

ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРНО-ФАЗОВОГО СОСТОЯНИЯ НИКЕЛИДА ТИТАНА, СФОРМИРОВАННОГО МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОГО ПРОВОЛОЧНОГО АДДИТИВНОГО ПРОИЗВОДСТВА

К.В. Круковский, Д.Ю. Жапова, А.А. Гусаренко, С.А. Мартынов

Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, Томск

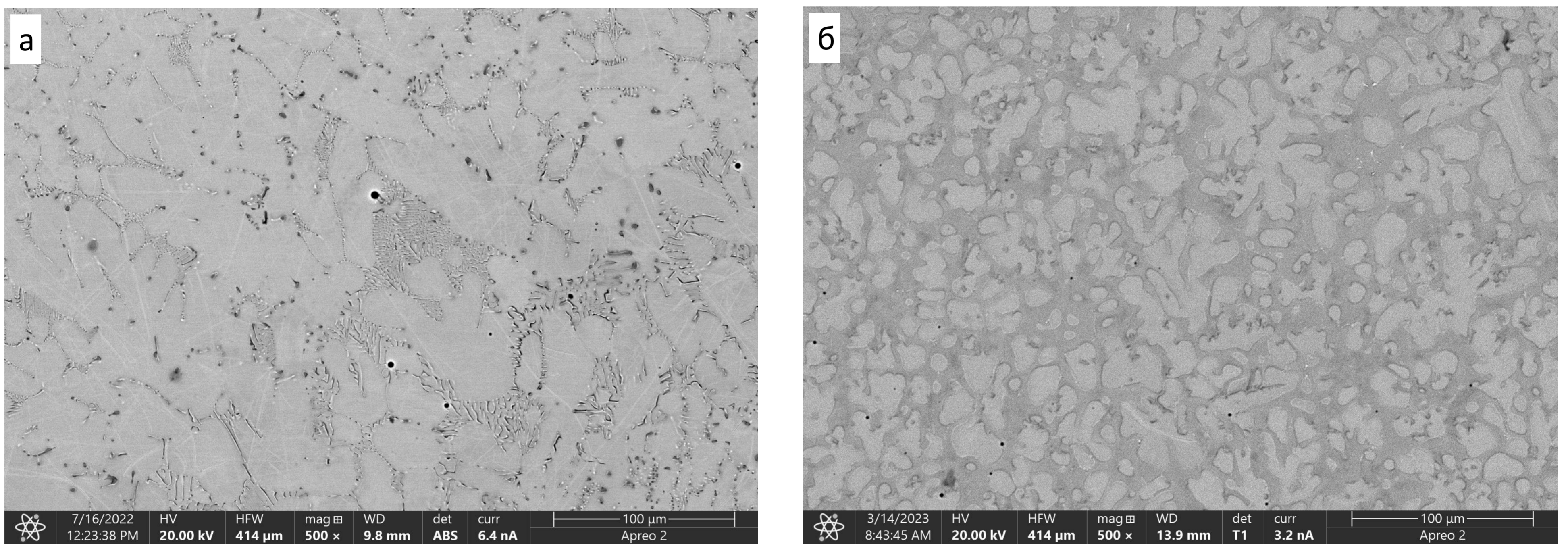
Email: kvk@ispms.ru

Сплавы на основе никелида титана (TiNi) нашли широкое применение в медицине, в том числе в качестве имплантатов сердечно-сосудистой системы [1]. Интерес к сплавам на основе никелида титана обоснован сочетанием высоких физико-механических и уникальных функциональных (эффекты памяти формы и сверхэластичности) свойств данных сплавов. Однако сплавы на основе TiNi трудно обрабатывать с помощью традиционного производства, что обусловлено высоким износом инструмента и трудоемким этапом механической обработки заготовок, которые связаны с высокой удельной теплоёмкостью материала и низкой теплопроводностью [2]. Таким образом, потребность в практическом методе с более низкой себестоимостью, а также высокой производительностью привела к повышению интереса исследователей к использованию методов электронно-лучевого проволочного аддитивного производства (ЭЛАП) для изготовления изделий, имеющих форму, близкую к заданной. Вместе с тем, методы аддитивного производства имеют ряд сложностей при использовании сплавов на основе TiNi в качестве сырья. Во-первых, тип используемой подложки. Использование подложки из титана приводит к формированию фаз Ti₂Ni и Ti₄Ni₂O_x в областях, близких к подложке, вследствие диффузионного обогащения атомами титана. При повышении высоты стенки состав материала приближается к составу исходного сырья [3, 4].

В данной работе была проведена печать образцов на титановой подложке проволокой из сплава на основе никелида титана (Ti_{49,3}Ni_{50,7} (% ат.)). Целью работы было определить величину зоны диффузионного обогащения атомами титана и её влияние на структурно-фазовое состояние полученных образцов в зависимости от стратегии печати. Образцы были напечатаны на установке электронно-лучевого проволочного аддитивного производства с использованием двух стратегий: тонкостенные образцы и образцы в виде бруска. Были напечатаны тонкостенные образцы высотой 25 мм, шириной 30 мм и толщиной 3-5 мм, а также образцы в виде бруска высотой 15 мм, шириной 30 мм и толщиной 25 мм. В качестве подложки использовалась пластина титана VT1-0 толщиной 5 мм.

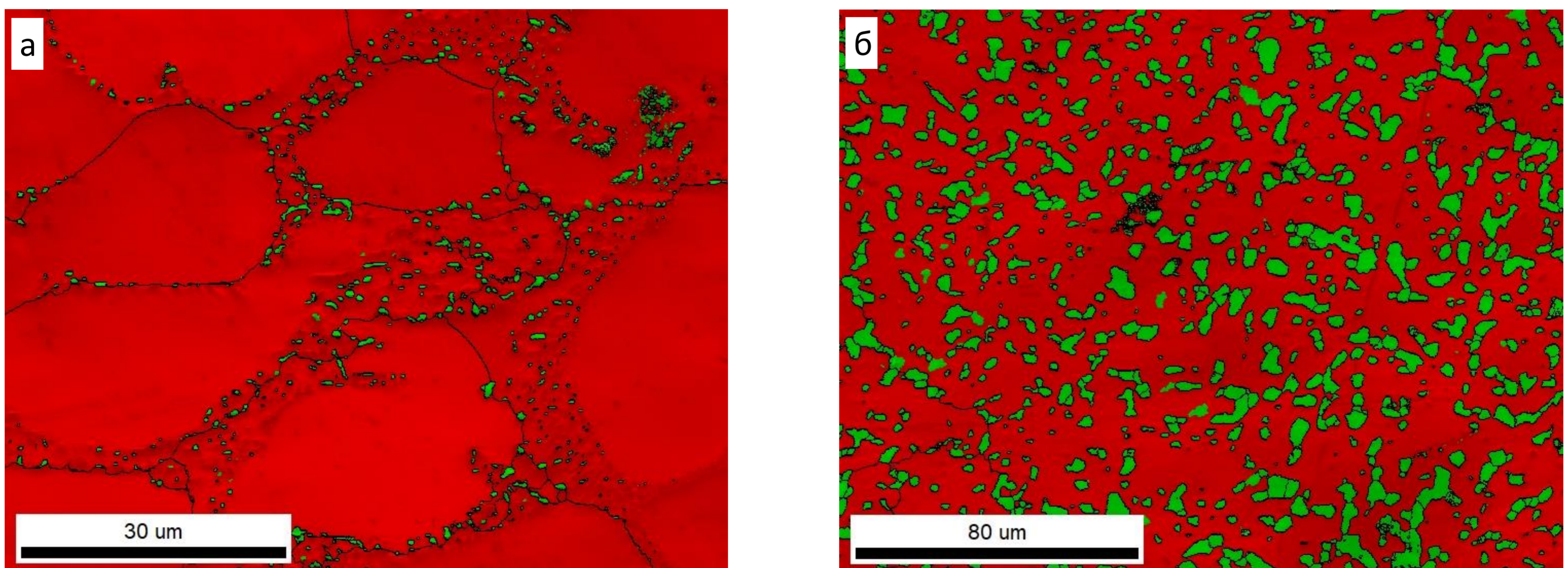
Микроструктуру и фазовый состав напечатанных образцов изучали с помощью растрового электронного микроскопа с приставками для исследований методом анализа дифракции обратно рассеянных электронов и методом энергодисперсионного рентгеноспектрального микроанализа.

В случае тонкостенного образца, морфология фазы Ti₂Ni представляла из себя ячеистую структуру, стенки ячеек состояли из отдельных кристаллитов. В образце в форме бруска зёрна фазы Ti₂Ni имели равноосную форму.



Растровое изображение структуры тонкостенного образца (а) и образца в виде бруска (б).

Результаты исследований методом дифракции обратно рассеянных электронов показали, что образцы, напечатанные по использованным стратегиям (тонкостенный образец и образец в виде бруска), состоят из фазы B2 никелида титана и фазы Ti₂Ni. В тонкостенном образце на расстоянии 3 мм от подложки объёмная доля фазы Ti₂Ni составляла около 25%. С увеличением высоты объёмная доля фазы Ti₂Ni плавно уменьшалась и у вершины образца составляла 5%. В образце в форме бруска объёмная доля фазы Ti₂Ni была больше и изменялась по высоте от 50% на расстоянии 3 мм от подложки до 15% у вершины образца.



Карты фаз, полученные методом дифракции обратно рассеянных электронов, для тонкостенного образца (а) и для образца в виде бруска (б). Фаза B2 показана красным, фаза Ti₂Ni зелёным цветом.

Исходя из полученных результатов, можно сделать предположение, что стратегия, предполагающая печать образцов, контактирующих с подложкой по большей площади, приводит к увеличенной, по сравнению с тонкостенными образцами, диффузии атомов подложки в образец.

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (№ 24-29-00598).

1. Li Y., Yang C., Zhao H., Qu S., Li X., Li Y. / Materials. – 2014. – Vol. 7. – No. 3. – P. 1709-1800.
2. Kaya E., Kaya I. / The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. – 2019. – Vol. 100. – P. 2045-2087.
3. Li B., Wang L., Wang B., Li D., Cui R., Su B., Yao L., Luo L., Chen R., Su Y., Guo J., Fu H. / Additive Manufacturing. – 2021. – Vol. 48. – P. 102468.
4. G.Chen / Applied Materials Today. – 2023. – Vol. 31. – P. 101749