

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРЕХОДНОЙ ЗОНЫ В СПЕЧЕННЫХ ОБРАЗЦАХ АЛЮМИНИЙ – АЛЮМИНИЕВАЯ БРОНЗА – МЕДЬ

Лесков М.Б., Носков Ф.М.,  
Политехнический институт  
Сибирский федеральный университет

Цель работы изучение переходных зон трехслойного образца алюминий – алюминиевая бронза – медь полученного по технологии спекания в электрическом поле (Field Assisted Sintering Technology, FAST).

Получение такого соединения представляет интерес, как с точки зрения фундаментальной науки, так и для прикладных задач. Известно, что медь и алюминий это гальваническая пара, что приводит к коррозии соединений в контактах между этими двумя материалами. Такие контакты часто приходится выполнять в электротехнике. Для решения поставленных задач в работе анализировали микроструктуру переходных зон и их химический состав.

Образец был получен методом электроимпульсного спекания FAST на установке Labox-1575. При электроимпульсном спекании используется импульсный постоянный ток с высоким значением силы тока (до 1,5 кА) для быстрого и равномерного распределения энергии искровой плазмы между частицами и гидростатическое давление порядка 40 МПа.[1]

Технология спекания в электрическом поле (FAST), также известна как метод электроимпульсного спекания (Spark Plasma Sintering, SPS), встречается в литературе и под другими названиями, например: «технология спекания с активацией электрическим полем» (Field Activated Sintering Technology) или «электроимпульсное спекание» (Pulsed Electric Current Sintering, PECS).

Метод SPS/FAST был разработан на основе распространенной технологии горячего прессования, но в SPS непосредственно нагреваются и пресс-форма и заготовка. Это происходит либо путем подачи электротока снаружи, через пресс-форму, и/или путем прямого протекания тока непосредственно через прессуемую заготовку. Подача электроэнергии происходит от специального генератора импульсов постоянного тока, который дает пользователю широкие возможности управления импульсами в фиксированном диапазоне, и для адаптации к преимущественным условиям в заготовке (пресс-форме) так и в самом материале. В связи с этим особенное значение приобретает генератор импульсов постоянного тока.

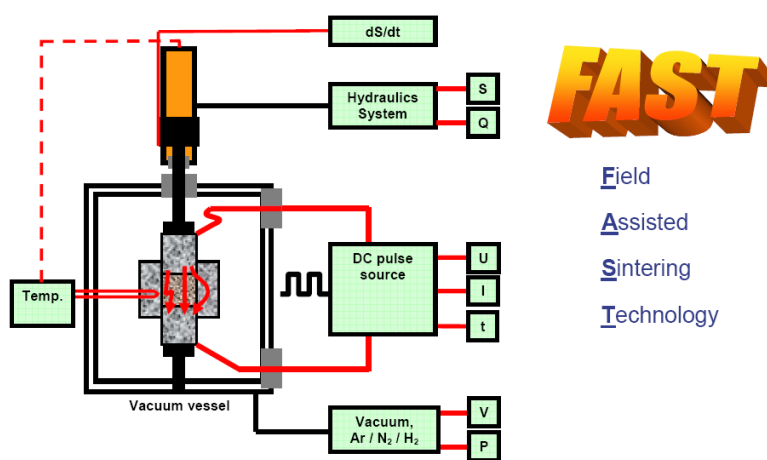


Рисунок 1 - Принцип метода SPS/FAST: электроискровое спекание

Фундаментальные теоретические основы SPS/FAST-нагрева исходят из того, что импульсы тока, проходя через форму, вызывают частичный нагрев межзеренных

границ исходного порошка, и создают электрическое поле с эффектом плазмы (рисунок 2).

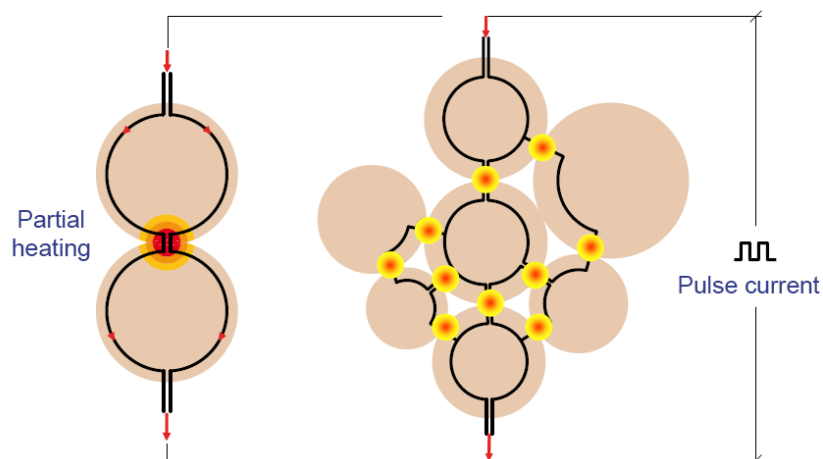


Рисунок 2 - Теоретические принципы FAST-нагрева

Решающую роль в достижении желаемого SPS-эффекта играют тип и форма электрических импульсов, а также их длительность и сила. Пока отсутствует полное, и не подлежащее сомнению объяснение стопроцентной применимости этих теоретических предположений на практике. [2,3]

Микроструктуру поперечного среза образца исследовали на растровом сканирующем электронном микроскопе JEOL JSM-7001F с микроанализатором. Исследование изображений поперечного среза полученного образца показало, что при использовании промежуточного слоя бронзы удалось получить удовлетворительное качество соединения меди и алюминия. В целом пористость образца низкая, соответствующая спеченному состоянию.

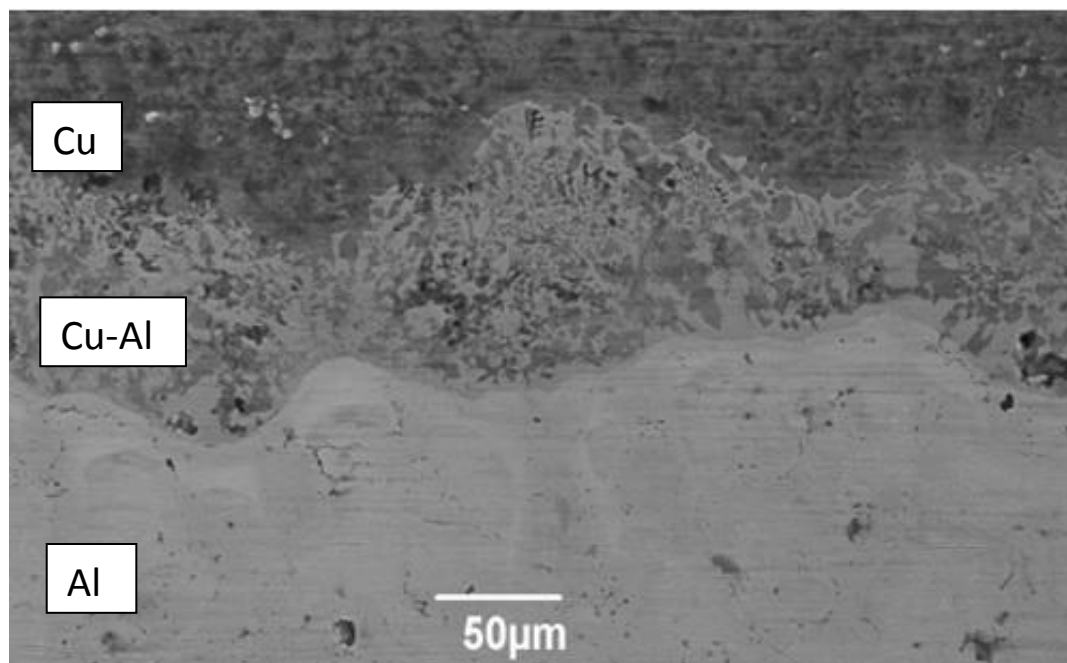


Рисунок 3 – Изображение в сканирующем электронном микроскопе JEOL JSM-7001F зоны соединения алюминия, алюминиевая бронза и меди

Анализ скорости диффузии показывает, что процесс диффузии шел по жидкофазному механизму. Об этом свидетельствует дендритная структура переходной зоны между медью и алюминием (рисунок 3). Однако температурные условия

эксперимента не доходили до температуры наиболее легкоплавкого компонента на 200°C (согласно фазовой диаграмме).

Для порошков температуры спекания могут быть намного ниже температуры их плавления, поскольку спекание происходит только за счет формирования жидкой зоны на поверхности частиц (оплавление поверхности). В случае, когда число атомов на поверхности становится сравнимым с полным числом атомов частицы, температура спекания становится значительно ниже. Энергия электрического тока позволяет реализовать аномально быструю диффузию в зоне спекания 3-х материалов. Таким образом, совместное воздействие тока и пластической деформации при SPS позволило получить соединение алюминий-бронза-медь за времена порядка нескольких минут.

Исследование методом картирования показало существенное диффузионное проникновение алюминия в медь и бронзу.

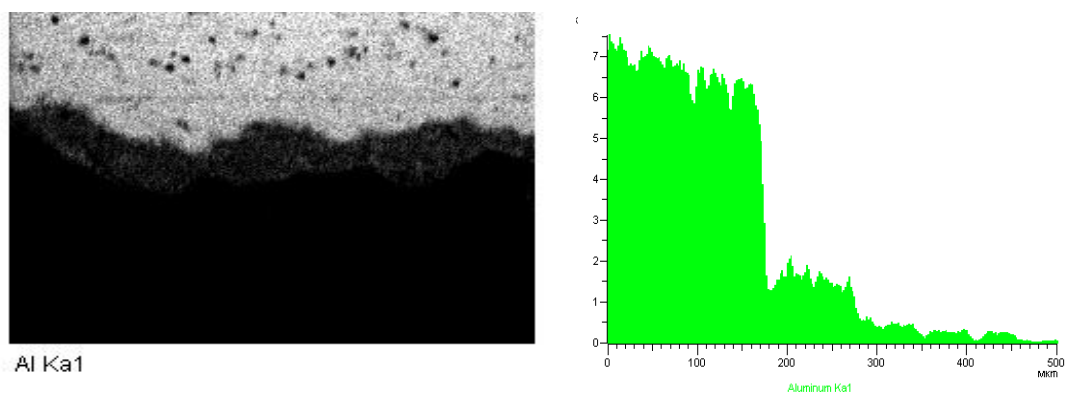


Рисунок 4 – Изображение области контакта в лучах алюминия и диаграмма распределения алюминия вдоль направления поперек плоскости соединения.

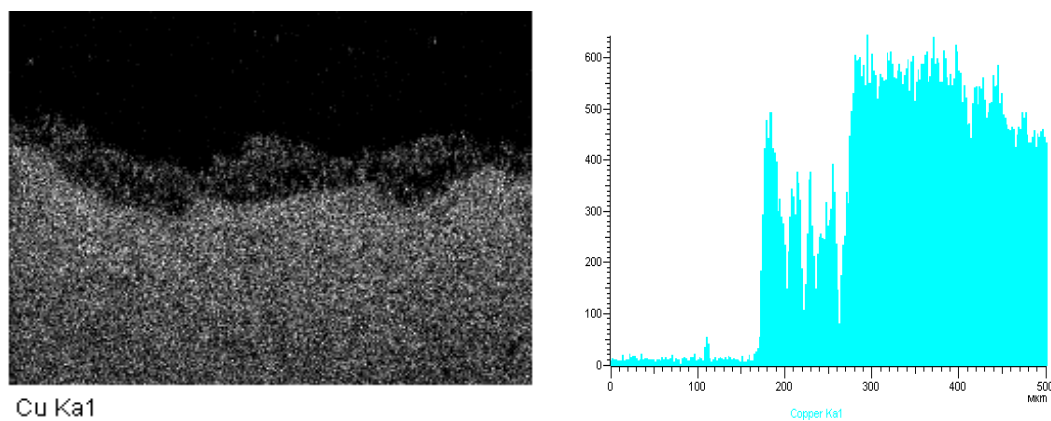


Рисунок 5 - Изображение области контакта в лучах меди и диаграмма распределения меди вдоль направления поперек плоскости соединения.

На рисунке 4, 5 мы видим проникновение алюминия в медь, что может быть связано с гальваническим процессом, протекающим в жидкой зоне при спекании частиц. Таким образом, показана возможность создания переходных контактов для электротехнической промышленности.

Благодарю ведущего научного сотрудника ИГиЛ СО РАН В. И. Мали за любезно предоставленный образец и полезные обсуждения, доцента кафедры МиТОМ ПИ СФУ Г. М. Зеер за полученные снимки.

Литература:

[1] «Новосибирские "нанопирожки" на японском оборудовании», Байкал24.Наука <http://nauka.baikal24.ru/article.php?type=news&id=150>

[2] Field Assisted Sintering Technology ("FAST") for the consolidation of innovative materials, J. Hennicke, H.U.

Kessel, cfi/Ber.DKG 81 [11] (2004) E14-E16.

[3] Effect of porosity on thermal conductivity of Al-Si-Fe-X alloy powder compacts, K.Y. Sastry, L. Froyen, J. Vleugels, E.H. Bentefour and C. Glorieux, International Journal of Thermophysics, 25 (2004) 1611-1622.

Научный руководитель – д.ф-м.н., профессор кафедры МиТОМ ПИ СФУ Л.И. Квеглис.