

УДК: 621.793

EDN: [WWEILL](https://www.weill.ru)



Анализ внутренней структуры газодинамического покрытия латуни

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

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук, Малый Харитоньевский пер., 4, Москва, 101000, Россия

*E-mail: pugachevmax@mail.ru

Аннотация. В работе проведен анализ влияния основных технологических режимов газодинамического напыления покрытия латуни на его внутреннюю структуру. Показано, что изменение температуры напыления, величины смещения напыляющего сопла и времени последующей термической обработки приводят к изменению фазового состава покрытия. Определено, что исследуемое покрытие латуни, имеет четырех фазную структуру и состоит из меди, цинка и электронных соединений ϵ – фазы и γ – фазы. Увеличение величины смещения следующего слоя относительно ранее нанесенного с 0,2 см до 0,3 см для получения сплошного покрытия, приводит к исчезновению γ – фазы. Термическая обработка покрытия в течение 180 мин позволяет получить покрытие близкое по структуре к латунным сплавам Л63-90. Исследуемое покрытие обладает структурой и твердостью покрытий, имеющих высокие трибологические характеристики.

Ключевые слова: покрытие латуни, диффузия, смещение сопла, термическая обработка покрытия, температура напыления

The internal structure of the gas-dynamic coating brass is analyzed

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

Mechanical Engineering Research Institute of the Russian Academy of Sciences, 4 Maly Kharitonyevsky Pereulok, Moscow, 101000, Russia

*E-mail: pugachevmax@mail.ru

Abstract. The paper analyzes the influence of the main technological modes of gas-dynamic spraying of a brass coating on its internal structure. It is shown that a change in the deposition temperature, the displacement of the deposition nozzle, and the time of subsequent heat treatment leads to a change in the phase composition of the coating. It is determined that the brass coating under study has a four-phase structure and consists of copper, zinc and electronic compounds of the ϵ -phase and γ -phase. An increase in the displacement of the next layer relative to the previously applied one from 0.2 cm to 0.3 cm to obtain a solid coating leads to the disappearance of the γ -phase. Heat treatment of the coating for 180 min makes it possible to obtain a coating similar in structure to brass alloys CW501-508L. The investigated coating has the structure and hardness of coatings having high tribological characteristics.

Keywords: brass coating, diffusion, nozzle displacement, coating heat treatment, deposition temperature

1. Введение

Современные технологии нанесения металлов позволяют создавать покрытия с особыми свойствами. К таким покрытиям относятся латунные, полученные методом газодинамического напыления. На свойства и внутреннюю структуру покрытия оказывают влияние технологические факторы напыления, например, температура напыляющего потока воздуха, состав и фракция исходного порошка, последующая термическая обработка сформированного покрытия и т.д. Варьируя технологическими факторами возможно получать покрытия с особыми свойствами, необходимыми для решения конкретной задачи. Так латунные покрытия планируется применять в узлах и деталях, работающих в условиях различного трения, поэтому здесь важна низкая интенсивность изнашивания и низкий коэффициент трения.

2. Постановка задачи (Цель исследования)

Целью работы являлось проведение анализа состава покрытия латуни, полученного газодинамическим напылением, в зависимости от температуры напыления, величины смещения напыляющего сопла и времени последующей термической обработки сформированного покрытия.

3. Методы и материалы исследования

Покрытие латуни было получено из смеси порошков меди, цинка и корунда следующего процентного состава $Cu : Zn : Al_2O_3 = 35\%:35\%:30\%$. Данный состав марки С-01-11 выпускается обнинским центром порошкового напыления [1].

Температура нанесения покрытия на стальную подложку составляла 270, 360 и 450°C.

Так как ширина покрытия за один проход напыляющего сопла не превышала 0,5 см, для получения сплошного покрытия плоской поверхности напыление производилось с перекрытием одного прохода сопла другим и смещением его на 0,2 или 0,3 см.

После нанесения сплошного покрытия на всю поверхность оно подвергалось термической обработке при температуре 420°C в течении от 0 до 180 мин.

Анализ состава покрытия латуни проводился химическим, рентгенофлуоресцентным, рентгеноструктурным фазовым, микрорентгеноспектральным и дюротметрическим методами исследования.

4. Полученные результаты

Рентгенофлуоресцентный анализ показал влияние температуры напыления на процентное содержание химических элементов в покрытии. Так, рост температуры напыления приводил к снижению содержания меди и увеличению цинка, что объяснялось ростом количества частиц цинка, присоединяющихся к поверхности с увеличением её нагрева. По химическому составу покрытие близко к латуням марок Л63-90.

Фазовый состав покрытия, также, менялся с ростом температуры напыляющего воздуха и величиной смещения слоев (таблица 1). При минимальной температуре напыления уже происходили процессы диффузии с появлением электронного соединения ϵ – фазы [2]. Изменение смещения напыляющего сопла с 0,2 до 0,3 см приводило к увеличению доли ϵ – фазы и снижению содержания меди. Увеличение температуры напыления приводило к появлению новой γ – фазы и дальнейшему снижению содержания меди, цинка и ϵ – фазы. Максимальная температура напыления приводила к большему снижению содержания меди, росту содержания цинка и обеих электронных фаз, что связано с увеличением скорости диффузии. Величина смещения сопла также влияла на фазовый состав покрытия, так при смещении сопла на 0,3 см на всех температурных режимах отсутствовало электронное соединение γ – фазы.

Таблица 1. Фазовая структура покрытия.

Температура, °С	Массовая доля, %							
	Медь		Цинк		ϵ - фаза		γ - фаза	
	Величина смещение сопла, см							
	0,2	0,3	0,2	0,3	0,2	0,3	0,2	0,3
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	-
540	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	-

Наличие γ – фазы при смещении 0,2 см объясняется тем, что поверхность покрытия при таком смещении подвергалась воздействию частиц два раза и это приводило к росту интенсивности процесса диффузии и формированию новой фазы.

С помощью микрорентгеноспектрального анализа удалось выяснить, что диффузия меди в цинк шла с двух сторон частицы цинка. Этот анализ подтвердил, что при максимальной температуре потока напыляющего воздуха ускоряется процесс диффузии.

Оценка твердости фаз показала, что максимальной твердостью обладали электронные соединения γ - и ε – фазы и она составляла $\approx 168,7$ HV, твердость меди и цинка соответственно $\approx 106,5$ HV и $\approx 49,7$ HV.

Формирование состава покрытия, близкого к латуням, способствовала последующая термическая обработка покрытия (таблица 2).

Таблица 2. Структура покрытия после последующей термической обработки (ТО).

Время ТО, мин	Массовая доля элементов, химических соединений и фаз, %							
	Наименование фаз и соединений							
	Cu	α – тв. p-p	CuZn (β')	Cu ₅ Zn ₈ (γ)	Zn	ZnO	η - фаза	Общее содержание, %
0	58	-	-	-	23	-	19	100
3	48	1	-	44	7	-	-	100
5	38	14	-	44	-	4	-	100
10	26	16	28	22	-	8	-	100
20	26	17	29	20	-	8	-	100
40	19	30	27	14	-	10	-	100
60	22	34	17	17	-	10	-	100
180	1	58	15	14	-	12	-	100

Термическая обработка в течении 3 мин приводила к созданию четырёхфазной структуры на основе меди ($\approx 48\%$), цинка ($\approx 7\%$), гамма фазы ($\approx 44\%$) и альфа фазы ($\approx 1\%$).

До 10 мин выдержки приводило к снижению содержания меди и γ – фазы, а также повышению оксида цинка и появлению β' - фазы.

Повышение времени ТО до 180 мин приводило к уменьшению меди, повышению α - фазы и снижению содержания β' и γ фаз, что свидетельствовало о преимущественной диффузии цинка в медь.

Осмотр покрытия после напыления выявил области (линии) темно серого и красного оттенка.

В областях темного серого цвета обнаруживалось повышенное содержание оксида цинка.

Увеличение времени ТО до 5 минут приводило к повышению твердости обеих областей, красной на ≈ 20 HV, темно серой на ≈ 40 HV, более высокое время выдержки не влияло на твердость покрытия.

Дальнейшая ТО этих областей приводило к формированию структуры, близкой по составу к латуни, полученной плавкой металлов. Это покрытие должно иметь хорошие трибологические свойства [3].

5. Выводы

Микроспектральный анализ показал наличие преимущественной диффузии меди в цинк.

Смещение сопла с 0,3 см до 0,2 см приводило к формированию нового электронного соединения в покрытии γ – фазы.

Покрытие латуни, полученное методом газодинамического напыления, имело четырех фазную структуру и состояло из меди твердостью $\approx 106,5\text{HV}$, цинка $\approx 49,7\text{HV}$ и электронных соединений ϵ – фаза и γ – фаза $\approx 168,7\text{HV}$.

Получать покрытие типа латуни разного фазового состава возможно, меняя основные технологические параметры напыления: температуру напыления, величину смещения напыляющего сопла и время последующей термической обработки сформированного покрытия.

При ТО в течение 180 мин можно получить газодинамическое покрытие латуни, сходной по структуре со сплавами Л63-90.

Список литературы

1. Димет. Применение технологии и оборудования: сайт. – 2010. – URL: <http://www.dimet-r.narod.ru/> (дата обращения: 21.07.2022).
2. Бокштейн, Б. С. Диффузия в металлах / Б. С. Бокштейн. – М.: Metallurgia, 1978. – 248 с.
3. Архипов, В. Е. Газодинамическое напыление: структура и свойства покрытий / В. Е. Архипов, А. Ф. Лондарский, Г. В. Москвитин, М. С. Пугачев. – М.: КРАСАНД, 2017. – 240 с.