

ИЗУЧЕНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ФОРМИРОВАНИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ Ti_3AlC_2-Cu МЕТОДОМ АДДИТИВНОГО ПРОИЗВОДСТВА НА ОСНОВЕ ЭКСТРУЗИИ МАТЕРИАЛОВ

Афанасьев А.О.¹, Криницын М.Г.^{1,2}

¹НИ ТПУ, ИЯТШ, Россия, Томск

²Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, Россия, Томск

E-mail: aoa14@tpu.ru

Аддитивные технологии в последнее время пользуются популярностью и развитие производства в данном направлении являются актуальным. Несмотря на то, что аддитивные технологии развиваются достаточно долгое время, есть области, которые слабо изучены. Одной из таких проблем является недостаточное исследование в формировании композиционных материалов на основе МАХ-фаз в области аддитивного производства. Из-за особенностей структуры и свойств данного материала, делают успехи в этом направлении методы с низкой энергией. Для нашей работы мы используем метод экструзии материала, который также является методом с низкой энергией.

Целью нашей работы является изучение особенностей формирования композиционных материалов Ti_3AlC_2-Cu методом аддитивного производства на основе экструзии материалов (МЕАМ).

Сырьем для данного метода являются наполненные полимеры (фидстоки). В данной работе использовались фидстоки, наполненные смесью порошков МАХ-фазы Ti_3AlC_2 и меди. В фидстоках использовались различные соотношения порошок / полимер, а в порошковых смесях варьировалось соотношение между компонентами. В качестве полимера использовался коммерческий полимер МС2163. Фидсток был получен перемешивание путем экструзии материала.

Образцы, полученные из данных фидстоков, были напечатаны методом МЕАМ, с последующим удалением полимерного связующего в 2 этапа. Первым этапом является удаление полимерного связующего с применением растворителя. Зависимость содержания полимера от времени дебиндинга представлена на рис. 1. Остаток полимера удаляется спеканием в высокотемпературной вакуумной печи.

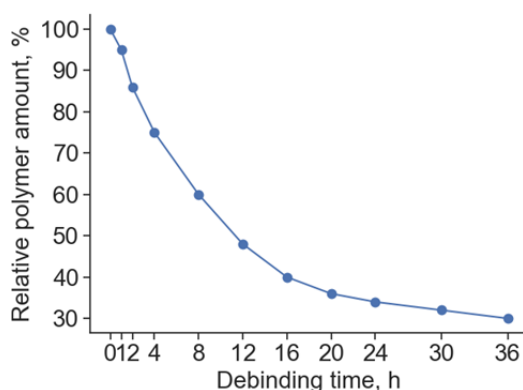


Рис. 1. Влияние продолжительности дебиндинга на содержание полимера в образце

Для полученных образцов были проведены рентгеноструктурный анализ, исследование микроструктуры образцов при помощи сканирующей электронной микроскопии (SEM); были проведены измерения твердости, прочности на изгиб, электропроводности. Для фидстока были проведены измерения показателя текучести (ПТР).

Исследования образцов позволили установить зависимости роста твердости и электропроводности образцов. В ходе работы было выявлено зависимость повышения твердости и электропроводности с увеличением температуры, при которой были спечены образцы. Наивысшее значения были получены при спекании образцов при 1050 °С. Макси-

мальное значение электропроводности достигало до 75 % от электропроводности чистой меди. Максимальное напряжение, которое было получено при исследовании образцов на прочность на изгиб, составляет 101 МПа.

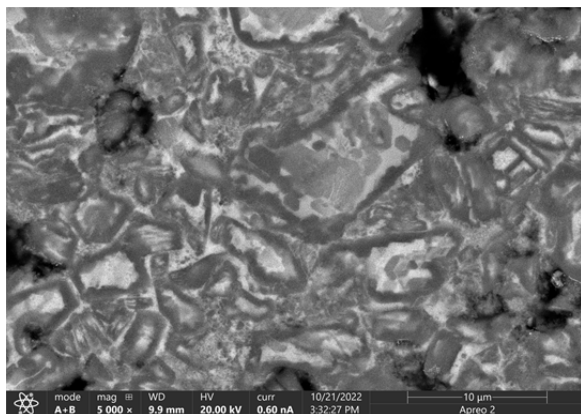


Рис. 2.1. Микроструктура образцов, полученных с применением микроразмерного порошка меди

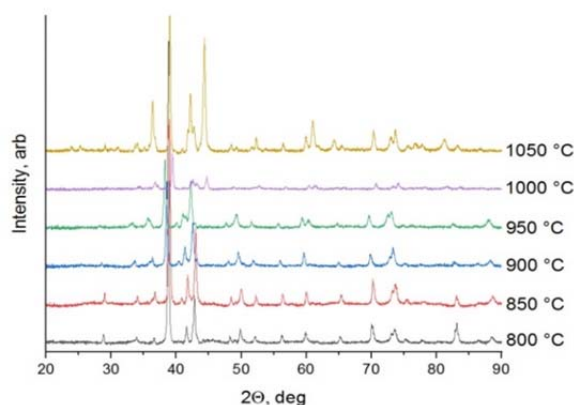


Рис. 2.2. Рентгенограммы образцов после спекания на разных температурах

В целом формируется структура, соответствующая металломатричному композиту – частицы или агломераты частиц МАХ-фаз находятся в медной матрице. Температура плавления меди составляет 1085 °С, поэтому при приближении к этой температуре спекание интенсифицируется. Кроме того, может сказываться наличие наночастиц меди, температура плавления которых ниже микронных материалов. На это указывает наличие следов присутствия жидкой фазы во время спекания в некоторых образцах, спеченных при 1000 °С. Однако потеря массы образцов не наблюдается. Спекание выше температуры плавления приводит к вытеканию меди из материала – частичному или полному. В связи с этим оптимальным является проведение спекания при температуре не выше 1050 °С.

Присутствие следов распада МАХ-фазы является неизбежным при высокотемпературном спекании образцов. Рентгенофазовый анализ показывает (рис. 2.2), что вплоть до температуры 900 °С в образце присутствует МАХ-фаза в количестве, достаточном для обнаружения методом XRD. При дальнейшем увеличении температуры МАХ-фаза на рентгенограммах отсутствует. При этом рентгенограмма образца с микронным порошком показывает отсутствие МАХ-фазы уже на 1000 °С, что подтверждает данные, полученные по SEM снимкам (рис. 2.1).

Работа выполнена при поддержке гранта Президента Российской Федерации для молодых российских ученых № МК-209.2022.4.

Список литературы

1. Zhuo P. et al. Material extrusion additive manufacturing of continuous fibre reinforced polymer matrix composites: A review and outlook // *Composites Part B: Engineering*. – 2021. – Vol. 224. – No. 109143.
2. Zhou W. et al. In situ synthesis, mechanical and cyclic oxidation properties of Ti_3AlC_2/Al_2O_3 composites // *Advances in Applied Ceramics*. – 2018. – Vol. 117. – No. 6. – P. 340–346.
3. Tan Q. et al. Recent progress in additive manufacturing of bulk MAX phase components: A review // *Journal of Materials Science & Technology*. – 2022. – Vol. 131. – P. 30–47.