

УДК 621.771.

ИСПЫТАНИЯ МАТЕРИАЛОВ И ПОКРЫТИЙ, РАБОТАЮЩИХ В УСЛОВИЯХ СУХОГО ТРЕНИЯ И СО СМАЗКОЙ, НАНЕСЁННЫХ УДАРНО-ФРИКЦИОННЫМ СПОСОБОМ

Кадошников В. И., Платов С. И., Терентьев Д. В., Яковлева И. Л.*,
Коршунов Л. Г.*

*ГОУ ВПО Магнитогорский гос. технический университет им. Г.И. Носова,
ИФМ УрО РАН, Екатеринбург

Ударно-фрикционный способ нанесения покрытий, реализуемый с помощью быстровращающихся металлических щёток, широко применяется на заводах Уральского региона. С помощью этого способа наносятся антифрикционные, износостойкие, восстанавливающие, антикоррозионные, приработочные, антисхватывающие и другие покрытия из алюминия, меди, цинка, свинца, латуни, бронзы, фторопласта формирующиеся на поверхности изделий в виде сплошной пленки толщиной 0,3... 100 мкм. Способ позволяет наносить многослойные покрытия типа «металл + металл» и «металл + полимер».

Простейшая схема ударно-фрикционного способа нанесения покрытий представлена на рис. 1.

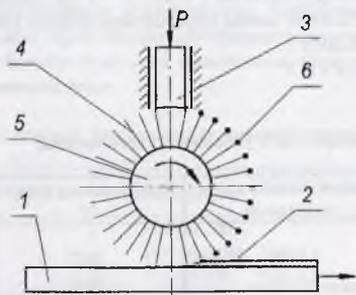


Рис. 1.

Современное представление о физической сущности этого процесса состоит в следующем. Для нанесения на обрабатываемую поверхность 1 какого либо покрытия 2 элемент материала покрытия 3 (ЭМП) прижимают к ворсу 4 металлической проволочной щётки 5. Таким образом, щётка 5 с одной стороны находится в контакте с ЭМП 3, а с другой стороны контактирует с обрабатываемой поверхностью 1. При вращении щётки 5 происходит разогрев ЭМП 3 и обрабатываемой поверхности 1 за счёт удара ворса 4 и дальнейшего скольжения его по ЭМП 3, а затем и по обрабатываемой поверхности 1. Разогретый материал покрытия с ЭМП 3 переносится ворсом 4 в виде капли 6 на обрабатываемую поверхность 1.

Ворсинка 4 щётки 5 с каплей 6 материала покрытия ударяется о поверхность 1 предназначенную для нанесения покрытия, за счёт чего происходит локальный нагрев площадки контакта. В результате происходит срезание поверхностного слоя и обновление поверхности, высокие температуры выжигают на поверхности и в приповерхностном слое остатки смазки, воды и газов. Всё это приводит к получению ювенильных поверхностных участков с энергией активации, достаточной для сцепления двух материалов – материала покрытия и материала обрабатываемой поверхности, и образованию между ними узлов схватывания. Проведены исследования структурных изменений в поверхностных слоях при нанесении покрытий ударно-фрикционным способом.

За годы промышленной эксплуатации способа был получен эффект повышения стойкости деталей компрессоров, топливной аппаратуры, барабанов мокрого волочения, подшипников скольжения, прокатных валков, плунжеров гидроуравновешивания валков, плунжеров гидросбива окалины, металлорежущего и накатного инструмента и др. В каждом конкретном случае эффект был получен из-за подбора режимов обработки деталей и наносимого материала покрытия.

В предлагаемой статье приводятся результаты трибологических испытаний покрытий некоторых материалов, применяемых при обработке прокатных валков, плунжеров гидроуравновешивания прокатных валков и плунжеров гидросбива окалины.

Испытания проводили в условиях трения скольжения по схеме «плоский образец – пластина» при возвратно-поступательном движении образца. Плоские образцы представляли собой пластинки размером 12x12x3 мм. Покрытия были нанесены ударно-фрикционным способом на поверхность (12x12 мм) стальных пластинок. Контртелом служила пластина из стали 45 размером 80x60x8 мм, твердостью $HRC=50$. Поверхности трения образцов и контртела шлифовали механически до 8 класса чистоты. Скорость скольжения составляла 0,07 м/с. Испытания осуществляли без смазки при нагрузке 16,7 Н (1,7 кгс), а также со смазкой И-30 при нагрузке 98 Н (10 кгс). Путь трения составлял 8000 см, длина рабочего хода образца – 4 см. В процессе испытания измеряли и записывали на ленте электронного потенциометра силу трения. Измерение силы трения производили с помощью упругого элемента – стального кольца с наклеенными на него тензометрическими датчиками. Коэффициент трения (f) определяли как частное от деления силы трения (F) на нормальную нагрузку (N): $f = F/N$. Линейную интенсивность изнашивания образца Ih рассчитывали по формуле $Ih = \Delta Q/\rho \cdot L \cdot S$, где ΔQ – потери массы образца, г; ρ – плотность материала образца (покрытия), г/см³; L – путь трения, см; S – геометрическая площадь контакта, см². Потери массы образца определяли взвешиванием на аналитических весах с точностью 0,0001 г.

Результаты испытаний приведены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1. Результаты испытаний материалов и покрытий в условиях сухого трения

№ п.п.	Материал	Интенсивность изнашивания Ih	Коэффициент трения f
1	Латунь Л63:		
	а) покрытие, б) монокристалл	1,6 · 10 ⁻⁸ 5,0 · 10 ⁻⁸	0,67 0,41
2	Медь:		
	а) покрытие, б) монокристалл	1,8 · 10 ⁻⁸ 1,4 · 10 ⁻⁸	0,59 0,79
3	Алюминий:		
	а) покрытие, б) монокристалл	1,6 · 10 ⁻⁹ 8,0 · 10 ⁻⁹	0,30 0,50
4	Покрытие алюминий + фторопласт	8,0 · 10 ⁻⁹	0,30
5	Покрытие медь + фторопласт	1,6 · 10 ⁻⁸	0,65
6	Фторопласт – монокристалл	1,1 · 10 ⁻⁸	0,15
7	Стальная подложка:		
	а) шлифованная, б) после обработки щеткой	5,0 · 10 ⁻⁹ 5,0 · 10 ⁻⁹	0,60 0,70

Из табл. 1 видно, что при рассматриваемом режиме сухого трения скольжения взаимодействие поверхностей контактирующих материалов носит, преимущественно, адгезионный характер, о чем свидетельствуют относительно высокие значения коэффициентов трения испытываемых пар материалов. В данных условиях трения покрытия из латуни и алюминия характеризуются соответственно в 3 и 5 раз меньшей интенсивностью изнашивания, чем монолитные образцы латуни и алюминия.

Нанесение слоя фторопласта на алюминиевое покрытие не привело к увеличению сопротивления изнашиванию и к изменению коэффициента трения двухслойного покрытия. Напротив, интенсивность изнашивания рассматриваемого комбинированного покрытия увеличилась в 5 раз. Коэффициент трения остался на уровне $f = 0,30$.

Медное покрытие показало несколько меньшее сопротивление изнашиванию, чем монолитная медь. Дополнительное нанесение фторопластового покрытия на медное покрытие не привело, как и в случае алюминиевого покрытия, к повышению трибологических характеристик двухслойного покрытия. Данный результат можно объяснить ускоренным удалением (уже первые минуты испытания) фторопластового покрытия с поверхности алюминиевого и медного покрытий. Об этом свидетельствуют более высокие значения коэффициентов трения ($f = 0,30$ и $f = 0,65$) рассматриваемых двухслойных покрытий по сравнению с коэффициентом трения монолитного фторопласта ($f = 0,15$).

Из табл. 1 также следует, что обработка щеткой стальной подложки практически не влияет на ее трибологические свойства при рассматриваемых условиях испытаний.

В условиях трения скольжения со смазкой был реализован режим граничного трения, о чем свидетельствуют низкие ($f = 0,05-0,11$) коэффициенты трения испытанных пар (табл. 2). При данном режиме трения покрытия из латуни и алюминия примерно на порядок превосходят монолитные, соответственно, латунь и алюминий в сопротивлении изнашиванию. Коэффициенты трения данных покрытий заметно (~в 2 раза) превосходят коэффициенты трения родственных монолитных материалов. Медное покрытие практически не отличается по трибологическим свойствам от монолитной меди.

Таблица 2. Результаты испытаний материалов и покрытий в условиях трения со смазкой

№ п.п.	Материал	Интенсивность изнашивания I_h	Коэффициент трения f
1	Латунь Л63:		
	а) покрытие, б) монолит	$1,5 \cdot 10^{-9}$ $1,3 \cdot 10^{-8}$	0,11 0,05
2	Медь:		
	а) покрытие, б) монолит	$4,3 \cdot 10^{-9}$ $4,9 \cdot 10^{-9}$	0,08 0,07
3	Алюминий:		
	а) покрытие, б) монолит	$3,2 \cdot 10^{-9}$ $3,2 \cdot 10^{-8}$	0,09 0,05
4	Покрытие алюминий+фторопласт	0	0,08
5	Покрытие медь+фторопласт	0	0,08
6	Фторопласт – монолит	$2,8 \cdot 10^{-8}$	0,04
7	Стальная подложка:		
	а) шлифованная, б) после обработки щеткой	$3,3 \cdot 10^{-9}$ $4,4 \cdot 10^{-9}$	0,09 0,11

Дополнительное нанесение слоя фторопласта на покрытия из алюминия и меди привело к снижению интенсивности изнашивания комбинированных двухслойных покрытий до нулевого уровня. При этом коэффициент трения рассматриваемых покрытий практически не изменился, оставаясь на уровне $f = 0,08$, который в 2 раза выше коэффициента трения монолитного фторопласта. Данный факт может свидетельствовать о нарушении сплошности фторопластового покрытия в процессе испытания.

Обработка щеткой стальной подложки не повлияла на ее сопротивление изнашиванию и коэффициент трения, как это наблюдалось и в случае сухого трения скольжения (см. табл. 1).

Заключение

Проведенные испытания показали, что нанесенные ударно-фрикционным способом на стальную подложку покрытия из латуни и алюминия обладают значительно более высоким сопротивлением изнашиванию, чем монолитные соответственно латуни и алюминий, при испытаниях как в условиях сухого трения скольжения, так и, особенно, при трении со смазкой. При трении со смазкой интенсивность изнашивания данных покрытий примерно на порядок ниже, чем у соответствующих монолитных материалов. Высокое сопротивление изнашиванию покрытий из латуни и алюминия может быть обусловлено не только свойствами самих покрытий, но и (при частичном повреждении и износе покрытия) влиянием стальной подложки, которая по износостойкости может превосходить рассматриваемые покрытия. Прежде всего, это касается испытаний покрытий в условиях сухого трения (см. табл. 1). Для более объективной оценки трибологических свойств анализируемых покрытий, очевидно, было бы целесообразным проведение дополнительных испытаний покрытий из алюминия и латуни, нанесенных на подложки, соответственно, из алюминия и латуни. Медное покрытие не имеет преимуществ в износостойкости перед монолитной медью. Нанесение на покрытия из алюминия и меди дополнительного слоя фторопласта существенно повышает сопротивление рассматриваемых комбинированных покрытий изнашиванию при трении со смазкой и не оказывает положительного влияния на износостойкость указанных покрытий при сухом трении скольжения, когда развивается преимущественно адгезионный вид изнашивания. Обработка щеткой стальной подложки не влияет на трибологические свойства подложки.

УДК 620.186.4:621.78

К ВОПРОСУ ДЕФОРМАЦИИ СТАЛЕЙ ЛЕДЕБУРИТНОГО КЛАССА С ДИФФУЗИОННЫМ УПРОЧНЕНИЕМ ПОВЕРХНОСТИ

Степанкин И. Н., Панкратов И. А.

*Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого,
Гомель*

Введение

Для деталей машин и режущего инструмента, работающих в условиях изнашивания и повышенных нагрузок, важными эксплуатационными свойствами являются твердость и прочность рабочих поверхностей. Обычно подобные детали и инструменты изготавливаются из легированных сталей, что не всегда приводит к желаемому увеличению износостойкости при сохранении заданной прочности материала.