

ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА И ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ СОВМЕСТИМОСТЬ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СЛОЁВ И ПОКРЫТИЙ

Бутенко В.И., Зимбикевич Д.В.

Донской государственный технический университет, г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация

Аннотация. Приведены результаты сравнительных исследований зависимости эксплуатационных свойств поверхностей с нанесёнными на них функциональными слоями и покрытиями от их технологической совместимости с основным материалом деталей. Исследованиям подвергались детали с модифицированным медью поверхностным слоем, никельфосфорным покрытием и многокомпонентными функциональными слоями на полимерной основе. Установлено, что одно и то же покрытие или функциональный слой на разных материалах показывает разные значения коэффициента трения и разный характер его изменения от времени контактного взаимодействия с контртелом, а также разные показатели по выносливости и коррозионно-усталостной прочности, что объясняется их технологической совместимостью с основным материалом детали, зависящей от способа предварительной обработки поверхности.

Ключевые слова. Функциональный слой, покрытие, деталь, технологическая совместимость, износостойкость, выносливость, коррозионно-усталостная прочность.

OPERATIONAL PROPERTIES AND TECHNOLOGICAL CO-ACCEPTANCE OF FUNCTIONAL LAYERS AND COATINGS

Butenko V.I., Zimbikevich D.V.

Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russian Federation

Abstract. The results of comparative studies of the dependence of the operational properties of surfaces with functional layers and coatings deposited on them on their technological compatibility with the main material of the parts are presented. Investigations were carried out on parts with a copper-modified surface layer, a nickel-phosphorus coating, and multicomponent functional layers based on a polymer. It has been established that the same coating or functional layer on different materials shows different values of the coefficient of friction and the different nature of its change from the time of contact interaction with the counterbody, as well as different indicators of endurance and corrosion-fatigue strength, which is explained by their technological compatibility with the main material of the part, depending on the method of preliminary surface treatment.

Key words. Functional layer, coating, detail, technological compatibility, wear resistance, endurance, corrosion-fatigue strength.

Совершенствование продукции машиностроительного производства невозможно без применения новых прогрессивных технологических процессов, позволяющих существенно повысить работоспособность деталей машин, эксплуатируемых в экстремальных условиях. Этим вызвано расширяющееся применение в ведущих отраслях машиностроения технологий, связанных с созданием на поверхностях деталей машин, модифицированных многокомпонентных функциональных слоёв и покрытий (МиМФСип). Однако существующие и промышленно освоенные методы создания на поверхностях деталей МиМФСип имеют как достоинства, так и недостатки, характеризующиеся, например, недостаточной прочностью сцепления их с основным материалом поверхностного слоя, возникновением дополнительных остаточных напряжений и т.д. Как показывают исследования ведущих научных школ в области машиностроительного производства [1 – 3], во многих случаях эти недостатки и проблемы обусловлены технологической совместимостью (ТС) компонентов МиМФСип с основным материалом детали, исследованием которой не уделялось должного внимания. При этом установлено, что наибольшее влияние ТС МиМФСип с основным материалом детали оказывает на процессы трения и износа поверхностей деталей, их усталостную и коррозионно-усталостную прочность [1].

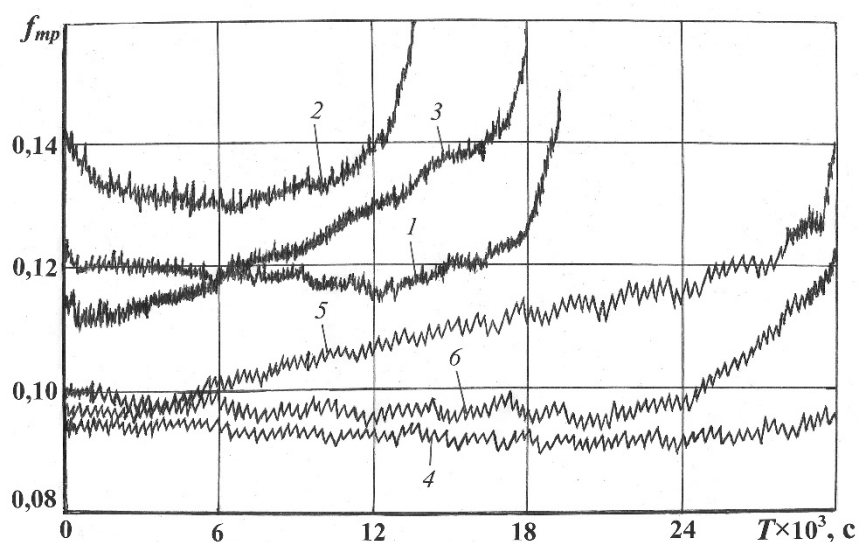
На трибокомплексе Tribotester T-11 выполнены исследования хода эволюции процесса трения деталей из различных материалов с разными покрытиями и слоями (по контакту площадей) на одних и тех же режимах: давление контактирующих поверхностей $p = 1,5$ МПа; скорость относительного

перемещения деталей $V_{ск} = 0,5$ м/с; средняя температура в зоне контакта $\Theta = 80^\circ\text{C}$. Функциональные слои и покрытия на поверхности образцов наносились по технологиям, описанным в работе [4]. Представленные на рис. 1 изменения коэффициента трения $f_{тр}$ от времени контактного взаимодействия поверхностей T свидетельствуют о том, что нанесённые на поверхности исследуемых образцов функциональные слои и покрытия оказывают различное влияние на эволюцию коэффициента трения $f_{тр}$, что может быть объяснено их ТС с основным материалом образцов. Одно и то же покрытие или функциональный слой на разных материалах показывает разные значения коэффициента трения $f_{тр}$ и разный характер его изменения от времени контактного взаимодействия с контртелом.

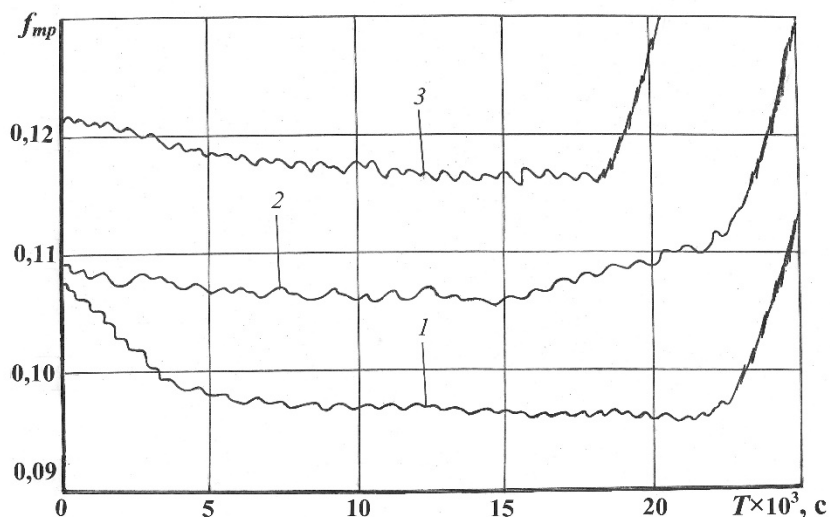
На специальной установке, описание которой приведено в работе [5], исследовалось влияние ТС МиМФСИП на выносливость деталей, в качестве которых были приняты образцы диаметром $16 \pm 0,1$ мм и длиной 80 мм. С целью обеспечения предсказуемого места разрушения по середине образцов профильным шлифовальным кругом с радиусом закругления 2 мм делалось углубление размером $2 \pm 0,01$ мм. Исследованиям подвергались образцы с МиМФСИП, прошедшие только шлифование, и образцы с МиМФСИП, поверхности которых были упрочнены обкаткой роликом с радиусом рабочего профиля 12 мм. Для проведения исследований отбирались образцы, шероховатость поверхностей которых до нанесения на них МиМФСИП составляла $Ra = 0,8 - 1,2$ мкм. При этом толщина поверхностного слоя с изменёнными физико-механическими свойствами для шлифованных образцов должна была находиться в диапазоне $\Delta H = 0,25 - 0,30$ мм, для упрочнённых образцов – $\Delta H = 0,35 - 0,40$ мм, а величина технологических остаточных напряжений должна была быть для шлифованных образцов в диапазоне $\sigma_{ост} = 300 - 320$ МПа, для упрочнённых – $\sigma_{ост} = 360 - 380$ МПа. Определялось число циклов нагружений (число оборотов) образцов до их разрушения при напряжении изгиба $\sigma_{изг} = 1,5$ МПа, напряжении кручения $\tau_{кр} = 0,8$ МПа и частоте вращения образца $n = 120$ об/мин. Для оценки

влияния ТС МиМФСИП на выносливость деталей вычислялось отношение N_y^2 / N_y^1 , где N_y^1 , N_y^2 – число циклов нагружений образцов без МиМФСИП и с ними соответственно.

В табл. 1 приведены результаты исследований на выносливость образцов, полученные как средние по десяти последовательно выполненным экспериментам при одной и той же нагрузке и частоте вращения исследуемых образцов. Анализ полученных данных свидетельствует о том, что величина принятого показателя выносливости N_y^2 / N_y^1 зависит от химического состава исследуемого образца, способа предварительной обработки поверхности и вида функционального слоя или покрытия. При этом характер проявления ТС функциональных слоёв и покрытий по отношению к химическому составу материалов деталей и способов их финишной обработки одинаков как при изменении коэффициента трения $f_{тр}$ для деталей трибосистем, так и по показателю выносливости N_y^2 / N_y^1 .



а



б

Рисунок 1 - Эволюция коэффициента трения $f_{тр}$ от времени контактного взаимодействия поверхностей Т при наличии: а – медного слоя (1 – 3) и никельфосфорного покрытия (4 – 6) на поверхностях образцов из сталей 12ХН3А (1, 4), 50 (2, 5) и сплава 45Х25Н20С2А (3, 6); б – слоя 4 на поверхностях образцов из сталей 12ХН3А (1), 50 (2) и сплава 45Х25Н20С2А (3)

При проведении комплексных исследований в качестве эксплуатационных показателей поверхностей исследуемых слоёв и покрытий были приняты интенсивность весового изнашивания J и сопротивление контактно-усталостному выкрашиванию $I_{кy}$ исследуемых образцов с МиМФСИП, определяемые по методикам на специальном стенде, описание которых дано в работе [1].

Результаты исследований приведены в табл. 2, из анализа которых следует, что весовое изнашивание J и сопротивление контактно-усталостному выкрашиванию $I_{кy}$ образцов зависят от их материала и вида МиМФСИП, нанесённого на поверхность, что также свидетельствует о зависимости эксплуатационных показателей, создаваемых на рабочих поверхностях деталей МиМФСИП от их ТС с основным материалом деталей.

Таким образом, представленные результаты выполненных исследований дают основание сделать вывод о том, что для определения возможностей и областей применения той или иной технологии модифицирования материала поверхностного слоя детали или создания на нём многокомпонентного функционального слоя необходимо иметь надёжную и качественную информацию о ТС модифицирующих элементов с основным материалом детали для конкретных условий эксплуатации и производить выбор МиМФСИП с учётом их совместимости.

Таблица 1 - Результаты исследований образцов на выносливость

Материал образца	Способ финишной обработки поверхности	Вид МиМФСИП	N_y^2 / N_y^1
Сталь 12ХН3А	Шлифование	Медный	1,09
		Никельфосфорный	1,18
		Состав на полимерной основе	1,13
	Обкатка роликом	Медный	1,12
		Никельфосфорный	1,24
		Состав на полимерной основе	1,15
Сталь 18Х2Н4МА	Шлифование	Медный	1,11
		Никельфосфорный	1,32
		Состав на полимерной основе	1,10
	Обкатка роликом	Медный	1,27
		Никельфосфорный	1,36
		Состав на полимерной основе	1,26

Сталь ШХ15	Шлифование	Медный	1,15
		Никельфосфорный	1,26
		Состав на полимерной основе	1,13
	Обкатка роликом	Медный	1,21
		Никельфосфорный	1,49
		Состав на полимерной основе	1,15
Сплав 45Х25Н20С2	Шлифование	Медный	1,10
		Никельфосфорный	1,28
		Состав на полимерной основе	1,11
	Обкатка роликом	Медный	1,23
		Никельфосфорный	1,52
		Состав на полимерной основе	1,19

Таблица 2 - Интенсивность изнашивания J и критерий контактно-усталостного выкрашивания $I_{ку}$ поверхностей образцов с исследуемыми слоями и покрытиями

Материал образца	Вид МиМФСИП							
	Медный слой		Никельфосфорное покрытие		Полиэтилен + графит		Полиэтилен + сплав Вуда	
	J , мг/ч	$I_{ку}$	J , мг/ч	$I_{ку}$	J , мг/ч	$I_{ку}$	J , мг/ч	$I_{ку}$
12ХН3А	4,9	1,09	2,9	1,11	5,5	1,17	5,0	1,16
18Х2Н4МА	5,0	1,09	2,8	1,12	5,8	1,16	5,1	1,14
35ХГСА	4,7	1,10	2,5	1,14	6,2	1,15	5,2	1,13
50	4,4	1,12	2,0	1,17	5,2	1,18	5,0	1,15
50ХН	4,4	1,11	2,1	1,16	4,9	1,19	4,8	1,17
110Г13Л	4,1	1,15	3,1	1,09	6,8	1,12	6,2	1,11
ШХ15	4,3	1,12	3,0	1,10	6,3	1,15	5,6	1,13
45Х25Н20С2	4,5	1,11	2,8	1,13	6,1	1,14	5,7	1,12
ЖС6У	4,3	1,10	3,0	1,12	5,7	1,16	5,9	1,14
СЧ15	3,8	1,06	3,4	1,07	3,5	1,10	3,8	1,09
АЧС-3	3,7	1,07	3,4	1,08	3,4	1,10	3,7	1,08

Список использованных источников

1. Бутенко, В.И. Технологическая совместимость функциональных слоёв и покрытий / В.И. Бутенко. – Ростов-на-Дону: Издат. центр ДГТУ, 2020. – 169 с.
2. Сулов, А.Г. Технологическое обеспечение и повышение эксплуатационных свойств деталей и их соединений / А.Г. Сулов, В.П. Фёдоров [и др.] / Под общ. ред. А.Г. Сулова. – М.: Машиностроение, 2006. – 448 с.
3. Фёдоров, С.В. Основы трибоэргодинамики и физико-химические предпосылки теории совместимости / С.В. Фёдоров. – Калининград: Изд-во КГТУ, 2003. – 415 с.
4. Бутенко, В.И. Многофункциональные и многокомпонентные функциональные слои на поверхностях деталей машин / В.И. Бутенко. – Ростов-на-Дону: Издат. центр ДГТУ, 2016. – 235 с.
5. Бутенко, В.И. Структура и свойства материалов в экстремальных условиях эксплуатации / В.И. Бутенко. – Таганрог: Изд-во Технологического ин-та ЮФУ, 2007. – 264 с.