

Чистое производство все чаще становится важной частью планирования, проектирования, эксплуатации и управления во всех отраслях промышленности. Однако для оценки и оценки прогресса на пути к созданию более устойчивых систем важно, чтобы надлежащий мониторинг экологических и социальных воздействий осуществлялся на регулярной основе, и чтобы результаты использовались для того, чтобы помочь сосредоточить внимание общества на путях дальнейшего улучшения устойчивости образа жизни. Использование всех инструментов мониторинга и внесенных изменений на практике должно основываться на достоверных, репрезентативных и нормализованных данных.

В статье рассмотрена концепция чистого производства. Главная цель статьи развитие человеческого капитала, способного понять срочность и необходимость обеспечения устойчивого развития и экологизации производства. Люди, которые понимают и способны руководить разработкой стратегий ЧП для устойчивого развития, принимая во внимание региональные, национальные и глобальные приоритеты, культурное разнообразие и финансовые ограничения.

Список используемых источников:

1. Ashton, W., Luque, A., Ehrenfeld, J., 2002. Best Practices in Cleaner Production Promotion and Implementation for Smaller Enterprises. IDB. Available at: <http://idbdocs.iadb.org/wsdocs/getdocument.aspx?docnum14553928> (accessed 01.02.20.).
2. Gladwin, T.N., Kennelly, J.J., Shelomith Krause, T., 1995. Shifting paradigms for sustainable development: implications for management theory and research. AOM Rev. 20 (4), 874e907. <http://www.jstor.org/stable/258959> (accessed 05.02.20.).
3. Hershberg, T., 1996. Human Capital Development: America's Greatest Challenge. <http://www.cgp.upenn.edu/pdf/Human%20Capital%20Development.pdf> (last accessed 04.02.20.).
4. NASA Sustainable Development Indicators: Available at: <http://www.hq.nasa.gov/iwgsdi/1997SDI.html>. (accessed 05.02.20.).
5. UNEP. 2013. Resource Efficient and Cleaner Production. Available at: <http://www.unep.fr/scp/cp/>. (accessed 21.02.20.).
6. USEPA. 2013. Lean Manufacturing and the Environment. Available at: <http://www.epa.gov/lean/environment/index.htm>. (accessed 17.01.20.).

ПОЛУЧЕНИЕ МАТЕРИАЛА ИЗ МЕХАНИЧЕСКИ ЛЕГИРОВАННОГО ПОРОШКА Ti-Nb МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОИСКРОВОГО СПЕКАНИЯ ПОД ДАВЛЕНИЕМ

Е.Е. Токтасынов, студент группы 4АМ81, Д.Д. Мукашова, студентка группы 4БМ83

научный руководитель: Ковалевская Ж.Г., доцент, д.т.н.

Национальный Исследовательский Томского политехнического университета

E-mail: toktasynov.e@mail.ru

Аннотация: Сплавы системы Ti-Nb являются перспективным материалом для медицины. В работе представлены результаты исследования строения и фазового состава материала, полученного электроискровым спеканием под давлением из механически легированного порошка 55 мас. % Ti и 45 мас. % Nb. Полученный компактный материал имел низкую пористость – 0,3% и мелкозернистую структуру с размером зерен менее 1 мкм. Сплав состоял из двух фаз: твердого раствора Ti и Nb с ОЦК решеткой и твердого раствора Nb в Ti с ГЦК решеткой.

Ключевые слова: Ti-40Nb, механическое легирование, электроискровое спекание под давлением

Как известно, сплавы системы Ti-Nb являются перспективным материалом для использования в медицине как основа для имплантатов [1]. Сложность получения данного сплава заключается в большой разнице температур плавления [2]. Поэтому наряду с получением данного сплава плавлением, используется механическое легирование (МЛ) компонентов в шаровых мельницах [3]. Особенностью механического легирования является порошкообразная форма получаемого продукта, требующая для создания конструкционного материала дальнейшего компактирования.

Одним из перспективных методов компактирования является электроискровое спекание под давлением – Spark Plasma Sintering (SPS). При спекании порошка на материал одновременно воздействует постоянный ток в импульсном режиме, температура и давление. Импульсный режим обеспечивает локальный нагрев контактных зон на границе частиц и их быстрое охлаждение, а высокая плотность межзеренных границ механокомпозита и большой запас свободной энергии при после-

дующем нагреве способствует интенсификации процесса спекания и сохранению ценных структурных характеристик материала в спеченном состоянии [4].

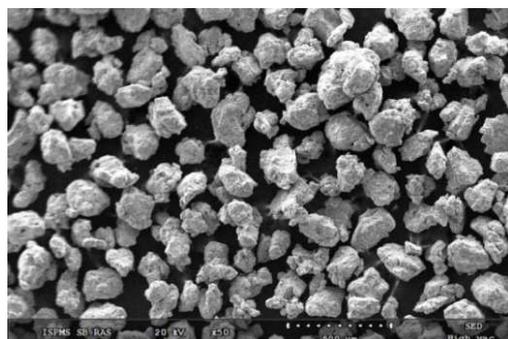
В работе исследовали особенности формирования компактного материала из механически сплавленного порошка Ti-Nb методом SPS.

Механическое легирование порошков проводилось в Лаборатории химического материаловедения Института химии твердого тела и механохимии СО РАН. Для этого использовалась планетарная шаровая мельница АГО-2С с водяным охлаждением [5]. Смеси порошков загружались по 10 г в рабочие стаканы объемом 135 мл вместе с мелющими шарами из стали ШХ-15. Центробежное ускорение шаров составляло 400 м/с². Для получения порошкового сплава были взяты порошки технически чистого титана и ниобия в соотношениях 55 мас. % титана и 45 мас. % ниобия (Ti45Nb). На основе анализа научных работ было выбрано время механического сплавления – 15 минут [6]. Для последующего SPS отсеивалась фракция порошка более 80 мкм.

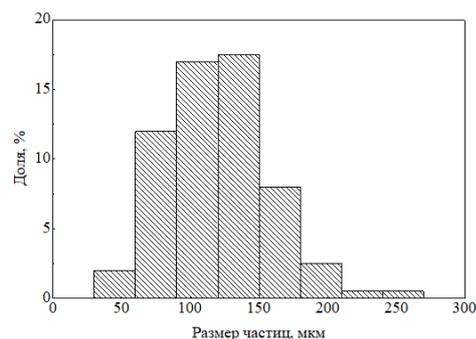
Компактирование порошков проводилось в Институте Гидродинамики им. М.А. Лаврентьева СО РАН на установке SPS Labox 1575, Sinter Land Inc (Japan). Метод обеспечивает низкую температуру спекания, время выдержки и давление по сравнению с другими традиционными процессами спекания [7]. Выбранные режимы спекания: температура спекания – 1000°C, время прессования – 3 минуты, давление 40 МПа.

Исследования проводились в ЦКП «Нанотех» ИФПМ СО РАН (г. Томск), ТРЦКП (г. Томск), ЦКП «Лаборатория электронной микроскопии» НГТУ (г. Новосибирск), ИХТТМ СО РАН (г. Новосибирск). Порошок и компактные образцы были исследованы с помощью оптической микроскопии (состав травителя: 40 об. % азотная кислота, 40 об. % плавиковая кислота, 20 об. % вода), рентгеноструктурного анализа (РСА) и растровой электронной микроскопии (РЭМ).

На рисунке 1а показано РЭМ изображение частиц порошка, полученного МЛ. Частицы порошка имеют форму окатышей с размером от 40 мкм до 260 мкм и средним значением 120 мкм (рис. 1б).



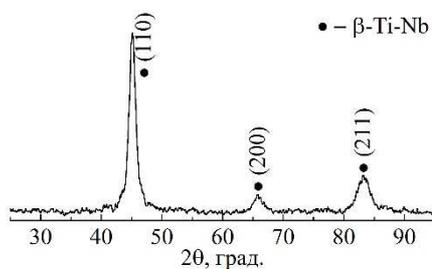
а



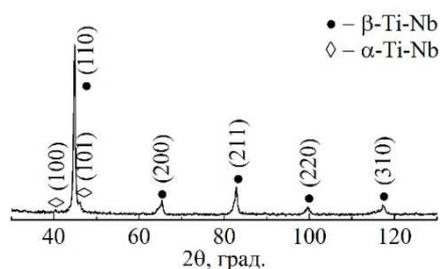
б

Рис. 1. РЭМ изображение частиц порошка (а) и гистограмма распределение их размера (б).

По данным РСА было определено, что в процессе механического легирования в частицах сформировался общий твердый раствор Ti и Nb – β-фаза с ОЦК решеткой (рис. 2а).



а

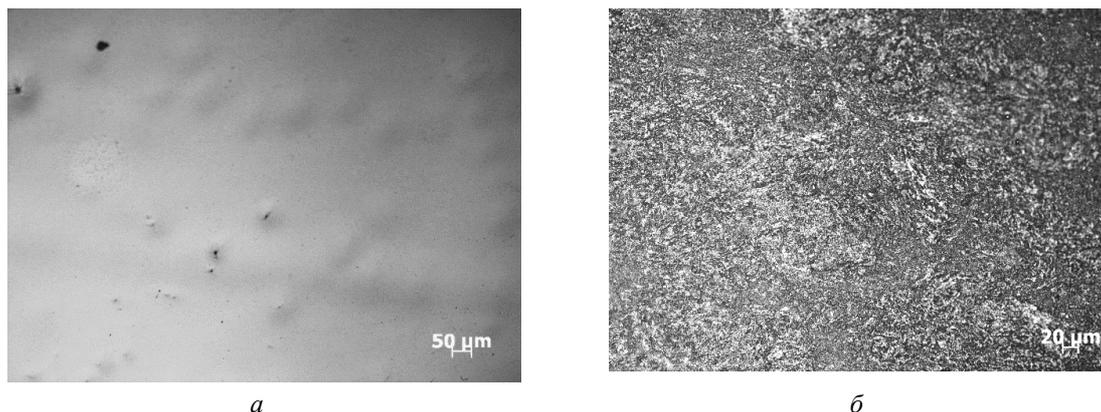


б

Рис. 2. Рентгенограммы порошка (а) и образца, полученного SPS (б).

При полученном фазовом составе и строении частиц, порошок может быть использован для SPS технологии. Форма частиц близкая к сферической, что обеспечивает высокую плотность насыпанного порошка, а формирование в процессе МЛ однофазного строения предполагает однородность материала, который будет получен методом SPS.

Как видно на рисунке 3 а, полученные методом SPS образцы имеют плотное строение. В материале отсутствуют трещины и усадочные раковины. Пористость материала составляет 0,3%. В образцах зафиксировано образование второй фазы (рис. 2б). Это α -фаза – твердый раствор Nb в Ti с ГЦК решеткой. Так как α -фаза является равновесной, ее выделение является следствием снижения уровня внутренних напряжений.



а б
Рис. 3. Металлографическое изображение образца, полученного SPS до травления (а) и после (б)

После травления на поверхности шлифа наблюдается структура, характерная для материалов, полученных с помощью данной технологии [8]. У материала мелкозернистое строение со следами экструзии (рис. 3б). Границ между отдельными частицами спеченного порошка не наблюдаются. С помощью металлографии на больших увеличениях удалось определить размер отдельных зерен, который составляет не более 1 мкм.

Таким образом, можно заключить, что при электроискровом спекании под давлением механически легированного порошка Ti45Nb получается материал с высокой плотностью, мелкозернистой структурой, в двухфазном состоянии.

Список используемых источников:

1. Ozaki T., Matsumoto H., Watanabe S., Hanada Sh. Beta Ti alloys with low young's modulus // Materials Transactions. 2004. V. 45, N. 8. P. 2776–2779.
2. Ильин А.А., Колачев Б.А., Полькин И.С. Титановые сплавы. Состав, структура, свойства. Справочник. - М.: ВИЛС-МАТИ. 2009. 520 с.
3. Кузьмич Ю.В., Колесникова И.Т., Серба В.И. Механическое легирование – М: Наука, 2005. 213 с.
4. Cavaliere P. Spark plasma sintering of materials: advances in processing and applications, Springer, 2019. 780 p.
5. А.с. №975068 (СССР). Планетарная мельница. Бюллетень изобретений. 1982. № 43.
6. Ковалевская Ж.Г., Шаркеев Ю.П., Корчагин М.А., Химич М.А., Ибрагимов Е.А., Сапрыкин А.А., Батаев В.А. Исследование строения порошкового сплава Ti-40Nb, полученного механической активацией. Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). 2016. Т. 73. № 4. С. 34–42.
7. Shevtsova L.I., Nagavkin S.Y., Korchagin M.A., Thömmes A., Mali V.I., Anisimov A.G. Spark plasma sintering of mechanically activated Ni and Al powders // Advanced Materials Research. 2014. V. 1040. P. 772–777.
8. Шевцова Л. И. Структура и механические свойства интерметаллида Ni3Al, полученного по технологии искрового плазменного спекания механически активированной порошковой смеси «Ni–Al» // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). 2014. Т. 64. № 3. С. 13–19.