

ОСОБЕННОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ, СВОЙСТВА И СТРУКТУРА КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ Ti_3AlC_2 -Cu, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ ЭКСТРУЗИИ НАПОЛНЕННЫХ ПОЛИМЕРОВ

А.О. АФАНАСЬЕВ^{1,}, М.Г. КРИНИЦЫН^{1,2}*

¹Томский политехнический университет

²Институт физики прочности и материаловедения СО РАН

*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 [1, 2, 3]. 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). Первым этапом подготовки фидстока является приготовление смеси металлических порошков с полимерным связующим. 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. Следующим этапом является перемешивание смеси порошков, полученных в первом этапе. В нашем случае использовался лабораторный смеситель «Турбула С 2.0». Далее полученная смесь перемешивается методом экструзии материала. Данная операция проводится несколько раз (около 3х), после каждого раза полученный материал подвергается дроблению. Данное перемешивание происходит с уменьшением диаметра сопла для лучшего перемешивания. Для данной операции использовался 3D принтер «Vizon 2» с доработанной печатной головкой. Полученный данным методом фидсток подходит для печати.

Для полученных фидстоков было проведено измерение показателя текучести расплава (ПТР). ПТР показывает текучесть расплава, которая соответствует определенным температурам и нагрузкам, приложенным на конкретный фидсток. На рисунке 1 предоставлены ПТР полученных фидстоков, данные получены для температуры 155 °С.

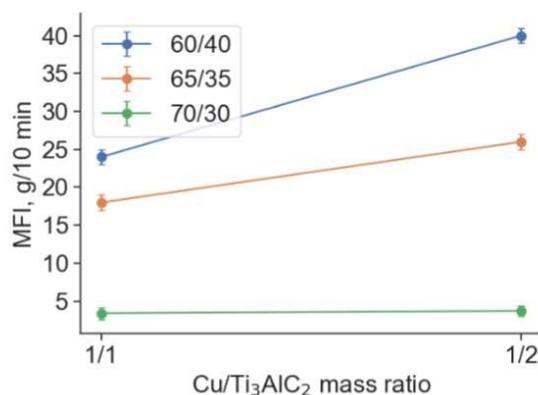


Рисунок 1 – ПТР образцов для температуры 155 °С

Образцы, полученные из данных фидстоков, также 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 предоставлена на рисунке 2. Остаток полимера удаляется спеканием в высокотемпературной вакуумной печи. Образцы, полученные после спекания в высокотемпературной вакуумной печи предоставлены на рисунке 3.

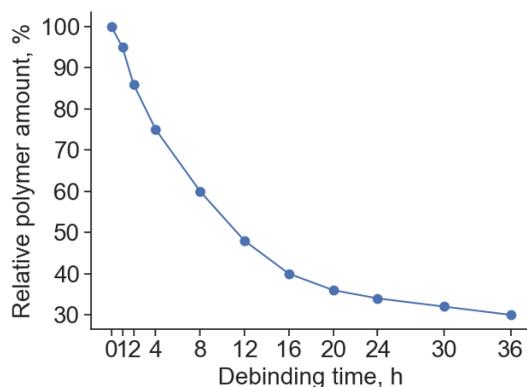


Рисунок 2 – Влияние продолжительности дебиндинга на содержание полимера в образце



Рисунок 3 – Образцы, полученные после спекания в высокотемпературной вакуумной печи

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

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 спекены образцы. Наивысшие значения были получены при спекании образцов при 1050 °С. Максимальное значение электропроводности достигало до 75 % от электропроводности чистой меди. Максимальное напряжение, которое было получено при исследовании образцов на прочность на изгиб, составляет 101 МПа.

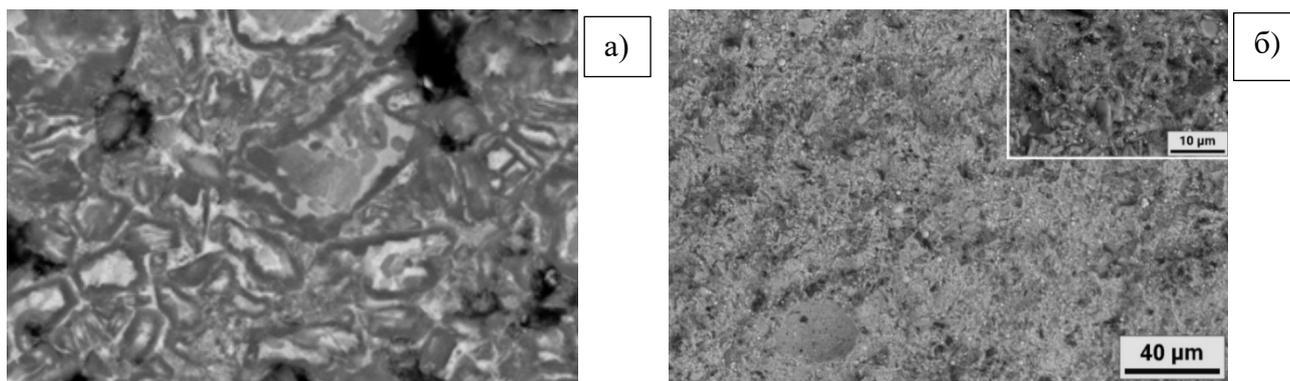


Рисунок 4 – Микроструктура образцов, полученных с применением микропорошка меди (а); поверхность излома фидстока (б)

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

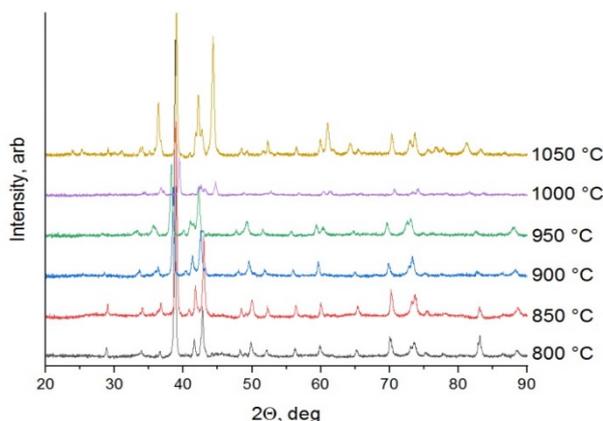


Рисунок 5 – Рентгенограммы образцов после спекания на разных температурах

Присутствие следов распада МАХ-фазы является неизбежным при высокотемпературном спекании образцов. Рентгенофазовый анализ показывает, рисунок 5, 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.

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.