

## ВОЗДЕЙСТВИЕ МЕХАНИЧЕСКОЙ АКТИВАЦИИ НА СТРУКТУРНО-ФАЗОВОЕ СОСТОЯНИЕ ПОРОШКОВОЙ СМЕСИ СИСТЕМЫ Ti-AL

А. Ю. Мясников, А. В. Собачкин, А. А. Ситников, В. И. Яковлев, М. В. Логинова

*Работа посвящена исследованию влияния механической активации на структурно-фазовое состояние порошковой смеси системы Ti-Al. В качестве объекта исследования применяли порошки Ti и Al. В ходе исследования проводилась механическая активация порошковой смеси с варьированием параметров работы планетарной шаровой мельницы АГО-2С (таких, как энергонапряженность и время воздействия). Энергонапряженность шаровой мельницы варьировали от 20 до 60 г. Время механоактивационного воздействия составляло от 1 до 13 минут. Отношение массы исходной порошковой смеси к массе мелющих тел составляло 1:20. Структурно-фазовый анализ образцов проводили на дифрактометре рентгеновском общего назначения ДРОН-6. Дифрактограммы всех образцов регистрировали в идентичных условиях, что позволяло более корректно сравнивать полученные величины. В ходе работы установлено, что при энергонапряженности шаровой мельницы 20 г процесс механоактивации требует чрезмерно длительного воздействия. При энергонапряженности шаровой мельницы 60 г происходит быстрое отравление продукта. Таким образом, по результатам исследований был установлен наиболее оптимальный режим механической активации порошковой смеси системы Ti-Al, заключающийся в энергонапряженности шаровой мельницы 40 г и времени механоактивационного воздействия 7 минут.*

*Ключевые слова: порошковая смесь, механическая активация, алюминиды титана, структурные состояния, подготовка шихты, энергонапряженность, время механоактивации, режимы воздействия, механокомпозит, СВС.*

### ВВЕДЕНИЕ

Важнейшими научными проблемами современного материаловедения являются создание новых конструкционных материалов и разработка эффективных технологий их производства [1–3]. Первостепенная роль в решении этих задач принадлежит разработкам жаропрочных сплавов. Важность этой проблемы связана с тем, что они являются основными конструкционными материалами во многих ведущих отраслях машиностроения [4–5].

Для изготовления жаропрочных сплавов в основном используются никелевые сплавы, поскольку они обладают наилучшими механическими свойствами, широким диапазоном рабочих температур (до 1050 °С), высокими эрозионными и коррозионными свойствами. Но они имеют низкую удельную жаропрочность из-за высокой плотности. Решением сложившейся проблемы могут стать интерметаллидные сплавы системы Ti–Al. Они обладают высокой удельной жаропрочностью, стойкостью к окислению, высоким модулем упругости и малой плотностью [6–10].

Для получения интерметаллидных спла-

вов на основе системы Ti–Al, используют метод механоактивации (МА), позволяющий обеспечивать практически идеальный контакт реагентов в твердой фазе, а также очистку реагентов от окислов и примесей [11–14]. Еще одним способом получения интерметаллидов является самораспространяющийся высокотемпературный синтез (СВС). СВС обладает такими положительными качествами, как простота используемого оборудования, малые энергозатраты, незначительное время на проведение процесса синтеза. Для получения сложных интерметаллидных соединений используют самораспространяющийся высокотемпературный синтез с предварительной механоактивацией (МАСВС). МАСВС осуществляется в два этапа. На первом этапе порошковую смесь обрабатывают в течение некоторого времени в шаровой мельнице, затем на втором этапе осуществляется непосредственно синтез реакционной смеси [15–20]. В связи с вышеизложенной целью работы является установление влияния механической активации на структурно-фазовое состояние порошковой смеси системы Ti–Al.

# ВОЗДЕЙСТВИЕ МЕХАНИЧЕСКОЙ АКТИВАЦИИ НА СТРУКТУРО-ФАЗОВОЕ СОСТОЯНИЕ ПОРОШКОВОЙ СМЕСИ СИСТЕМЫ Ti-AL

## МЕТОДЫ И МЕТОДИКИ

В качестве объекта исследования применяли порошки Ti и Al, которые подвергались механоактивации.

Механоактивация порошковой смеси производилась в течение некоторого времени при энергонапряженности шаровой мельницы 20, 40, 60 г. Для механоактивационной обработки использовали планетарную шаровую мельницу АГО-2. Отношение массы исходной порошковой смеси к массе мелющих тел составляло 1:20. Для защиты от окисления из цилиндров откачивался воздух, затем они заполнялись аргоном при давлении 0,3 МПа. После механической активации порошки извлекали из цилиндров в специальном боксе в аргоновой атмосфере.

Структурно-фазовый анализ образцов производили на дифрактометре ДРОН-6, с  $\text{CuK}\alpha$ -излучением ( $\lambda = 15,418 \text{ нм}$ ). Дифрактограммы всех образцов регистрировали в идентичных условиях, что позволяло более корректно сравнивать полученные величины. Шаг сканирования  $h = 0,05^\circ$ , время экспозиции  $t = 3 \text{ с}$ , угловой диапазон съемки  $2\theta = 20^\circ - 80^\circ$ .

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЯ

На рисунке 1 приведены дифрактограммы исходной смеси состава Ti+Al и смесей того же состава, механоактивированных при энергонапряженности мельницы 20, 40, 60 г и различном времени воздействия.

Из анализа дифрактограмм (рисунок 1, а) следует, что при энергонапряженности мельницы 20 г и времени механоактивационной обработки до 13 мин. наблюдается незначительное уменьшение интенсивностей дифракционных отражений, уширение пиков, повышение диффузного фона. При данных параметрах МА соединений не образуется.

Из сравнительного анализа дифрактограмм (рисунок 1, б) следует, что при энергонапряженности мельницы 40 г фазовый состав порошковой смеси после механоактивационной обработки во временном диапазоне от 1 до 7 мин. не отличается от исходного. Увеличение времени механоактивационной обработки до 7 мин. приводит к повышению диффузного фона, уменьшению интенсивностей дифракционных отражений компонентов смеси, уширению пиков, что свидетельствует о наличии неравновесных дефектов в продуктах размолла и уменьшении размеров кристаллитов. При увеличении времени МА до 10 и 13 мин. на дифрактограммах наблюдается уменьшение интенсивностей пиков Al, и, наряду с отражениями Ti и Al, появляются пики интерметаллида  $\text{Ti}_3\text{Al}$ . Это выражается в увеличении интенсивности дифракционных максимумов, вклад в

*ПОЛЗУНОВСКИЙ ВЕСТНИК № 4 2018*

которые вносят отражения Ti и  $\text{Ti}_3\text{Al}$ .

В отличие от энергонапряженности 40 г, при 60 г (рисунок 1, в) с увеличением времени от 1 до 7 мин. происходит несистематическое изменение интенсивности и ширины пиков обоих компонентов. При 7 мин. МА на дифрактограммах идентифицируются отражения фазы  $\text{Ti}_3\text{Al}$ . При дальнейшем увеличении времени МА наблюдается переход алюминия в рентгеноаморфное состояние. При этом интенсивность пиков  $\text{Ti}_3\text{Al}$  увеличивается.

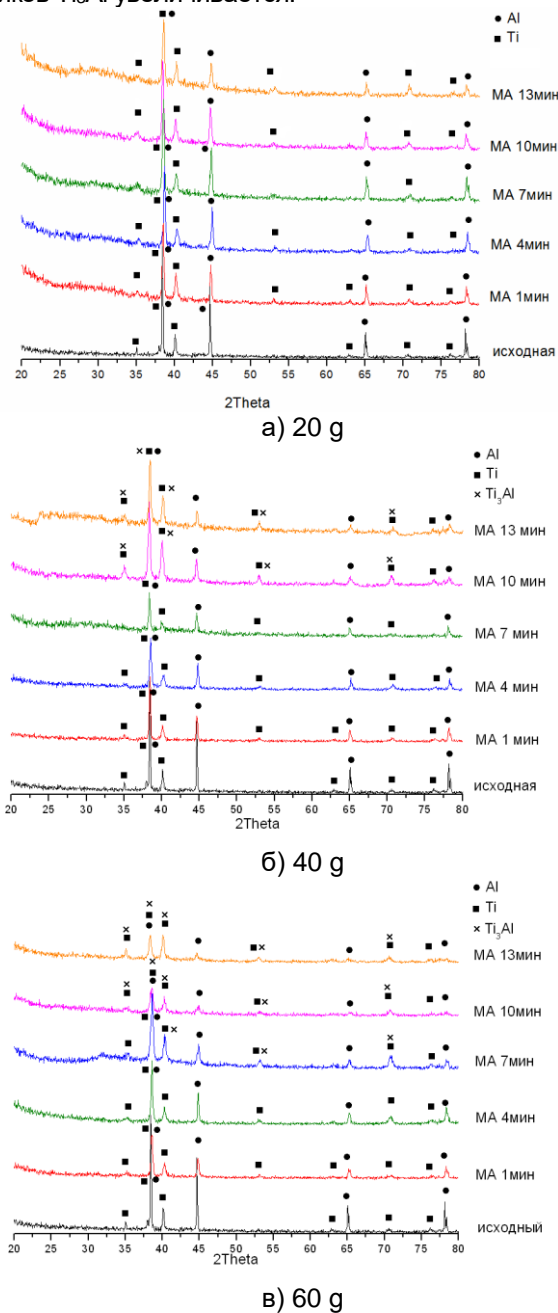


Рисунок 1 – Дифрактограммы смесей системы Ti + Al (исходной и механоактивированных при различной энергонапряженности мельницы)

## ВЫВОДЫ

Из приведенного анализа структурных параметров можно сделать вывод, что для последующей реализации высокотемпературного синтеза следует выбрать режим механической активации, соответствующий продолжительности 7 мин. при величине энергонапряженности шаровой мельницы 40 г. Данный режим выбран потому, что при энергонапряженности шаровой мельницы 60 г происходит быстрое отравление продукта. При энергонапряженности шаровой мельницы 20 г процесс механоактивации требует чрезмерно длительного воздействия. При энергонапряженности шаровой мельницы 40 г и времени воздействия более 7 мин. наблюдается отравление продукта.

*Исследования выполнялись в рамках государственного задания № 11.1085.2017/4.6 на НИОКР Министерства науки и высшего образования РФ.*

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Логинова, М. В. Рентгеноструктурное исследование влияния поглощенной дозы гамма-облучения на структурные характеристики  $Ti_3Al$  [Текст] / М. В. Логинова, В. И. Яковлев, А. А. Ситников, В. Ю. Филимонов, А. В. Собачкин, А. В. Градобоев // Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования. – 2018. – № 5. – С. 78–82.
2. Анташев, В. Г. Авиационные материалы «ВИАМ», 1932 – 2002 гг [Текст] / В. Г. Анташев, Н. А. Ночовная, Т. В. Павлова, Н. М. Подюкова, В. И. Иванов / Юбилейный научно – технический сборник под общей редакцией член. кор. РАН Каблова Е.Н. – 2002. – С. 111-115.
3. Логинова, М. В. Морфология и структурные характеристики порошковых механокомпозигов  $Ti+Al$  после облучения [Текст] / М. В. Логинова, В. И. Яковлев, В. Ю. Филимонов, А. А. Ситников, А. В. Собачкин, С. Г. Иванов, А. В. Градобоев // Фундаментальные проблемы современного материаловедения. – 2017. – Т. 14. – № 4. – С. 464–469.
4. Борисова, Е. А. Горение и пожаробезопасность титановых сплавов [Текст] / Е. А. Борисова, Н. М. Спяров / Под ред. Е. Н. Каблова. – М.: ВИАМ, 2007. – 87 с.
5. Логинова, М. В. Структурное состояние активированной порошковой смеси  $Ti+Al$  при изменении времени механоактивации и доз гамма-облучения [Текст] / М. В. Логинова, А. В. Собачкин, А. А. Ситников, В. И. Яковлев, В. Ю. Филимонов, С. Г. Иванов, А. Ю. Мясников, А. З. Негодяев, А. В. Градобоев // Фундаментальные проблемы современного материаловедения. – 2018. – Т. 15. – № 1. – С. 68–73.
6. Пат. 2210612 Российская Федерация МПК<sup>7</sup> C22C14/00. Сплав на основе титана и изделие, выполненное из него [Текст] / Каблов Е. Н., Ива-

нов В. И., Анташев В. Г., Савельева Ю.Г.; заявитель и патентообладатель ФГУП Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов. – № 2001125968/02; заявл. 24.09.01; опубл. 20.08.03, Бюл. № 23. – 2с.:ил.

7. Loginova, M. V. Formation of structural states in mechanically activated powder mixtures  $Ti + Al$  exposed to gamma irradiation [Text] / M. V. Loginova, V. I. Yakovlev, V. Y. Filimonov, A. A. Sitnikov, A. V. Sobachkin, S. G. Ivanov, A. V. Gradoboev // Letters on Materials. – 2018. – Vol. 8. – № 2. – p. 129–134. DOI: 10.22226/2410-3535-2018-2-129-134.

8. Иноземцев, А. А. Газотурбинные двигатели [Текст] / А. А. Иноземцев, М. А. Нихамкин, В. Л. Сандрацкий. – М.: Машиностроение, 2008. – Т. 2. – 366 с.

9. Loginova, M. V. The Evolution of Structural and Phase States of Titanium Aluminides after  $\gamma$  Irradiation in Small Doses [Text] / M. V. Loginova, V. I. Yakovlev, A. A. Sitnikov, A. V. Sobachkin, S. G. Ivanov, A. Z. Negodyaev, and A. V. Gradoboev // Physics of Metals and Metallography. – 2017. – Vol. 118. – No. 2. – pp. 170–175. DOI: 10.1134/S0031918X17020089.

10. Appel, F. Design, properties and processing of novel tial alloys [Text] / F. Appel, M. Oehring, J. D. H. Paul, and U. Lorenz // Proc. 2nd Int. Symp. on Structural Intermetallics, Ed. by K. J. Hemker et al. / The Minerals, Metals and Materials Society, Warrendale. – PA, 2001. pp. 63–72.

11. Ситников, А. А. Особенности структурного состояния механокомпозигов на основе алюминия для газодетонационного напыления покрытий / А. А. Ситников, А. В. Собачкин, В. И. Яковлев, М. В. Логинова, А. П. Свиридов // Научные технологии в машиностроении. – 2017. – № 12 (78). – С. 20–25.

12. Самораспространяющийся высокотемпературный синтез: теория и практика [Текст] : Сб. науч. статей / под ред. Е. А. Сычева. – Черноголовка «Территория», 2001. – 432 с.

13. Собачкин, А. В. Влияние времени механоактивационной обработки на структурно-фазовое состояние порошковой смеси в системе  $ti-al$  [Текст] / А. В. Собачкин, М. В. Логинова, А. Ю. Мясников // Инновационные технологии в машиностроении. Сборник трудов IX Международной научно-практической конференции. – 2018. – С. 65–69.

14. Loginova, M. V. Structural state of activated powder mixture  $ti + al$  with changing time of mechanical activation and doses of gamma-irradiation [Text] / M. V. Loginova, A. V. Sobachkin, A. A. Sitnikov, V. I. Yakovlev, V. Yu. Filimonov, S. G. Ivanov, A. Yu. Miasnikov, A. Z. Negodyaev, A. V. Gradoboev // Basic problems of material science Book of articles. Edition in Chief M.D. Starostenkov. – Барнаул, 2018. – С. 53-58.

15. Мержанов, А. Г. Твердопламенное горение [Текст] / А. Г. Мержанов. – Черноголовка : ИС-МАН, 2000. – 224с.

16. Sobachkin, A. V. Stimulation of processes of self-propagating high temperature synthesis in system

## ВОЗДЕЙСТВИЕ МЕХАНИЧЕСКОЙ АКТИВАЦИИ НА СТРУКТУРНО-ФАЗОВОЕ СОСТОЯНИЕ ПОРОШКОВОЙ СМЕСИ СИСТЕМЫ Ti-AL

Ti + Al at low temperatures by influence of  $\gamma$ -quanta [Text] / A. V. Sobachkin, M. V. Loginova, A.A. Sitnikov, V.I. Yakovlev, V.Yu. Filimonov, A.V. Gradoboev // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2018. – Vol. 327. – P. 032051. DOI: 10.1088/1757-899X/327/3/032051.

17. Вьюшков, Б. В. Об особенностях влияния предварительной механической активации шихты на параметры СВС-процесса, структуру и свойства многокомпонентного кермета марки СТИМ-5 [Текст] / Б. В. Вьюшков, Е. А. Левашов, А. Г. Ермилов, А. Н. Питюлин, И. П. Боровинская, К. Н. Егорычев // Физика горения и взрыва. – 1994. – Т. 30, № 5. – С. 63–67.

18. Ситников, А. А. Воздействие гамма облучения на структуру и фазовое состояние системы Ti – Al [Текст] / А. А. Ситников, А. В. Градобоев, В. И. Яковлев, М. В. Логинова, А. В. Собачкин, А. Ю. Мясников, Ю. Е. Грибов // Инновации в машиностроении : сборник трудов VIII Международной научно-практической конференции. – Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2017. – С. 413–420.

19. Егорычев, К. Н. Влияние механического активирования на взаимодействие в системе молибден-кремний [Текст] / К. Н. Егорычев, В. В. Кур-

баткина, Е. Ю. Нестеренко // Изв. ВУЗов. Цветная металлургия. – 1996. – № 1. – С. 71–74.

20. Итин, В. И. Влияние механоактивации на закономерности самораспространяющегося высокотемпературного синтеза в системе титан-никель [Текст] / В. И. Итин, Т. В. Монасевич, А. Д. Братчиков // Физика горения и взрыва. – 1997. – Т. 30, № 5. – С. 48–51.

**Мясников Андрей Юрьевич**, аспирант кафедры НТТС, АлтГТУ им. И.И. Ползунова, E-mail: [anicpt@rambler.ru](mailto:anicpt@rambler.ru);

**Собачкин Алексей Викторович**, с.н.с. ПНИЛ СВС, к.т.н., АлтГТУ им. И.И. Ползунова, E-mail: [anicpt@rambler.ru](mailto:anicpt@rambler.ru);

**Ситников Александр Андреевич**, директор ИТЦ, д.т.н., профессор, АлтГТУ им. И.И. Ползунова, E-mail: [sitalan@mail.ru](mailto:sitalan@mail.ru);

**Яковлев Владимир Иванович**, доцент кафедры НТТС, к.т.н., АлтГТУ им. И.И. Ползунова, E-mail: [anicpt@rambler.ru](mailto:anicpt@rambler.ru);

**Логинова Марина Владимировна**, с.н.с. ПНИЛ СВС, к.т.н., АлтГТУ им. И.И. Ползунова, E-mail: [anicpt@rambler.ru](mailto:anicpt@rambler.ru);