

**ВЛИЯНИЕ РКУП НА СТРУКТУРНЫЕ ПРЕВРАЩЕНИЯ В СПЛАВАХ  
НА ОСНОВЕ Al–Ca–Mn–Fe**

**Рогачев С.О.<sup>1,2</sup>, Наумова Е.А.<sup>1,3</sup>, Дорошенко А.В.<sup>1</sup>, Карелин Р.Д.<sup>1,2</sup>,  
Юсупов В.С.<sup>2,4</sup>, Комаров В.С.<sup>1,2</sup>, Андреев В.А.<sup>2,5</sup>,  
Табачкова Н.Ю.<sup>1,6</sup>, Хаткевич В.М.<sup>7</sup>**

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

<sup>2</sup>ИМЕТ РАН, Москва, Россия

<sup>3</sup>МГТУ «Станкин», Москва, Россия

<sup>4</sup>МИРЭА - Российский технологический университет, Москва, Россия

<sup>5</sup>ООО «Промышленный центр МАТЭК-СПФ», Москва, Россия

<sup>6</sup>Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН, Москва, Россия

<sup>7</sup>ООО «ТМК НТЦ», Москва, Россия

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

Изучено влияние равноканального углового прессования (РКУП) на структурно-фазовые превращения в алюминиевых сплавах Al–4%Ca–(0.5–1.3)%Fe–0.8%Mn–0.1%Zr–0.1%Sc в исходно литом состоянии. РКУП проводили на образцах диаметром 20 мм и длиной 100 мм в изотермических условиях при температуре 400 °С (для сплава с 0.5 %Fe) и 200 °С (для сплава с 1.3 %Fe), используя маршрут В<sub>с</sub>, угол пересечения каналов 110° и число проходов  $N = 6$ .

Металлографический анализ структуры проводили на оптическом микроскопе MicroMet 5101 Buehler и на сканирующем электронном микроскопе VEGA3 TESCAN в режиме отраженных электронов, после травления шлифов в 5 % HF. Электронно-микроскопические исследования проводили на трансмиссионном микроскопе JEM-2100 JEOL с EDS-анализатором. Дополнительно микрорентгеноспектральный химический анализ структуры с построением концентрационных карт проводили с помощью трансмиссионного микроскопа JEM-2100Plus JEOL, оснащённого анализатором BRUKER XFlash 6Ti60. Количественную обработку изображений выполняли в программе ImageExpertProIII.

В исходном литом состоянии оба сплава имели две структурные составляющие: дендриты твердого раствора (Al) и эвтектику, расположенную между осями дендритов. В сплаве с 1.3 %Fe сформировалась очень однородная дисперсная эвтектика, содержащая частицы Al<sub>4</sub>Ca, Al<sub>4</sub>Ca(Fe) и Al<sub>3-x</sub>(Fe,Mn), в отличие от сплава с 0.5 %Fe, в эвтектике которого, кроме частиц Al<sub>4</sub>Ca, наблюдались очень крупные (длиной до 20 мкм) игольчатые частицы Al<sub>6</sub>(Fe,Mn).

В результате РКУП в сплаве с 0.5 %Fe внутри исходных крупных дендритов (Al) сформировалась развитая субструктура с высокой плотностью дислокаций с выделением наноразмерных частиц Al<sub>6</sub>(Fe,Mn) и Al<sub>3</sub>Sc размером ~20 нм. В структуре также выявлены измельченные первичные частицы Al<sub>6</sub>(Fe,Mn) и Al<sub>4</sub>Ca.

Увеличение массовой доли железа в сплаве с 0.5 до 1.3 % и одновременное снижение температуры РКУП с 400 до 200 °С привело, во-первых, к эволюции дендритной структуры (вытягиванию дендритов вдоль направления прессования и их объединению), во-вторых, к измельчению эвтектических частиц Al<sub>4</sub>Ca, Al<sub>4</sub>Ca(Fe) и Al<sub>3-x</sub>(Fe,Mn) до нано- и субмикронного уровня, их перемешиванию и частичному сегрегированию кальция. После РКУП оба сплава имеют схожую субструктуру.

*Работа выполнена в рамках государственного задания ИМЕТ РАН № 075-00715-22-00. Алюминиевые сплавы получены при финансовой поддержке РФФ (грант № 20-19-00746).*