

## ВЛИЯНИЕ ВАРИАНТА СБОРКИ МЕДНО-АЛЮМИНИЕВЫХ КОМПОЗИТОВ НА ЭВОЛЮЦИЮ ИХ МИКРОСТРУКТУРЫ В ПРОЦЕССЕ РОТАЦИОННОЙ КОВКИ

Рогачев С.О.<sup>1,2</sup>, Сундеев Р.В.<sup>1,3</sup>, Андреев В.А.<sup>2,4</sup>, Хаткевич В.М.<sup>1,5</sup>, Николаев Е.В.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>НИТУ «МИСиС», г. Москва, Россия

<sup>2</sup>ИМЕТ РАН, г. Москва, Россия

<sup>3</sup>РТУ МИРЭА, г. Москва, Россия

<sup>4</sup>ООО «Промышленный центр МАТЭК-СПФ», г. Москва, Россия

<sup>5</sup>ООО «ТМК НТЦ», г. Москва, Россия

[rogachev.so@misis.ru](mailto:rogachev.so@misis.ru)

Цель работы – изучение эволюции микроструктуры медно-алюминиевых композитов разных вариантов сборки при обжатию ротационной ковкой.

Композиционную заготовку собирали в двух вариантах: по 1-му варианту заготовка представляла собой стержень из алюминиевого сплава Д16 (Al–Cu–Mg) диаметром 12 мм, помещенный в оболочку из чистой меди (99.97 %) с внешним диаметром 20 мм; по 2-му варианту порядок расположения компонентов изменяли на противоположный, т.е. оболочка – из алюминиевого сплава, а стержень – из меди.

Начальная длина заготовок составила 200 мм. Перед сборкой компоненты заготовок подвергали смягчающему отжигу. Ковку заготовок осуществляли последовательно на модернизированных двухбойковых ротационно-ковочных машинах РКМ1 (В2129.01) (с диаметра 20.0 до 5.5 мм), РКМ3 (В2127.01) (с диаметра 5.5 до 4.0 мм) и на РКМ4 (В2123.01) (с диаметра 4.0 до 2.5 мм) при комнатной температуре. Между проходами осуществляли периодический низкотемпературный отжиг заготовок при 180 °С для снятия наклёпа. Первый отжиг проводили после достижения диаметра заготовок 5 мм; второй – 3.5 мм. Продолжительность каждого отжига 1 час.

Микроструктуру компонентов композиционных образцов (оболочки и стержня) в продольном направлении изучали методом просвечивающей электронной микроскопии на микроскопе JEM-2100 с энергодисперсионным микроанализатором (EDS). Подготовку проб для исследования микроструктуры проводили на сканирующем ионном микроскопе Strata 201 SIMSmapIII×P с помощью галлиевой жидкометаллической ионной пушки.

Показано, что ковка композита медь/алюминиевый сплав с диаметра 20 мм на диаметр 5 мм привела к формированию в медной оболочке ячеисто-субзеренной структуры с высокой плотностью дислокаций. В алюминиевом стержне сформировалась ультрамелкозернистая вытянутая зеренно-субзеренная структура с частицами интерметаллидных фаз нано- и субмикронного размера. При уменьшении диаметра композита до 3.5–2.5 мм структура алюминиевого стержня не претерпела дальнейших изменений, а в медной оболочке увеличилась доля вытянутых субзерен и сформировались отдельные мелкие равноосные кристаллиты.

Иная эволюция структуры наблюдалась для композита алюминий сплав/медь. Так, при переходе с диаметра композита от 5.3 мм на 2.4 мм в алюминиевой оболочке изменился тип структуры – от нанокристаллической до зеренно-субзеренной. Кроме этого сформировавшаяся в медном стержне композита диаметром 2.4 мм микроструктура была в основном ячеисто-субзеренной.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Правительства Москвы в рамках научного проекта (грант № 21-32-70015).*