

УДК 544.463

МЕХАНОХИМИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ СИЛИЦИДОВ НИОБИЯ ИЗ ПЕРЕРАБОТАННОЙ МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ СТРУЖКИ

Беляев Никита Евгеньевич

*Аспирант 3 года обучения,
кафедра «Технологии машиностроения»
Новосибирский государственный технический университет*

*Научный руководитель: Е.Д. Головин,
кандидат технических наук, доцент кафедры «Технологии машиностроения»*

Аннотация

В работе показана актуальность механохимического синтеза, как способа получения силицидов ниобия, в планетарной шаровой мельнице «Активатор 2SL». Проведены исследования по получению высокотемпературной фазы Nb_5Si_3 из переработанной металлической стружки.

Ключевые слова: силициды ниобия, механохимический синтез, ускорение мелющих тел, высокотемпературный.

Введение

Современные суперсплавы достигают границ своих возможностей в условиях высоких температур. По этой причине исследователи все больше внимания уделяют изучению материалов на основе интерметаллидов, способных превзойти существующие на сегодня суперсплавы. Среди таких материалов выделяют алюминиды титана, железа, а также силициды молибдена и ниобия [1, 2].

Система Nb-Si привлекает внимание научного сообщества в первую очередь своей высокой температурой плавления. Так, соединения системы Nb-Si имеют температуру плавления порядка 1950°C , среди которых наиболее тугоплавкий Nb_5Si_3 имеет температуру плавления 2515°C . По этой причине, материалы на основе системы Nb-Si имеют потенциал применения при экстремально высоких температурах [3].

Один из наиболее перспективных методов получения порошковых интерметаллидов – механохимический синтез. Возможности современного оборудования позволяют проводить механохимический синтез соединений, имеющих низкоэнергетический порог реакций. Качество и результат данного синтеза зависят от многих параметров системы, в том числе от воздействующей энергии на материал посредством мелющих тел [4].

Интенсивность воздействия на материал в планетарной шаровой мельнице напрямую зависит от энергии мелющих тел, и как следствие от их массы и ускорения. Существуют планетарные шаровые мельницы с ускорением мелющих тел в диапазоне до $168g$. В сочетании с водяным охлаждением это позволяет в течение длительного времени без остановок воздействовать большой энергией на обрабатываемый материал. А замена стальных барабанов на барабаны из твердого сплава в исследованиях позволит избежать наугаривания железа при механической активации и синтезе.

Практические эксперименты

Проведена серия экспериментов по получению силицидов ниобия в планетарной шаровой мельнице «Активатор 2SL». В качестве исходных материалов использовались

металлическая ниобиевая стружка и технический кремний. Оба материала предварительно измельчались до состояния порошка с размерами частиц менее 150 мкм на планетарной шаровой мельнице.

В экспериментах использовались барабаны и шары из твердого сплава марки ВК8. Соотношение материалов соответствовало стехиометрии Nb_5Si_3 . Для оценки влияния режимов обработки были применены шары разных диаметров с точками отбора образцов по времени 15,30,45 и 60 минут. Полученные образцы были исследованы с помощью рентгенофазового анализа.

Результаты

Полученные данные свидетельствуют о том, что при обработке в планетарной шаровой мельнице «Активатор 2SL» вышеуказанных ниобия и кремния в зависимости от времени обработки образуются три стабильные фазы силицидов ниобия: $NbSi_2$, Nb_3Si , Nb_5Si_3 . В данных экспериментах прослеживается последовательность получения фаз силицидов ниобия в следующем порядке: $NbSi_2$ - Nb_3Si - Nb_5Si_3 . При появлении и увеличении количества следующей фазы, количество предыдущей снижается. По результатам экспериментов после длительной обработки высокотемпературная фаза Nb_5Si_3 составляла до 90%. При увеличении размера шаров время обработки до получения аналогичного результата снижается.

Выводы

Практические эксперименты подтверждают взаимодействие ниобия с кремнием в планетарной шаровой мельнице с образованием фаз силицидов. Исходя из полученных результатов можно сделать вывод о возможности получения высокотемпературной фазы силицидов ниобия (Nb_5Si_3) в планетарной шаровой мельнице «Активатор 2SL». Практический эксперимент показал, что при увеличении шаров длительность обработки до получения аналогичного результата снижается.

Исследование механохимического синтеза силицидов ниобия, в том числе и высокотемпературной фазы Nb_5Si_3 , в высокоэнергонапряженных планетарных шаровых мельницах с ускорением мелющих тел в диапазоне до 168g является актуальной задачей. Полученные данные будут использованы для изучения и оценки влияния режимов обработки на механохимический синтез силицидов ниобия и последующий подбор оптимальных параметров обработки.

Литература

1. Morris, D. G., & Muñoz-Morris, M. A. (2005). Intermetallics: Past, present and future. *Revista de Metalurgia*, 41(Extra), 498–501. <https://doi.org/10.3989/revmetalm.2005.v41.iExtra.1084>
2. Bewlay, B. P., Jackson, M. R., Subramanian, P. R., & Zhao, J.-C. (2003). A review of very-high-temperature Nb-silicide-based composites. *Metallurgical and Materials Transactions A*, 34(10), 2043–2052. <https://doi.org/10.1007/s11661-003-0269-8>
3. Каблов Е.Н., Светлов И.Л., Ефимочкин И.Ю. Высокотемпературные Nb-Si композиты // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. «Машиностроение». 2011. С. 164-173.
4. Лапшин О.В., Болдырева Е.В., Болдырев В.В. Роль смещения и диспергирования в механохимическом синтезе (Обзор) // Журн. неорг. химии. - 2021. – Т. 66, № 13. – С. 402-424. – DOI: 10.31857/S0044457X21030119.