

СТРУКТУРА И СВОЙСТВА ПОКРЫТИЙ $ZnAl_{30}Cu_4$, ПОЛУЧЕННОГО МЕТОДОМ ЦЕНТРОБЕЖНОЙ ИНДУКЦИОННОЙ НАПЛАВКИ

А.И. КОМАРОВ, Д.В. ОРДА, И.А. СОСНОВСКИЙ, А.А. КУРИЛЕНКО
Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси,
г. Минск, Республика Беларусь

В статье представлены результаты исследования структуры и свойств покрытия из сплава $ZnAl_{30}Cu_4$, сформированного на внутренней поверхности втулки методом центробежного формования в условиях индукционного нагрева. Показано, что кристаллизация в условиях центробежного вращения приводит к формированию градиентной структуры наплавленного слоя с включением частиц Zn-Cu, наличие которых способствует стабилизации термофизических параметров сплава.

Цинк является четвертым металлом в мире по распространению, после железа, алюминия и меди. В настоящее время около половины производимого цинка используется в качестве коррозионных покрытий на сталях и сплавах, а также в качестве легирующих добавок. Кроме того, цинк и его сплавы широко используются в качестве конструкционных материалов, а также для изготовления деталей триботехнического назначения [1]. Широко известна группа сплавов на основе системы Zn-Al-Cu обладающих антифрикционными свойствами при нагрузках до 25МПа и скоростях скольжения до 15 м/с [2].

Однако, большая разница в термофизических параметрах (коэффициент термического линейного расширения (КТЛР)) сплавов Zn-Al и стали приводит к формированию в процессе наплавки дефектов на границе раздела фаз покрытие-основа. Данная проблема может решаться различными путями, например, введением в структуру керамических или интерметаллидных частиц, увеличением скорости охлаждения, модифицированием и т.п.

Цель настоящей работы – исследовать структуру и механические свойств покрытия $ZnAl_{30}Cu_4$, а также оценить наличие и характер дефектов на границе раздела фаз покрытие – основа.

Покрытие на внутренней поверхности цилиндрической стальной заготовки из стали 20 (ГОСТ 1050-2013) наплавлялось центробежным формованием шихты, состоящей из сплава заданного состава и покровного флюса (50% NaCl, 30% NaF, 10% KCl, 10% Na_3AlF_6) в количестве 5% от массы наплавляемого сплава.

Нагрев производился ступенчато до температуры 720-740 °С при скорости вращения 1500 мин⁻¹ с последующей изотермической выдержкой в течение 5 минут и охлаждением до 300-350 °С [3].

Центробежная индукционная наплавка осуществлялась на оборудовании, включающем генератор токов высокой частоты (60 кВт, 66 кГц), рамочный

дугообразный индуктор, программный регулятор ТРМ 151, инфракрасный пирометр TemPro-2200 и установку центробежной индукционной наплавки (конструкции ОИМ НАН Беларуси) с регулируемой частотой вращения.

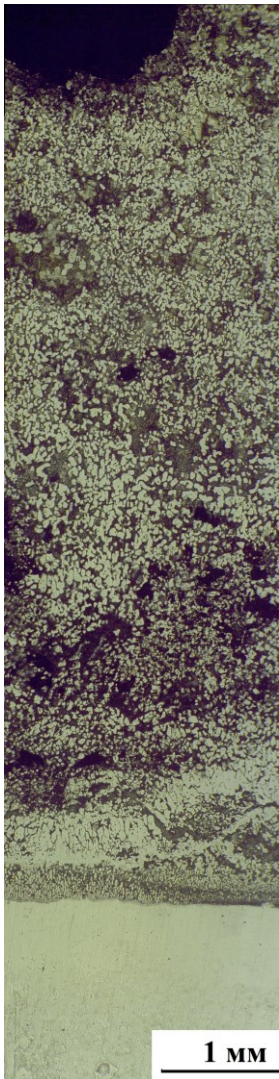


Рисунок 1 – Структура покрытия из сплава ZnAl30Cu4

Триботехнические испытания проводили на многофункциональном трибометре MFT-5000 (Rtec Instruments, США) по схеме возвратно-поступательного перемещения образца относительно неподвижного стального пальца из стали ШХ15 (твердость 60-62 HRC) диаметром 3 мм. Амплитуда движения составляла 10 мм, а частота – 6 Гц. Продолжительность испытаний в нагруженном состоянии составила 2 часа.

Анализ структуры образцов покрытия показал, что наплавленный слой имеет градиентное строение. У стальной основы находится слой на основе цинка, насыщенного интерметаллидными соединениями, затем следует переходная зона и непосредственно слой покрытия (60-70%). Переходная зона формируется из матричного цинкового сплава с железосодержащими включениями глобулярной формы диаметром до 30 мкм, при этом указанная зона обладает высокой пористостью с размером пор до 40 мкм. Основное покрытие имеет композиционное строение и состоит из матричного алюминий-цинкового сплава с включениями интерметаллидных медь- и железосодержащих фаз. Медьсодержащие включения выделяются в виде отдельных глобул размером до 10 мкм или колониями эвтектического строения.

Металлографический анализ также выявил диффузионный слой толщиной 200-250 мкм на поверхности стальной основы, который формируется за счет насыщения стали цинком в процессе наплавки. Структура слоя представлена зернами двух типов: столбчатыми зернами железа, насыщенными цинком (24-46%), между которыми располагаются зерна цинкового сплава, содержащего 27-34% Fe.

Анализ структуры границы раздела фаз показал, что при наплавке покрытия ZnAl30 на границе покрытие-сталь формируются трещины, приводящие в итоге к отслаиванию покрытия. Введение меди в состав покрытия позволяет избежать образования трещин, однако в этом случае переходной зоне покрытия ZnAl30Cu4 формируется повышенная пористость. Выполненные исследования показали, что отмеченный дефект может быть устранен повышением скорости вращения заготовки. Таким образом, за счет формирования композиционной структуры покрытия ZnAl30Cu4 с включениями интерметаллидных фаз и отсутствием дефектов у границы раздела достигалась высокая адгезия к стальной основе.

Результаты трибоиспытаний (таблица 1) показали, что легирование сплава ZnAl30 медью в количестве 4 масс.% не только способствует снижению коэффициента трения, но и повышает несущую способность материала, позволяя рассматривать данные покрытия как альтернативные бронзовым.

Таблица 1 – Значения коэффициентов трения покрытий ZnAl30 и ZnAl30Cu4

Образец	Коэффициент трения		
	40Н (6МПа)	80Н (12МПа)	160Н (24 МПа)
ZnAl30	0.025-0.028	0.043-0.044	0.048-0.059
ZnAl30Cu4	0.015-0.016	0.030-0.032	0.027-0.028

Выводы. В процессе центробежной наплавки сплавов Zn-Al формируется градиентная структура, насыщенная железом, растворенным с поверхности стальной втулки. Образующиеся интерметаллидные включения выступают в качестве основной армирующей составляющей, что способствует снижению КТЛР до значений стали, при этом добавка меди способствует улучшению адгезии и триботехнических свойств покрытий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Рудницкий, Ф.И. Перспективы применения цинковых антифрикционных сплавов взамен бронз для изготовления тяжело-нагруженных вкладышей подшипников / Ф.И. Рудницкий, М.И. Курбатов // *Литьё и металлургия*, 2008. – №2 (46). – С. 51–55.
2. ГОСТ 25140-93 Сплавы цинковые литейные. Марки. Электронный текст документа подготовлен ЗАО "Кодекс" и сверен по: официальное издание М.: ИПК Издательство стандартов, 1996. Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200009250>.
3. Способ нанесения двухслойного покрытия на внутреннюю поверхность детали: пат. ВУ №23365 / М.А. Белоцерковский, А.И. Комаров, И.А. Сосновский, Д.В. Орда, А.А. Куриленок, Д.О. Искандарова. – Оpubл. 30.04.2021г.