

ВОССТАНОВЛЕНИЕ ПОВЕРХНОСТИ ТРЕНИЯ СКОЛЬЖЕНИЯ ГАЗОДИНАМИЧЕСКИМ НАПЫЛЕНИЕМ ПОКРЫТИЯ ТИПА «ЛАТУНИ»

Архипов В.Е., Москвитин Г.В., Пугачев М.С.

*Институт машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук,
Москва*

Ключевые слова: газодинамическое напыление, покрытие типа «латуни», диффузия, фазовый состав, когезия, трибологические свойства.

Аннотация. Работа направлена на исследование триботехнических характеристик покрытия типа «латуни», полученного методом газодинамического нанесения покрытий и оценки на их влияние структуры нанесенного слоя. Покрытие формируется из механической смеси частиц порошка меди, цинка и оксида алюминия, в процессе нанесения слоя за счёт процессов диффузии меди в цинк формируются соединения электронного типа на базе CuZn_3 (ϵ – фазы) и на базе Cu_5Zn_8 (γ -фазы), массовая доля которых существенно зависит от температуры напыления и коэффициента перекрытия. В результате сравнения двух газодинамических покрытий на основе меди и медь-цинк (типа «латуни») в условиях масляного голодания установлено, что интенсивность изнашивания покрытия меди почти в 4 раза больше, чем у покрытия типа «латуни». Покрытие типа «латуни», имеет градиентную по твёрдости и фазовому составу структуру на основе меди твёрдостью $\approx 106\text{HV}$, цинка $\approx 50\text{HV}$ и соединений электронного типа (ϵ - и γ – фазы) $\approx 170\text{HV}$.

RESTORATION OF THE SLIDING FRICTION SURFACE BY GAS-DYNAMIC SPRAYING OF THE "BRASS" TYPE COATING

Arkhipov V.E., Moskvitin G.V., Pugachev M.S.

*Mechanical Engineering Research Institute of the Russian Academy of Sciences,
Moscow*

Keywords: gas-dynamic spraying, "brass" type coating, diffusion, phase composition, cohesion, tribological properties.

Abstract. The work is aimed at studying the tribotechnical characteristics of the "brass" type coating obtained by the method of gas-dynamic coating and assessing the influence of the structure of the applied layer on them. The coating is formed from a mechanical mixture of copper, zinc and aluminum oxide powder particles, during the deposition of the layer, due to the diffusion of copper into zinc, electronic type compounds based on CuZn_3 (ϵ – phase) and Cu_5Zn_8 (γ -phase) are formed, the mass fraction of which significantly depends on the deposition temperature and the overlap coefficient. As a result of comparing two gas-dynamic coatings based on copper and copper zinc (of the "brass" type) under oil starvation conditions, it was found that the wear intensity of the copper coating is almost 4 times greater than that of the "brass" type coating. The "brass" type coating has a gradient in hardness and phase composition structure based on copper with a hardness of $\approx 106\text{HV}$, zinc $\approx 50\text{HV}$ and compounds of the electronic type (ϵ - and γ –phases) $\approx 170\text{HV}$.

Сплавы меди и цинка (латуни), а также меди и олова (бронзы) достаточно широко используются для поверхности трения скольжения (подшипники). При газодинамическом напылении механической смеси частиц меди, цинка и оксида алюминия (корунда) за счёт процесса диффузии меди в цинк формируются соединения электронного типа на базе CuZn_3 (ϵ – фазы) и на базе Cu_5Zn_8 (γ -

фазы), массовая доля которых существенно зависит от температуры напыления и коэффициента перекрытия (табл. 1) [1, 2].

Табл. 1. Фазовый анализ покрытия

Т°С	Массовая доля металлов и фаз, %							
	Cu		Zn		ε - фаза		γ - фаза	
	Смещение сопла, мм							
	2	3	2	3	2	3	2	3
270	87,9±1,0	83,8±0,8	1,44±0,17	1,3±0,1	5,3±0,9	8,5±0,9	-	-
360	62,0±0,9	69,0±0,7	7,9±0,6	12,6±0,6	7,9±0,8	10,4±0,5	17,0±2,0	-
450	40,5±0,8	56,0±0,8	9,0±0,6	24,0±0,6	11,4±0,7	12,0±0,7	33,0±0,2	-

Формирование фаз присущих латуням за столь незначительный промежуток времени обусловлено деформацией меди и измельчением цинка при воздействии на них твёрдых частиц корунда и увеличением скорости диффузии, которая составляет при перекрытии 64% (смещение сопла на 2мм) - $1,14 \times 10^{-12} \text{ м}^2/\text{с}$, а при перекрытии 55% (смещение сопла на 3 мм) - $0,11 \times 10^{-13} \text{ м}^2/\text{с}$ [1,2].

Таким образом, газодинамическое напыление механической смеси частиц меди и цинка сопровождается формированием покрытия, содержащего в зависимости от параметров напыления разное количество меди ($\approx 106 \text{ HV}$), цинка ($\approx 50 \text{ HV}$) и соединения электронного типа (CuZn_3 и Cu_5Zn_8) твёрдостью порядка $\approx 170 \text{ HV}$.

В покрытии выявляется оксид алюминия (корунда), массовая доля которого составляет $\approx 2,2\%$, что может приводить к износу сопряжённых поверхностей трения. Его частицы размещены, в основном, по границам частиц меди, цинка и соединений электронного типа, и их размер, как правило, не превышает 2 мкм [3].

Исследование поверхности контртел из стали ШХ15, термически обработанных на твёрдость 60-62 HRC после испытания показывает, что качество их поверхности повышается (табл. 3) [4].

Табл. 3. Результаты измерения микрогеометрии поверхности образца с покрытием меди и контртела

Рабочая среда	Шероховатость, мкм					
	До испытания		Класс чистоты, V	После испытания		Класс чистоты, V
	R _a	R _z		R _a	R _z	
	Контртело					
Масло И-20А	0,135	0,785	10-11	0,057	0,396	11-12
Литол 24	0,135	0,847	10-11	0,084	0,510	11
Образец с покрытием						
Масло И-20А	0,292	0,855	9	0,15	2,189	10
Литол 24	0,073	0,833	11	0,116	1,298	10-11

В таком случае, воздействие частиц корунда расположенных в нанесённом покрытии на сопряжённую поверхность можно охарактеризовать как обработку наждачным кругом.

Исследования поверхности по дополнительным параметрам R_z и R_t позволяют выявить, что у контртела они уменьшаются, а у образца с покрытием

увеличиваются. Можно предположить, что наличие на поверхности покрытия системы риск величиной до 2×10^{-6} м (R_t) при общем высоком классе чистоты поверхности (10-11) может оказать положительное влияние на сопротивление износу пары трения сталь ШХ15 – покрытие меди за счёт формирования масляных канавок.

Испытания покрытия меди в консистентной и жидкой смазочной среде показали, что износостойкость покрытия меди не уступает износу стали ШХ15 после азотирования в тлеющем разряде [4]

Сравнительные испытания покрытия меди и покрытия типа «латуни», нанесённого при температуре 450°C , в условиях масляного голодания показали, что интенсивность изнашивания покрытия меди почти в 4 раза больше, чем у покрытия типа «латуни» (табл. 4) [5]. При этом, интенсивность изнашивания контртела в паре с покрытием типа «латуни» на несколько порядков меньше, что связано с эффектом массопереноса [6].

Табл. 4. Результаты исследования триботехнических характеристик покрытия на основе меди и смеси частиц меди и цинка и контртела

Параметры оценки	Результаты испытания			
	Покрытие Cu	Контртело - кольцо	Покрытие Cu+Zn	Контртело - кольцо
h, мкм – износ	166	20	12	$\approx 0,01$
μ – к-т трения	0,6	0,6	0,88	0,88
q, МПа – конт. давл.	0,6	0,6	5,9	5,9
$I \cdot 10^{-8}$ – инт-ть изн.	3,7	1,5	1,0	$\approx 0,01$
$K \cdot 10^{-8}$, МПа ⁻¹ – коэф. износа	6,2	2,5	0,17	$\approx 0,01$

Выводы

1. При напылении покрытия с использованием механической смеси частиц меди, цинка и оксида алюминия (корунда) формируется градиентная по твёрдости и фазовому составу структура на основе меди твёрдостью $\approx 106\text{HV}$, цинка $\approx 50\text{HV}$ и соединений электронного типа (ϵ - и γ – фазы) $\approx 170\text{HV}$, массовая доля которых составляет до: 56,0%, 24%, 12% и 33% соответственно.

2. Испытания покрытия типа «латуни» в условиях масляного голодания показали, что интенсивность изнашивания покрытия меди почти в 4 раза больше, чем у покрытия типа «латуни». При этом, интенсивность изнашивания контртела в паре с покрытием типа «латуни» на несколько порядков меньше, что связано с эффектом массопереноса.

3. Необходимо более широко исследовать триботехнические характеристики покрытия типа «латуни» для оценки их характеристик и области применения технологии газодинамического нанесения покрытий.

Список литературы

1. Архипов В.Е., Муравьёва Т.И., Пугачев М.С., Шкалей И.В. Влияние технологических параметров газодинамического напыления на структурно-фазовые превращения в покрытиях типа «латуни» // Упрочняющие технология и покрытия. – 2020. – №12. – С. 554-560.
2. Архипов В.Е., Муравьёва Т.И., Пугачев М.С., Щербакова О.О. Нанесение покрытия латуни методом газодинамического напыления // ФИХОМ. – 2020. – №2. – С. 18-25.

3. Архипов В.Е., Муравьёва Т.И., Пугачев М.С., Щербакова О.О. Структура и свойства газодинамических покрытий и оценка использования их в парах трения скольжения // Упрочняющие технология и покрытия. – 2020. – №6. – С. 260-266.
4. Архипов В.Е., Лондарский А.Ф., Москвитин Г.В., Пугачев М.С. Газодинамическое напыление: структура и свойства покрытий. – М.: КРАСАНД, 2017. – 240 с.
5. Сачек Б.Я., Мезрин А.М., Архипов В.Е., Лондарский А.Ф. Модифицирование поверхностей трибосопряжений напылением металлических покрытий как средство повышения их фреттингостойкости // Трение и износ. – 2018. – Т. 39. – №4. – С. 24-28.
6. Сачек Б.Я., Архипов В.Е., Мезрин А.М., Муравьёва Т.И., Щербакова О.О. Металлофизическое исследование кинетики фрикционного массопереноса напылённых мягких металлов антифрикционного назначения // Перспективные методы поверхностной обработки деталей машин. – М.: Ленанд, 2018. – С. 409-420.

Сведения об авторах:

Архипов Владимир Евгеньевич – к.т.н., в.н.с.;

Москвитин Геннадий Викторович – д.т.н., профессор, заведующий лабораторией;

Пугачев Максим Сергеевич – н.с.