

УДК 620.184

**ФРИКЦИОННАЯ ПЕРЕМЕШИВАЮЩАЯ ОБРАБОТКА АЛЮМИНИЕВО-МАГНИЕВОГО
СПЛАВА АМГ6М С ВВЕДЕНИЕМ ПРИ ОБРАБОТКЕ ПОРОШКОВ НА ОСНОВЕ МЕДИ И
МЕДНЫХ СПЛАВОВ**

А.Р. Добровольский¹, А.В. Гусарова², А.В. Чумаевский²

Научный руководитель: к.ф.-м.н. А.П. Зыкова²

¹Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050

²Институт физики прочности и материаловедения СО РАН,

Россия, г. Томск, пр. Академический 2/4, 634055

E-mail: tch7av@gmail.com

**FRICION STIRRING TREATMENT OF ALUMINUM-MAGNESIUM ALLOY AMG6BM WITH
THE INTRODUCTION OF COPPER AND COPPER-BASED ALLOY POWDERS DURING
PROCESSING**

A.R. Dobrovolskii¹, A.V. Gusarova², A.V. Chumaevskii²

Scientific Supervisor: Dr. A.P. Zykova²

¹Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050

²Institute for Physics of Strength and Material Science of Siberian Branch of Russian Academy of Sciences,

Russia, Tomsk, Akademicheskii ave. 2/4, 634055

E-mail: tch7av@gmail.com

Abstract. *The paper investigates the features of modification by powder particles of copper and copper-based alloys of aluminum-magnesium alloy AMg6BM by friction stirring treatment. The conducted studies show that in the structure of the stir zone the distribution of powder particles after one pass by the tool along the machining line is non-uniform with a high proportion of large agglomerations. The optimum number of passes by the tool to homogenize the structure is in the range of 3 to 4 depending on the powder material used to harden the aluminum alloy.*

Введение. Фрикционная перемешивающая обработка алюминиевых сплавов может иметь целью формирование упрочненной структуры поверхностного слоя, защиты от коррозии или повышения износостойкости. С точки зрения повышения износостойкости материалов и формирования металлматричных композитов одним из актуальных на настоящее время подходов является введение в процессе обработки порошковых частиц различных металлов и сплавов, образующих в материале упрочняющие фазы различного фазового состава [1-3]. Одним из путей формирования покрытий сложного состава является модификация материала порошковыми материалами сложного состава или порошками соответствующих сплавов. Медь и сплавы на основе меди при введении в алюминий и его сплавы создают в структуре ряд интерметаллидных соединений, повышающих прочностные и трибологические свойства материала. Одним из лучших материалов для упрочнения алюминия и его сплавов является цинк, входящий совместно с медью в состав высокопрочных сплавов, например, марки

В95. Но, коррозионная стойкость таких материалов невелика в сравнении с алюминиево-магниевыми сплавами. С использованием фрикционной перемешивающей обработки возможно получение в отдельных участках изделия упрочненных слоёв или элементов, сопротивляющихся приложению нагрузки или изнашиванию, а в других участках возможно оставлять исходную структуру алюминиево-магниевого сплава, способную сопротивляться воздействию агрессивных сред. Целью настоящей работы является определение закономерностей формирования зоны перемешивания при фрикционной перемешивающей обработке алюминиево-магниевого сплава АМг6БМ с введением при обработке порошковых частиц меди, латуни Cu50Zn50 и латуни Cu80Zn20.

Экспериментальная часть. Образцы получены методом фрикционной перемешивающей обработки инструментом с винтовым пином с введением 5% порошков Cu, Cu50Zn50, Cu80Zn20 на экспериментальном оборудовании в Институте физики прочности и материаловедения. Обработку проводили на заранее подобранном для обработки сплавов АМг5, АМг6 (в том числе с порошком меди) режиме, при скорости вращения инструмента от 450 об/мин и скорости подачи 90 мм/мин. Сила прижима инструмента к материалу заготовки составляла от 1350 кг. Обработку осуществляли от одного - до четырех проходов инструментом по одной и той-же области. Исследования внутренней структуры проводили методом оптической микроскопии (микроскоп Альтами МЕТ1С).

Результаты. В то время, как для обработки алюминиево-магниевого сплава АМг5 с введением 5% порошкового материала меди корректировка режима практически не понадобилась, при обработке с введением порошкового материала Cu50Zn50 в аналогичном количестве происходило формирование дефектов в виде канала (В на рис. 1, а). Устранение формирования такого дефекта удалось добиться только после 4-х проходов вдоль линии обработки с увеличением нагрузки на инструмент до 1750 кг (рис. 1, б). Предположительно, такое явление связано с контактным плавлением на границе инструмента и зоны обработки в условиях интенсивных структурно-фазовых взаимодействий.

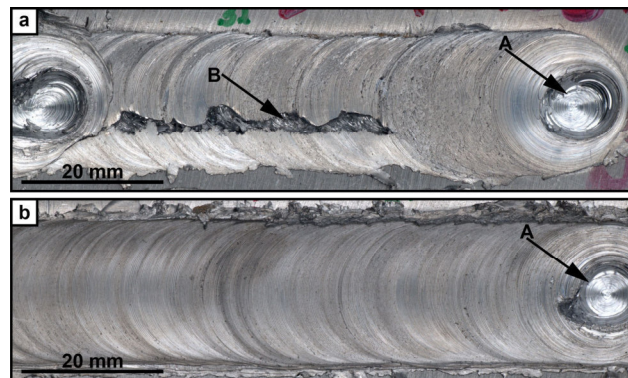


Рис. 1. Внешний вид поверхности в зоне обработки АМг6БМ+Cu50Zn50 после 1-го (а) и 4-х (б) проходов инструментом вдоль линии обработки

Корректировка режима для получения образцов алюминиевого сплава с введением в структуру 5% порошка сплава Cu80Zn20 на предыдущем этапе (нагрузка - 1750 кг, скорость вращения инструмента - 450 об/мин), позволила изготавливать практически с самого начала зону обработки с бездефектным строением (рис. 3). В данном случае при выполнении первого прохода инструментом ещё оставались различные неоднородности строения зоны обработки, но после четвертого прохода морфология зоны обработки была практически бездефектной. Структура зоны перемешивания в отличии от меди, и сплава

Cu50Zn50 уже после трех проходов представлена однородным распределением частиц интерметаллидных фаз и латуни в алюминиевой матрице.

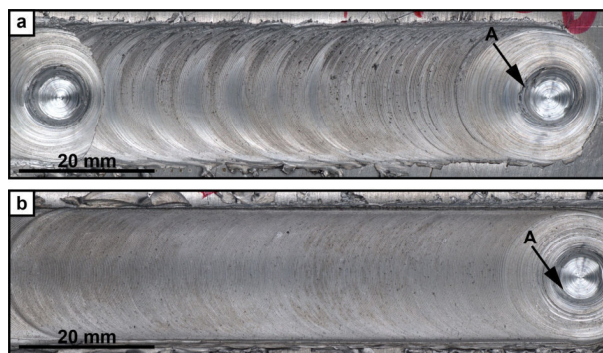


Рис. 2. Внешний вид поверхности в зоне обработки AMz6BM+Cu80Zn20 после 1-го (a) и 4-х (b) проходов инструментом вдоль линии обработки

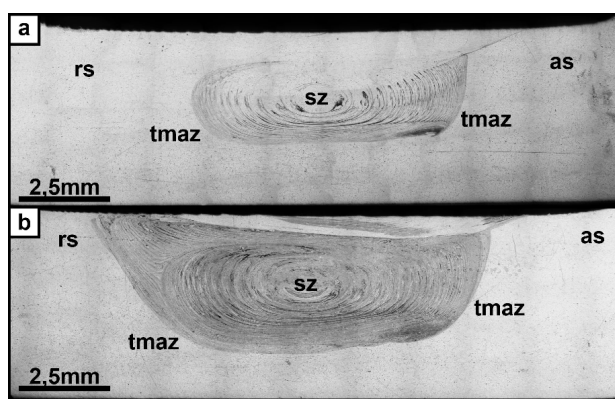


Рис. 3. Поперечное сечение зоны обработки AMz6BM+Cu80Zn20 после 1-го (a) и 3-х (b) проходов инструментом вдоль линии обработки

Заключение. Проведенные исследования показывают высокую значимость учета структурно-фазовых взаимодействий в зоне обработки, приводящих в ряде экспериментов к существенному изменению параметров обработки алюминиевого сплава с введением порошковых частиц меди и медных сплавов. Равномерность распределения упрочняющих фаз в объеме материала также изменяется в зависимости от химического состава вводимого порошка и для выравнивания структуры композиционного материала может быть необходимо от трех (Cu80Zn20) до четырех (Cu, Cu50Zn50) проходов инструментом вдоль линии обработки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Zykova, A.P., Tarasov, S.Y., Chumaevskiy, A.V., Kolubaev, E.A. A review of friction stir processing of structural metallic materials: Process, properties, and methods // *Metals*. – 2020. – V. 10 (6). – P. 1-35.
2. Hsu, C.J., Chang, C.Y., Kao, P.W., Ho, N.J., Chang, C.P. Al-Al₃Ti nanocomposites produced in situ by friction stir processing // *Acta Materialia*. – 2006. – V. 54 (19). – P. 5241-5249.
3. Hsu, C.J., Kao, P.W., Ho, N.J. Intermetallic-reinforced aluminum matrix composites produced in situ by friction stir processing // *Materials Letters*. – 2007. – V. 61 (6). – P. 1315-1318.