

## ФОРМИРОВАНИЕ МЕТАЛЛОКЕРАМИЧЕСКИХ КОМПОЗИТОВ С МАХ-ФАЗОЙ СИСТЕМЫ Ti-Al-C МЕТОДОМ СЕЛЕКТИВНОГО ЛАЗЕРНОГО СПЛАВЛЕНИЯ

Кринецын М. Г.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, г. Томск

<sup>2</sup>Томский политехнический университет, г. Томск, krinmax@gmail.com

*Ключевые слова:* аддитивные технологии, порошковая металлургия, металломатричные композиты.

Современные технологии машиностроения требуют создания новых материалов, которые позволят использовать технику нового поколения в экстремальных условиях, в том числе в таких, где применение традиционных материалов невозможно. Перспективными материалами для авиакосмической промышленности и машиностроения в целом являются металломатричные композиционные материалы с МАХ-фазной керамикой, поскольку изделия из таких материалов сочетают в себе пластичность, тепло- и электропроводность металла, при этом сохраняя прочность керамики. Однако создание изделий из композитов с содержанием МАХ-фаз является непростой задачей, поскольку при высокотемпературной обработке, а также при интенсивном механическом воздействии МАХ-фаза может разрушаться или химически разлагаться на другие соединения, что приводит к потере эксплуатационных свойств композита [1].

Современные аддитивные технологии, такие как селективное лазерное сплавление (SLM) и электронно-лучевое сплавление (EBM) подразумевают нагревание материала при формировании изделий, в связи с этим использование композитов с МАХ-фазами в этих технологиях ограничено. Целью данной работы было исследовать эволюцию фазового состава при SLM композиционных материалов системы Ti-Al-C, содержащих в исходном состоянии МАХ-фазу, и убедиться, что не происходит ее разложения. Также задачей было аттестовать структуру получаемых образцов на наличие макродефектов в процессе печати.

В качестве исходных материалов использовались порошки, синтезированные из механоактивированных смесей Ti-Al-C на основе титана с различным массовым соотношением компонентов. Было установлено, что после сжигания в смесях формируется фаза  $Ti_3AlC_2$ , которая не укладывается в стандартные представления о МАХ-фазах, в которых атомов С на один меньше, чем титана [2]. Исследования поперечных шлифов показали, что фаза  $Ti_3AlC_2$  имеет вытянутую форму, характерную для МАХ-фаз.

После селективного лазерного сплавления синтезированных порошков фазовый состав продуктов изменяется, однако МАХ-фазу удается сохранить. Она наблюдается как по результатам рентгенофазового анализа, так и при исследовании структуры поперечных шлифов. Помимо МАХ-фазы полученные образцы содержат интерметаллидные соединения, таким образом, в результате селективного лазерного сплавления формируется композиционный материал с интерметаллидной матрицей и керамическими включениями из МАХ-фазы.

### Список литературы

1. Experimental Study of Laser Treatment of  $Ti_3AlC_2$  Max Phase / M. Krinitsyn, O. Kashnikova, M. Ragulina, A. Baranovskiy, I. Firsina, I. Nikolaev //2020 7th International Congress on Energy Fluxes and Radiation Effects (EFRE). – IEEE, 2020. С. 1150-1154.
2. Phase relationships involving TiC and  $Ti_3AlC_2$  (P phase) in Ti–Al–C system / Riaz S., Flower H. M., West D. R. F. //Materials science and technology. 2000. Vol. 16. №9. P. 984-992.

Сведения об авторе

Кринецын Максим Германович, канд. техн. наук, младший научный сотрудник. Область научных интересов: порошковые композиционные материалы и их применение в технологиях машиностроения.

## THE FORMATION OF METAL-CERAMIC COMPOSITES WITH THE MAX-PHASE OF TI-AL-C SYSTEM USING THE SELECTIVE LASER MELTING TECHNOLOGY

Kriniteyn M.G.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Institute of Strength Physics and Materials Science SB RAS, Tomsk, Russia

<sup>2</sup>Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia, krinmax@gmail.com

*Keywords: additive manufacturing, powder technology, metal-matrix composites.*

Modern engineering technologies require the creation of new materials that will allow the technique of new generation in extreme conditions, including those where the use of traditional materials is impossible. Prospective materials for the air-space industry and mechanical engineering are generally metallic composite materials with ceramics, since products from such materials combine the plasticity, heat and electrical conductivity of the metal, while the strength of ceramics. However, the creation of products from composites with a MAX-phase ceramics is a difficult task, since with high-temperature treatment as well as intensive mechanical effects, MAX-phase can be collapsed or chemically declared to other compounds, which leads to the loss of the operational properties of the composite [1].

Modern additive technologies, such as selective laser melting (SLM) and electron-beam melting (EBM), involves the heating of the material during the formation of products. In connection with this, the use of composites with MAX-phases in these technologies is limited. The purpose of this work was to investigate the evolution of the phase composition at SLM composite materials of the Ti-Al-C system, containing the MAX-phase in the initial state, and make sure that its decomposition does not occur. The task was to investigate the structure of the resulting samples for the presence of macrodefects during the printing process.

Powders synthesized from the mechanically activated titanium-based mixtures of Ti-Al-C system with a different mass ratio of components were used as starting materials. It was found that after burning in mixtures, the  $Ti_3AlC$  phase is formed, which does not fit into standard representations of the MAX-phases in which carbon atoms one less than titanium [2]. Studies of cross-sections have shown that the  $Ti_3AlC$  phase has an elongated form, distinctive for the MAX-phases.

After SLM of synthesized powders, the phase composition of products changes, however the MAX-phase are saved. It is observed both by the results of X-ray phase analysis and in the study of the structure of cross-sections. In addition to the MAX-phase, the resulting samples contain intermetallic compounds, thus, as a result of SLM, a composite material with an intermetalline matrix and ceramic MAX-phase inclusions are form.