

ПРОЧНОСТЬ СЦЕПЛЕНИЯ АНТИФРИКЦИОННЫХ ПОКРЫТИЙ ИЗ СПЛАВА АК12, ПОЛУЧЕННЫХ МНОГОСЛОЙНОЙ ИНДУКЦИОННОЙ НАПЛАВКОЙ

**М.А. БЕЛОЦЕРКОВСКИЙ, А.И. КОМАРОВ, И.А. СОСНОВСКИЙ,
А.А. КУРИЛЁНОК, Д.В. ОРДА**

**Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси,
г. Минск, Республика Беларусь**

Исследования адгезионной прочности показали, что свинец может использоваться в качестве материала подслоя при изготовлении детали с функциональным слоем из алюминиевого сплава, так как он образует устойчивую границу раздела фаз как с алюминиевым сплавом, так и со стальной основой. Формирование антифрикционного покрытия осуществлялось индукционным методом в поле центробежных сил за один технологический приём с образованием свинцового подслоя, обеспечивающего сцепление наносимого слоя со стальной основой.

В настоящее время, разработан широкий класс антифрикционных материалов на основе алюминиевых сплавов, высокий уровень триботехнических свойств которых обеспечивается легированием оловом (Sn), цинком (Zn) и др. или модифицированием структуры. Однако основной проблемой, возникающей при создании комбинированных материалов системы сталь-алюминиевый сплав, является низкий уровень адгезионных свойств между материалами покрытия и основы. Это связано с их различными теплофизическими свойствами, наличием окисных пленок, а также диффузионными процессами, протекающими на границе соединения.

В качестве материала для наплавки покрытия использовался алюминий-кремниевый сплав АК12 (ГОСТ 1583-93), которые имеет высокий уровень литейных и механических свойств, а также обладают удовлетворительной коррозионной стойкостью. Структура сплава представлена Al-Si эвтектикой, однако, в условиях неравновесной кристаллизации, в структуре могут присутствовать зерна твердого раствора алюминия. Следует отметить, что дисперсность частиц эвтектического кремния зависит от скорости кристаллизации расплава, что в свою очередь оказывает существенное влияние на триботехнические свойства материала.

Для нанесения двухслойного покрытия на внутреннюю поверхность детали, использовали метод, который заключается в формировании подслоя из более плотного материала, чем у алюминиевого сплава, что позволяет получать заготовку за один технологический приём [1–3].

Для обеспечения адгезии наплавки из силумина со стальной основой в состав шихты вводился свинец. Выбор свинцового сплава в качестве подслоя был сделан с учетом низкой взаимной растворимости свинца, алюминия и

железа. При этом свинец и его сплавы обладают более высокой плотностью ($11,3 \text{ г/см}^3$) и меньшей температурой плавления ($327 \text{ }^\circ\text{C}$) в сравнении с наплавляемым алюминиевым сплавом ($2,7 \text{ г/см}^3$, $578 \text{ }^\circ\text{C}$).

Формирование покрытия на внутренней поверхности цилиндрической стальной заготовки, изготовленной из стали 20 (ГОСТ 1050-88), проводилось совмещением метода центробежного формования предварительно подготовленной кусковой шихты, состоящей из сплава АК12, сплава подслоя и покровного флюса [2], со ступенчатым нагревом токами высокой частоты до температуры $720\text{--}800 \text{ }^\circ\text{C}$ при вращении вокруг оси со скоростью $1250\text{--}2500 \text{ мин}^{-1}$. После выхода на заданные технологические параметры проводилась изотермическая выдержка в течение 5-7 минут, с последующим ускоренным охлаждением детали от температуры наплавления до температуры $150\text{--}200 \text{ }^\circ\text{C}$.

Металлографический анализ показал, что наличие свинца в составе шихты не оказывает воздействия на процессы кристаллизации алюминиевого сплава, которые в первую очередь обусловлены скоростью охлаждения заготовки. Структура наплавленного покрытия имеет неоднородное строение и состоит из эвтектических участков (рисунок 1а) и участков дендритного типа (рисунок 1б), что обусловлено неравномерной скоростью охлаждения заготовки.

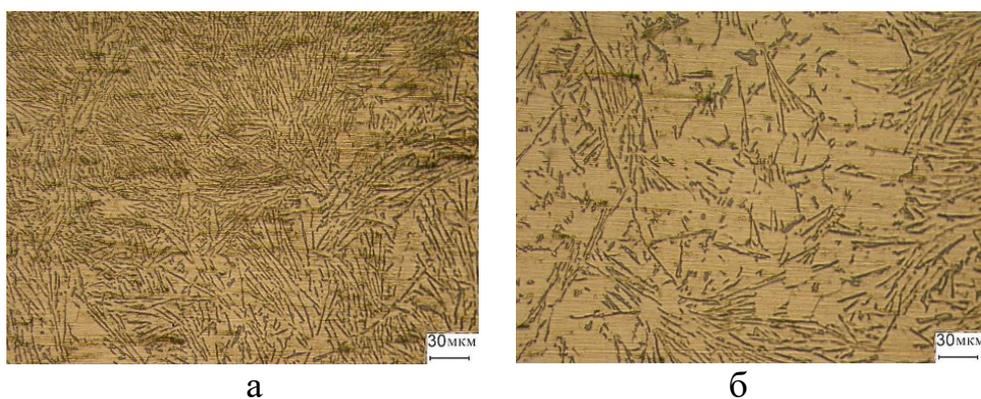


Рисунок 1 – Структура наплавленного покрытия из сплава АК12 с подслоем из свинца: а – эвтектического строения; б – участок дендритного

Следует отметить, что у границы с подслоем из свинца, за счет низкого теплоотвода, структура эвтектики содержит более крупные частицы кремния. При этом на границе раздела фаз сплава АК12 и свинца отсутствуют макродефекты, такие как пористость, шлаковые включения, трещины, отслоения и т.д.

Адгезионная прочность образцов определялась путем выдавливания кольца покрытия относительно стальной обоймы. Так, при использовании свинцового сплава, формируется подслой толщиной $1\text{--}1,5 \text{ мм}$, по которому и происходит разрушение при испытании на адгезию. Согласно данным, нагрузка при которой происходит разрушение подслоя находится на уровне $152\text{--}157 \text{ кН}$ (рисунок 2). Расчет адгезионной прочности показал, что его среднее значение равно $40\text{--}45 \text{ МПа}$.

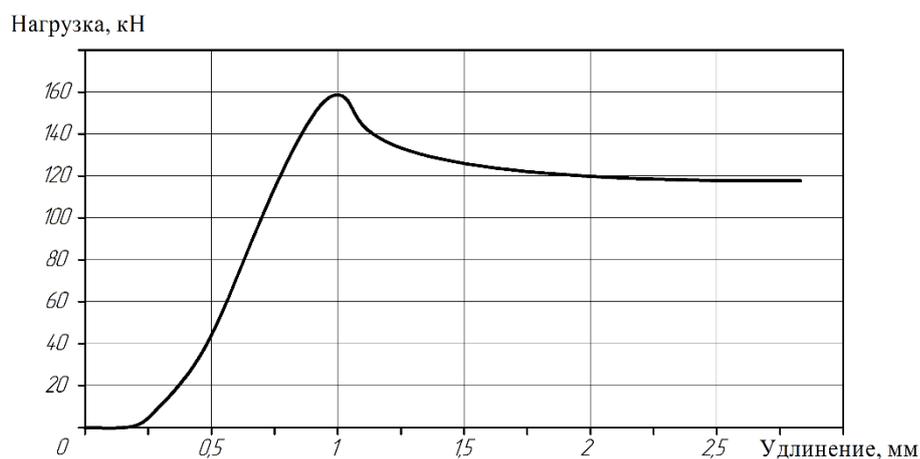


Рисунок 2. – Изменение нагрузки при сдвиге от удлинения при испытании втулки с подслоем свинца на адгезионную прочность

Результаты исследования показывают, что свинец может использоваться в качестве материала подслоя при изготовлении композиционной втулки с функциональным слоем из алюминиевого сплава, за счет высокого уровня адгезии между свинцовым подслоем и стальной втулкой, который обеспечивается за счет образования на ее поверхности алитированного слоя.

ЛИТЕРАТУРА

1. Совершенствование материалов для подшипников скольжения двигателей внутреннего сгорания (обзор) / Н.П. Бурковская [и др.] // Труды ВИАМ. – 2020. – №1(85). – С. 78–91.
2. Влияние олова в материале подслоя на структуру Al-Si сплава, наплавляемого центробежно индукционным методом / А.И. Комаров [и др.] // Механика машин, механизмов и материалов. – 2019. – №3(48). – С.77–84.
3. Технологические особенности получения биметаллических втулок с антифрикционным покрытием из сплава АК12 / М.А. Белоцерковский [и др.] // Актуальные вопросы машиноведения: сб. науч. тр. / Объедин. ин-т. машиностроения НАН Беларуси; редкол.: С.Н. Поддубко (председатель) [и др.]. – Минск, 2019. – Вып. 8. – С. 320–324.