

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ МЕТАЛЛОМАТРИЧНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ АЛЮМИНИЯ

Соколов С. М.¹, студент гр. МТ 24-10 М, I курс,
Масанская А. Р.¹, студент гр. МТ 23-01Б, II курс

Научный руководитель: Масанский О. А.¹, к.т.н., доцент

¹ФГАОУ ВО Сибирский федеральный университет
г. Красноярск

Развитие современной промышленности требует создания новых материалов и технологий их получения, что обусловлено необходимостью увеличения механической прочности при одновременном снижении массы, повышения показателей надежности и долговечности, технико-экономических показателей деталей машин и механизмов различного назначения. В последние десятилетия наблюдается значительный рост интереса к разработке и применению литых металломатричных композиционных материалов, как к одной из наиболее перспективных областей современных материаловедческих исследований и технологий.

В настоящее время более 50 % общемирового объема производства металломатричных композиционных материалов (ММКМ) приходится на материалы на основе алюминия и его сплавов (рис. 1) армированных частицами карбида кремния SiC (около 19 %) и оксида алюминия Al₂O₃ (около 10%) (рис. 2) [1, 2].

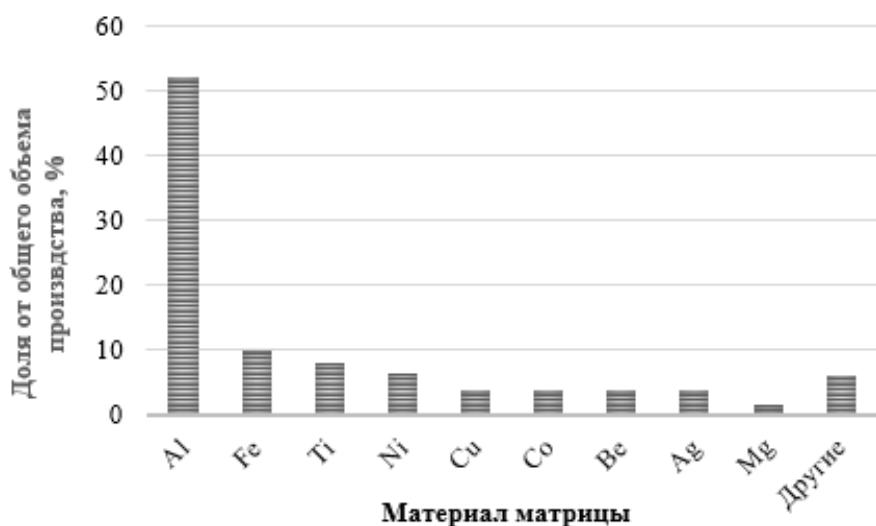


Рисунок 1 – Распределение материалов матрицы ММКМ от общего объема производства

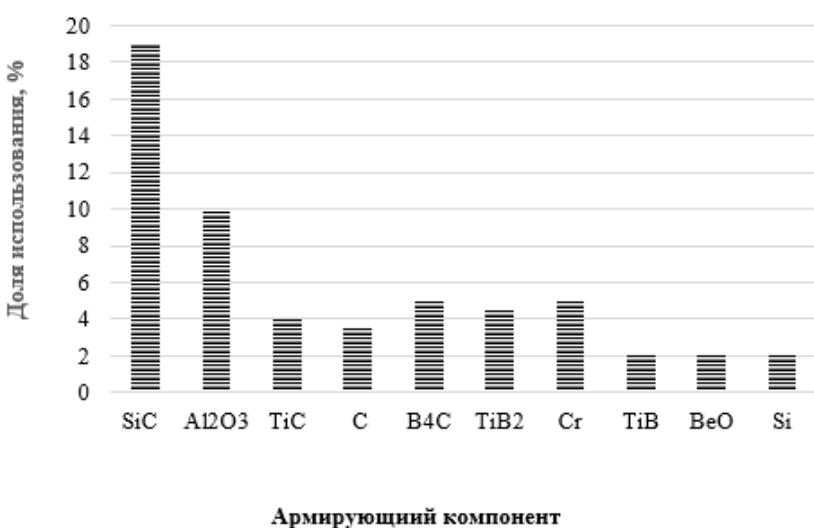


Рисунок 2 – Распределение армирующих компонентов ММКМ от общего объема производства

Значительный интерес к ММКМ на основе алюминия и его сплавов вызван их малой плотностью, высокой удельной прочностью, хорошими технологическими свойствами, коррозионностойкостью и др. Применение карбида кремния в качестве армирующих частиц связано с возможностью повышения предела прочности, модуля упругости, износостойкости и уменьшения коэффициента теплового расширения ММКМ. Свойства алюроматричных композитных материалов (АМКМ), во многом зависят не только от состава и объемной доли матричного и армирующего компонентов, но и от технологии его получения.

В условиях стремительного развития технологий и повышения требований к получаемым материалам и изделиям, важно понимать, какие направления исследований и разработок могут стать ключевыми для дальнейшего совершенствования литых композиционных материалов на основе алюминия.

Наиболее распространенным методом получения ММКМ, является метод механического замешивания. Частицы армирующего компонента вводят в расплав матричного материала и перемешивают при помощи импеллера рис. 3 [3]. Несмотря на простоту технологического процесса и ряд преимуществ, данный метод имеет и существенные недостатки: окисление и газонасыщение матричного сплава в процессе активного перемешивания, что приводит к получению отливок с повышенной пористостью; конгломерации армирующего компонента; низкий уровень адгезионной связи на поверхности раздела армирующий компонент – матрица; замешивание окисной плены в матричный расплав, что резко снижает механические свойства и др.. Ультразвуковое замешивание, как одно из решений устранения недостатков механического замешивания не позволяет получить композиционный материал с высоким содержанием дисперсной фазы.

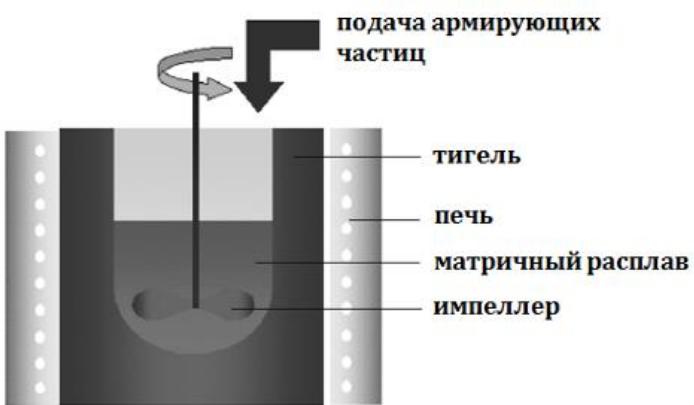


Рисунок 3 – Схема получения композиционных материалов методом механического замешивания

Актуальность данной работы обусловлена необходимостью поиска новых технологий и методов получения литых композиционных материалов, свойства которых будут отвечать современным требованиям. Однако для достижения оптимальных свойств алюминиевых сплавов необходимо обеспечить однородность их структуры и состава, что в свою очередь требует разработки новых эффективных технологий перемешивания расплавов.

Разработка и создание композитных материалов с требуемым комплексом свойств и технико-экономическими показателями возможно только в результате комплексного решения проблемы, включающего: состав и количественное соотношение матричного и армирующего материалов, технологию получения, термическую обработку. Также необходимо отметить, что свойства полученного материала определяются не только его химическим составом и микроструктурой, но и в значительной степени типом, размерами, формой и характером распределения фаз различной природы и происхождения [1].

Применение технологий, предусматривающих высокоэнергетическое воздействие в процессе структурообразования, позволяет управлять макро- и микроструктурой, прочностными и эксплуатационными характеристиками получаемых материалов. Современное представление об эффективном управлении свойствами материалов основывается на возможности создания условий, которые могут радикально влиять на процессы самоорганизации структур [4]. Согласно работам [5, 6, 7], воздействие на расплав переменным электромагнитным полем приводит его в движение, что в свою очередь способствует равномерному распределению армирующего компонента по объему расплава.

Индукционный нагрев металлов основан на двух физических законах: законе электромагнитной индукции Фарадея-Максвелла и законе Джоуля-Ленца. Получение расплавов металлических материалов в условиях высокоэнергетического индукционного воздействия заключается в нагреве металла вихревыми токами, которые возбуждаются в нём переменным электромагнитным полем

индуктора. На рисунке 4 приведена схема получения расплава в условиях высокоэнергетического индукционного воздействия.

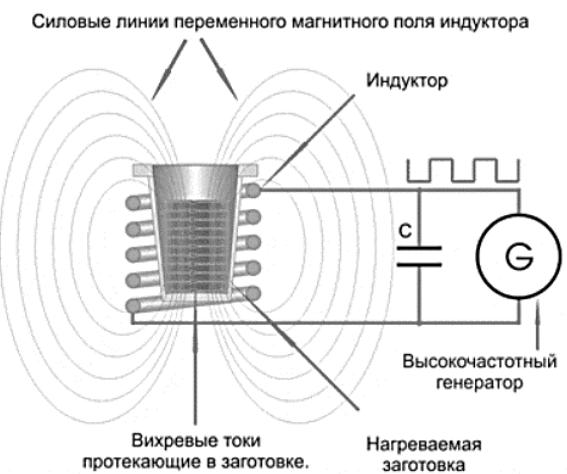


Рисунок 4 – Схема получения расплава в условиях высокочастотного индукционного воздействия

Кроме того, электромагнитное поле, взаимодействуя с вихревыми токами, создает объемную силу Лоренца, которая способствует перемешиванию расплава. Интенсивность перемешивания расплава увеличивается с повышением частоты тока. При этом повышается и скорость нагрева. Увеличение скорости нагрева обусловлено уменьшением толщины скин-слоя:

$$\Delta = \sqrt{\frac{2\rho}{\omega\mu\mu_0}}, \text{ м} \quad (1)$$

где $\omega = 2\pi f$ – циклическая частота генератора, μ – магнитная проницаемость вещества, μ_0 – магнитная постоянная, ρ – удельное сопротивление вещества.

Получение экспериментальных образцов АМКМ осуществлялось с применением шихты следующего состава: материал матрицы – гранулированный алюминий технической чистоты марки А5; армирующий компонент – карбид кремния (SiC) в виде порошка с размером частиц 100–300 мкм.

Проведенные металлографические исследования полученных экспериментальных образцов АМКМ показывают равномерное распределенного армирующего компонента (темные частицы) по объему матрицы (рис. 5).

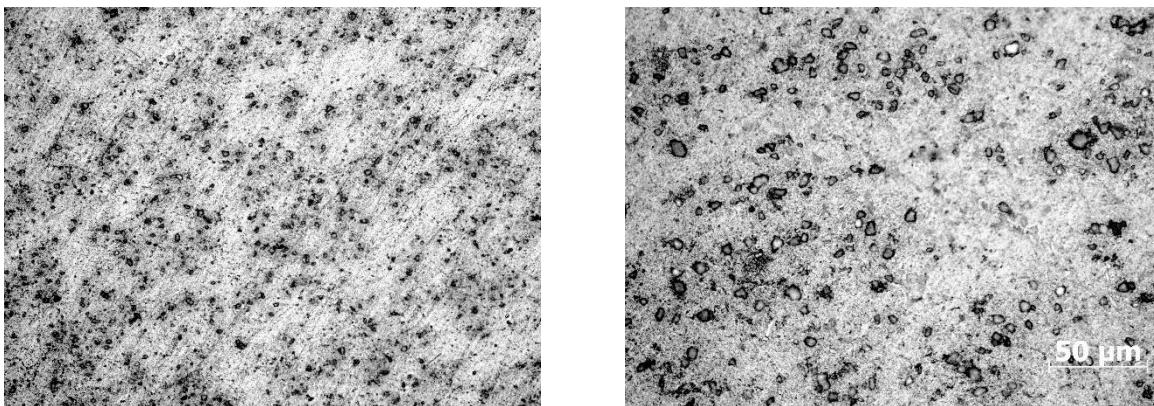


Рисунок 5 – Структура АМКМ полученного в условиях высокоэнергетического индукционного воздействия

Также стоит рассмотреть экономический аспект данной технологии. Использование электромагнитного перемешивания может сократить время обработки и повысить эффективность производства, что является важным фактором на современном высококонкурентном рынке технологий.

Список литературы:

1. Прусов Е.С., Панфилов А.А., Кечин В.А. Современные методы получения литых композиционных сплавов // Литейщик России. – 2011. – №12. – С. 35-40.
2. Масанский О. А., Квеглис Л. И., Токмин А.М., Масанский С. О. Состояние и перспективы получения и производства металломатричных композиционных материалов // IV Всероссийская научн. техн. конф. с международным участием «Борисовские чтения» СФУ, Красноярск –2023.– С. 279-283.
3. Технологические основы производства порошковых и композиционных материалов : лаб. практикум / Е. С. Прусов, А. А. Панфилов ; Владим. гос. ун-т им. А. Г. и Н. Г. Столетовых. – Владимир: Изд-во ВлГУ, 2015. – 74 с.
4. Масанский О. А. Получение слоистого композиционного материала с регулируемой структурой и свойствами: дис. ... канд. техн. наук. Красноярск, Сибирский федеральный университет, 2012. 126 с.
5. Исследование технологических режимов электромагнитного перемешивания жидкой сердцевины кристаллизующегося алюминиевого слитка / М.Ю. Кучинский, М.В. Первухин, Э.Р. Винтер, С.П. Тимофеев. - Вопросы электротехнологии. – 2021. - № 4. – С. 13-22.
6. Исследование электромагнитного воздействия на жидкую сердцевину алюминиевых слитков при непрерывном литье в кристаллизатор скольжения / М.В. Первухин, М.Ю. Кучинский, С.П. Тимофеев // Журнал СФУ. Техника и технологии, г. Красноярск, 2019, 12(8), 952-961.
7. Панфилов А. А., Прусов Е. С., Кечин В. А. Металлургия алюмоматричных композиционных сплавов. Владимир, Изд-во ВлГУ, 2017. 192 с.