шустер

Уфимский государственный авиационный технический университет

Поступила в редакцию 10.11.2011

Введение

Никель-фосфорные покрытия, полученные электролитическим осаждением, применяют в промышленности для повышения износостойкости трущихся поверхностей и защиты от коррозии изделий из стали и цветных металлов. При этом условия трения в трибосопряжениях с никель-фосфорными покрытиями могут существенно между собой различаться. В условиях трения скольжения частицы контртела находятся на локальном фрикционном контакте с покрытием непродолжительное время при большой протяженности пути трения. В условиях фреттинг-изнашивания частицы контртела находятся в контакте с покрытием длительное время на малой площади контакта. При фреттинг-коррозии на изнашивание покрытий оказывает влияние еще и химическая составляющая процесса. Если трение скольжения никель-фосфорных покрытий изучено достаточно хорошо и имеется множество публикаций по теме [1-2], то данные по фреттинг-изнашиванию или фреттинг-коррозии не только малочисленны, но и достаточно противоречивы. В этой связи актуальной является задача исследования изнашивания никель-фосфорных покрытий с различным количеством упрочняющих добавок карбидов кремния при трении скольжения, фреттинг-изнашивании и фреттинг-коррозии.

Методы испытаний

NiP покрытия осаждали на стальную подложку в электролитической ванне, содержащей суспензию карбидов кремния в количестве 0, 80 и 200 г/л со средним диаметром частиц 600 нм. Раствор содержал 20 г/л фосфористой кислоты H_3PO_3 . Часть образцов отжигали при температуре 420 °С в течение 1 часа.

Трибологические испытания на трение скольжения проводились по схеме шар – диск при нормальном нагружении 2 Н и постоянной скорости скольжения 0,15 м/с. Диаметр поверхности трения на диске составлял 24 мм. Количество циклов испытаний для всех образцов было одинаковое и составляло 100, 1000 и 15000. Трибологические испытания на фреттинг-изнашивание проводились по схеме шар – диск при нормальном нагружении 1, 5 и 10 Н, частоте колебаний 2 Гц и тангенциальном смещении (амплитуде) 100 и 500 мкм. Количество циклов испытаний для всех образцов было 20 000. Трибологические испытания на фреттинг-коррозию проводились по схеме шар – диск при нормальном нагружении 1, 5 и 10 Н, частоте колебаний 2 Гц и тангенциальном смещении (амплитуде) 100 и 500 мкм. Коли-

чество циклов испытаний для всех образцов было 20 000. Испытания проводились в растворе NaCl (pH = 5,5) при температуре 22 °С. В качестве контр-тела использовались корундовые шары (фирма Ceratech, Нидерланды) диаметром 10 мм, шероховатость поверхности Ra 0,2 мкм. Испытания проводились без смазки при температуре воздуха 23 °С и относительной влажности 50 %. Тангенциальная сила трения записывалась постоянно во время всего цикла испытаний. Результаты трибологических испытаний представляли как усредненное значение, полученное по трем измерениям для каждого типа покрытия. Трибологические характеристики покрытий характеризовались высотой изношенного слоя, коэффициентом трения и видом изнашивания.

Морфология поверхностей трения была проанализирована с помощью сканирующего электронного микроскопа SEM-Philips 515. Микротвердость измеряли на поверхности трения образцов при нагрузке 0,005 кг. Интенсивность изнашивания определяли как высоту изношенного слоя Δ на 1 касание в мкм на поверхности образцов с помощью оптической трехмерной профилирующей системы Wyko NT Series.

Результаты эксперимента и их обсуждение

В ранее выполненных исследованиях [1, 3-4] по изнашиванию никель-фосфорных покрытий был замечен преимущественно абразивный характер изнашивания. Поверхность трения покрытий во всех случаях имеет характерные борозды, параллельные направлению движения (рис. 1). На изношенных поверхностях покрытий при всех условиях трения наблюдаются царапины темного цвета. Эти царапины и трещины параллельны направлению движения. Такой вид поверхности характерен для абразивно-окислительного изнашивания. Оксидные

пленки, образующиеся на поверхности контакта, непрочно скреплены с поверхностью покрытий, и в процессе трения они удаляются контртелом или абразивными частицами, находящимися в зоне контакта, и образуются вновь. Вид поверхности трения не зависит от количества внедренных карбидов кремния для никель-фосфорных покрытий и примерно одинаков для всех покрытий до и после термической обработки. Исключение составляют никель-фосфорные покрытия без упрочняющих добавок при трении скольжения. При малом числе циклов испытаний до 1000 характер изнашивания NiP покрытий абразивный, при увеличении числа циклов испытаний свыше 1000 он становится преимущественно окислительным. На поверхности трения

покрытий образуются оксидные пленки, которые прочно связываются с поверхностью трения и препятствуют интенсификации ее изнашивания. Их формирование зависит от количества циклов испытаний и не зависит от того, были ли образцы подвергнуты термической обработке или нет.

При трении скольжения абразивная составляющая изнашивания приводит к все возрастающим потерям материала в процессе трения, а окислительная – к временной защите материала от изнашивания. Наличие карбидов кремния не только увеличивает твердость покрытий, но также препятствует

образованию оксидных плен на поверхности трения композиционных NiP-SiC покрытий. В этом случае на поверхности трения были замечены только абразивные трещины. При изнашивании композиционных NiP-SiC покрытий происходит периодическое вырывание карбидов кремния с поверхности трения и доля абразивного изнашивания увеличивается. При изнашивании NiP покрытий происходит периодическое формирование и разрушение оксидных пленок, которые экранируют разрушающее воздействие абразива.

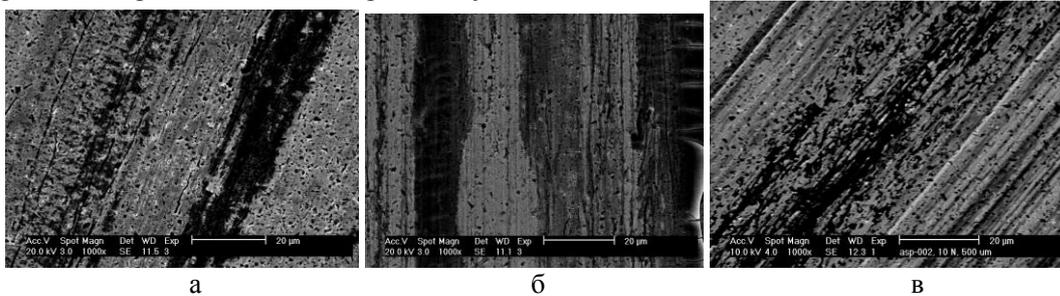


Рис. 1. Поверхность трения никель-фосфорных покрытий: а - трение скольжения; б - фреттинг-изнашивание; в - фреттинг-коррозия.

При фреттинг-изнашивании (рис. 1б) и при фреттинг-коррозии (рис. 1в) исследованных покрытий основное отличие заключается в наличии темных точек – питтингов на поверхности трения покрытий после фреттинг-коррозии. В композиционных NiP-SiC покрытиях распространение коррозии начинается также вокруг карбидов кремния, внедренных в матрицу. При фреттинг-изнашивании на поверхностях трения отчетливо видны оксидные пленки, сви-

детельствующие об интенсивном протекании процессов окисления.

Полученные значения коэффициентов f трения и величин Δ высоты изношенного слоя на одно касание в условиях трения скольжения, фреттинг-изнашивания и фреттинг-коррозии для всех исследованных покрытий представлены в табл. 1.

Таблица 1. Результаты трибологических испытаний композиционных NiP покрытий

Состав покрытий		Трение скольжения, Р = 2 Н									
		Исходное состояние			После отжига						
		Микротвердость, μHV	Коэффициент трения f	Высота Δ изношенного слоя, $\text{мкм} \cdot 10^{-5}$	Микротвердость, μHV	Коэффициент трения f	Высота Δ изношенного слоя, $\text{мкм} \cdot 10^{-5}$				
NiP		580	0,71	1,44	1090	0,74	1,27				
NiP-SiC, 80 г/л		700	0,68	1,43	1150	0,78	1,40				
NiP-SiC, 200 г/л		730	0,69	1,55	1450	0,77	1,34				
Состав покрытий		Фреттинг-изнашивание (1) и фреттинг-коррозия (2), А = 100 мкм									
		Исходное состояние				После отжига					
		Нагрузка, Н	Микротвердость, μHV	Коэффициент трения f		Высота Δ изношенного слоя, $\text{мкм} \cdot 10^{-5}$		Микротвердость, μHV	Коэффициент трения f		Высота Δ изношенного слоя, $\text{мкм} \cdot 10^{-5}$
1	2			1	2	1	2		1	2	
NiP	1	580	0,48	-	2,13	2,80	1090	0,59	0,23	2,06	2,73
	5		0,44	0,19	2,72	4,85		0,4	0,16	2,63	4,45
NiP-SiC, 80 г/л	1	700	0,48	-	4,32	4,83	1150	0,57	0,3	5,01	6,25
	5		0,46	0,2	5,59	5,25		0,45	0,17	5,33	8,50
NiP-SiC, 200 г/л	1	730	0,5	-	3,65	5,35	1450	0,58	0,22	4,36	5,40
	5		0,48	0,23	4,17	6,50		0,46	0,19	4,61	7,25

Фреттинг-изнашивание (1) и фреттинг-коррозия (2), $A = 500$ мкм											
Состав покрытий	Исходное состояние						После отжига				
	Нагрузка, Н	Микротвердость, μHV	Коэффициент трения f		Высота Δ изношенного слоя, мкм 10^{-5}		Микротвердость, μHV	Коэффициент трения f		Высота Δ изношенного слоя, мкм 10^{-5}	
			1	2	1	2		1	2	1	2
NiP	1	580	0,43	-	1,22	2,68	1090	0,57	0,22	1,44	2,30
	5		0,4	-	1,64	6,50		0,38	0,18	2,20	5,50
	10		0,34	0,2	5,38	10,20		0,33	0,16	2,89	7,03
NiP-SiC, 80 г/л	1	700	0,64	-	2,36	3,75	1150	0,67	0,21	1,85	3,68
	5		0,48	-	6,58	6,75		0,39	0,19	3,02	5,68
	10		0,44	0,21	9,86	7,70		0,35	0,18	3,95	9,40
NiP-SiC, 200 г/л	1	730	0,42	-	1,97	3,75	1450	0,46	0,28	1,90	3,70
	5		0,48	-	3,60	5,90		0,44	0,22	3,01	7,13
	10		0,44	0,23	10,84	9,18		0,38	0,19	6,22	9,50

Из этой таблицы видно, что при трении скольжения коэффициент трения существенно выше, чем при фреттинг-изнашивании (в 1,5 – 2 раза) и фреттинг-коррозии (примерно в 3,5 раза), а высота изношенного слоя при этом значительно меньше. При фреттинг-коррозии коэффициент трения существенно (более чем в 2 раза) понижается по сравнению с фреттинг-изнашиванием, что очевидно, связано с переходом от «сухого» к граничному трению [5]. В связи с этим возможны некоторые различия во влиянии отдельных параметров трения на коэффициент f при фреттинг-изнашивании и при фреттинг-коррозии. Так, например, добавки SiC с концентрацией 80 г/л в термообработанное покрытие NiP при нагрузке $P = 1$ Н и амплитуде сдвига $A = 500$ мкм существенно повышают коэффициент трения фреттинг-изнашивания, но практически не изменяют этот коэффициент при фреттинг-коррозии.

Как показали исследования (табл. 1), в большинстве рассмотренных случаев интенсивность фреттинг-коррозии выше интенсивности фреттинг-изнашивания. Эти результаты свидетельствуют об определенном вкладе коррозионной составляющей в интенсификацию изнашивания при фреттинг-коррозии. Однако при больших нагрузках механические факторы могут вызывать такие катастрофические явления как схватывание и задир, повышающие фреттинг-изнашивание по сравнению с фреттинг-коррозией. Как это, например, произошло при фреттинг-изнашивании покрытий в исходном состоянии с добавками SiC под нагрузкой 10 Н.

При фреттинг-коррозии разрушение поверхностей трения покрытий происходило следующим образом: на поверхности трения химическая составляющая изнашивания (коррозия) проявлялась в виде питтингов или разъедания поверхности вокруг карбидов кремния, т.е. процесс разрушения был направлен вглубь покрытия, а механическая составляющая изнашивания срезала послойно разрушенные слои покрытия. При фреттинг-изнашивании химическая составляющая проявлялась в виде обра-

зования оксидных пленок на поверхности трения, действие механической составляющей при этом было направлено на срез этих пленок. При малых нагрузках (до 5 Н) оксидные пленки оказывали успешное сопротивление износу. При приложении нагрузки 10 Н оксидные пленки разрушались и как абразив интенсифицировали изнашивание.

Полученные результаты по изнашиванию указывают на то, что механические факторы при фреттинг-коррозии оказывают преобладающее влияние на процесс изнашивания по сравнению с влиянием химических факторов. На это указывает идентичный характер влияния различных параметров трения (нагрузки, амплитуды сдвига, термообработки и состава покрытий) на интенсивность изнашивания как при фреттинг-изнашивании, так и при фреттинг-коррозии. Например, если при концентрации карбидов кремния 80 г/л интенсивность фреттинг-изнашивания покрытия максимальна, то при этой же концентрации максимальна и фреттинг-коррозия покрытия.

Выводы

При трении скольжения, фреттинг-изнашивании и фреттинг-коррозии независимо от термической обработки и наличия упрочняющих добавок карбидов кремния изнашивание исследованных покрытий имеет абразивно-окислительный характер.

При трении скольжения коэффициент трения покрытий существенно выше, чем при фреттинг-изнашивании (в 1,5 – 2 раза) и фреттинг-коррозии (примерно в 3,5 раза), а высота изношенного слоя при этом значительно меньше.

Интенсивность фреттинг-коррозии (при отсутствии схватывания и заедания) выше интенсивности фреттинг-изнашивания. Механические факторы при фреттинг-коррозии оказывают преобладающее влияние на процесс изнашивания покрытий по сравнению с влиянием химических факторов. При фреттинге в растворе NaCl влияние механических факторов облегчается действием коррозии, проявляющемся в разрушении поверхностных

слоев. При фреттинг-изнашивании действие химических факторов направлено на формирование оксидных пленок, которые затрудняют механическое изнашивание при малых нагрузках и способствуют этому изнашиванию (как абразив) при больших нагрузках.

Наименьшее фреттинг-изнашивание и фреттинг-коррозию, а также изнашивание при трении скольжения обеспечивает термообработанное NiP покрытие без добавок SiC.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Асланян И.Р., Селис Ж.П., Шустер Л.Ш. Влияние добавок карбидов кремния SiC на изнашивание электролитических NiP покрытий. // Трение и износ. – 2010 (31), № 5, 353-361.

2. I. Garcia, J. Fransaer, J.-P. Celis. Electrodeposition and sliding wear resistance of nickel composite coatings containing micron and submicron SiC particles. // Surface and Coatings Technology 148 (2001) pp. 171-178.
3. Асланян И.Р., Селис Ж.П., Шустер Л.Ш. Влияние добавок карбидов кремния SiC на фреттинг-изнашивание электролитических NiP покрытий. // Трение и износ. – 2011 (32), № 2, 30-35.
4. Асланян И.Р., Селис Ж.П., Шустер Л.Ш. Фреттинг-коррозия электролитических NiP покрытий. // Трение и износ. – 2011 (32), № 6, 489-494.
5. Мышкин, Н.К., Петроковец, М.И. Трение, смазка, износ. Физические основы и технические приложения трибологии. М.: Физматлит, 2007, 368с

WEAR OF NiP COATINGS

© 2011 I.R. Aslanyan, L.Sh. Schuster
Ufa State Aviation Technical University