

М. А. Шабанов, Ф. В. Водолазский*

Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина,
г. Екатеринбург

**f.v.vodolazskiy@urfu.ru*

ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ РЕЖИМОВ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА СТРУКТУРУ, ФАЗОВЫЙ СОСТАВ И ТВЕРДОСТЬ СПЛАВА Ti–21Al–23Nb–1V

В работе проведено исследование интерметаллидного сплава Ti–21Al–23Nb–1V (ат. %) после контролируемого режима охлаждения: нагрев 1060 °С, выдержка 20 минут, охлаждение с печью до 900 °С, выдержка 2 часа, охлаждение с печью до комнатных температур. Установлено, что наличие ступени при температуре 900 °С с выдержкой в течение 2 часов и дальнейшем охлаждении с печью до комнатной температуры позволило получить стабильное структурное и фазовое состояние. Данный режим обработки подходит для обработки крупногабаритных полуфабрикатов.

Ключевые слова: интерметаллид Ti_2AlNb , контролируемое охлаждение, структура, фазовый состав, твердость.

M. A. Shabanov, F. V. Vodolazsky

INFLUENCE OF HEAT TREATMENT REGIME ON STRUCTURE, PHASE COMPOSITION AND HARDNESS OF ALLOY Ti–21Al–23Nb–1V

The intermetallic alloy Ti–21Al–23Nb–1V (at. %) after controlled cooling conditions was investigated: heating 1060 C, holding 20 minutes, cooling with furnace to 900 C, holding 2 hours, cooling with furnace to room temperature. It was found the stage at a temperature of 900 °C (holding for 2 hours) and further cooling with the furnace to room temperature resulted to stable structural and phase state. This regime is suitable for processing large-sized semi-finished products.

Keywords: intermetallic Ti_2AlNb , control cooling, structure, phase composition, hardness.

Сплавы на основе интерметаллидов системы Ti–Al–Nb являются перспективными жаропрочными материалами с низкой удельной плотностью [1–2]. При производстве полуфабрикатов из сплавов на основе

интерметаллида Ti_2AlNb наблюдается ряд проблем, связанных с их низкой технологичностью. При охлаждении слитков или крупногабаритных поковок на воздухе может произойти их раскалывание из-за термических напряжений, или слиток становится очень хрупким и может расколоться даже при транспортировке. Такой эффект происходит из-за крайне неблагоприятной морфологии выделяющихся фаз. Одним из вариантов решения этой проблемы является получение в структуре достаточного количества пластичной β -фазы, без значительных дисперсных выделений. Это достигается за счет выбора режима охлаждения, при котором распад β -фазы происходит в верхнем интервале температур и возможный распад при низких температурах не окажет существенного влияния на свойства полуфабриката. Поэтому целью данной работы была разработка режимов охлаждения крупногабаритных полуфабрикатов из сплава на основе О-фазы, позволяющих получить стабильное структурное и фазовое состояние полуфабриката.

Материалом исследования в данной работе служил сплав $Ti-21Al-25Nb-1V$ (ат. %). Нагрев образцов производился в лабораторной электрической печи SNOL-20 по следующему режиму: нагрев на температуру 1060 °С, выдержка 20 минут, охлаждение с печью до 900 °С (1 образец), дальнейшей выдержке при этой температуре в течение 2 часов (2 образец), затем охлаждение с печью до 800 (3 образец), 700 (4 образец), 600 (5 образец), 200 °С (6 образец). Для фиксации высокотемпературного состояния производилась закалка в воду.

Исследование микроструктуры проводилось на микроскопе «Olympus GX-51». Рентгеноструктурный фазовый анализ был проведен на установке «Bruker D8 Advance» в медном K_α -излучении с помощью позиционно-чувствительного детектора LynxEye.

Анализ данных показал, что при отжиге на температуру 1060 °С и охлаждении до 900 °С (образец 1) присутствует β -фаза и небольшое количество α_2 -фазы преимущественно в виде зернограничных выделений, рис 1, а, что является типичным для подобного рода сплавов [3]. В верхнем интервале температур на ступени в 900 °С и выдержке при этой температуре в течение 2 часов протекает распад β -фазы с образованием пластинчатой О-фазы по всему объему β -зерна (образец 2), рис. 1, б. При дальнейшем охлаждении в интервале температур 900...600 °С (образцы 3–6) распад протекает в прослойках β -фазы с образованием дисперсных выделений О-фазы, рис. 1, в–г. Отметим, что по данным РСФА значительное количество β -фазы сохраняется вплоть до последних этапов обработки.

Период решетки β -фазы повышается в ходе контролируемого охлаждения, что свидетельствует о все более полном протекании процессов распада β -фазы (рис. 2). Повышение периода в ходе охлаждения происходит за счет повышения удельного содержания ниобия в β -фазе,

который имеет больший размер атома, чем титан и алюминий. Стабилизация периода решетки в 5 и 6 образцах говорит о том, что к 600 °С все процессы распада завершены.

По данным дюрOMETрического анализа видно, что твердость падает в ходе охлаждения. Это объясняется тем, что твердость в основном зависит от твердости матричной β -фазы, которая в ходе охлаждения становится мягче за счет удельного обеднения по алюминию и обогащения по ниобию.

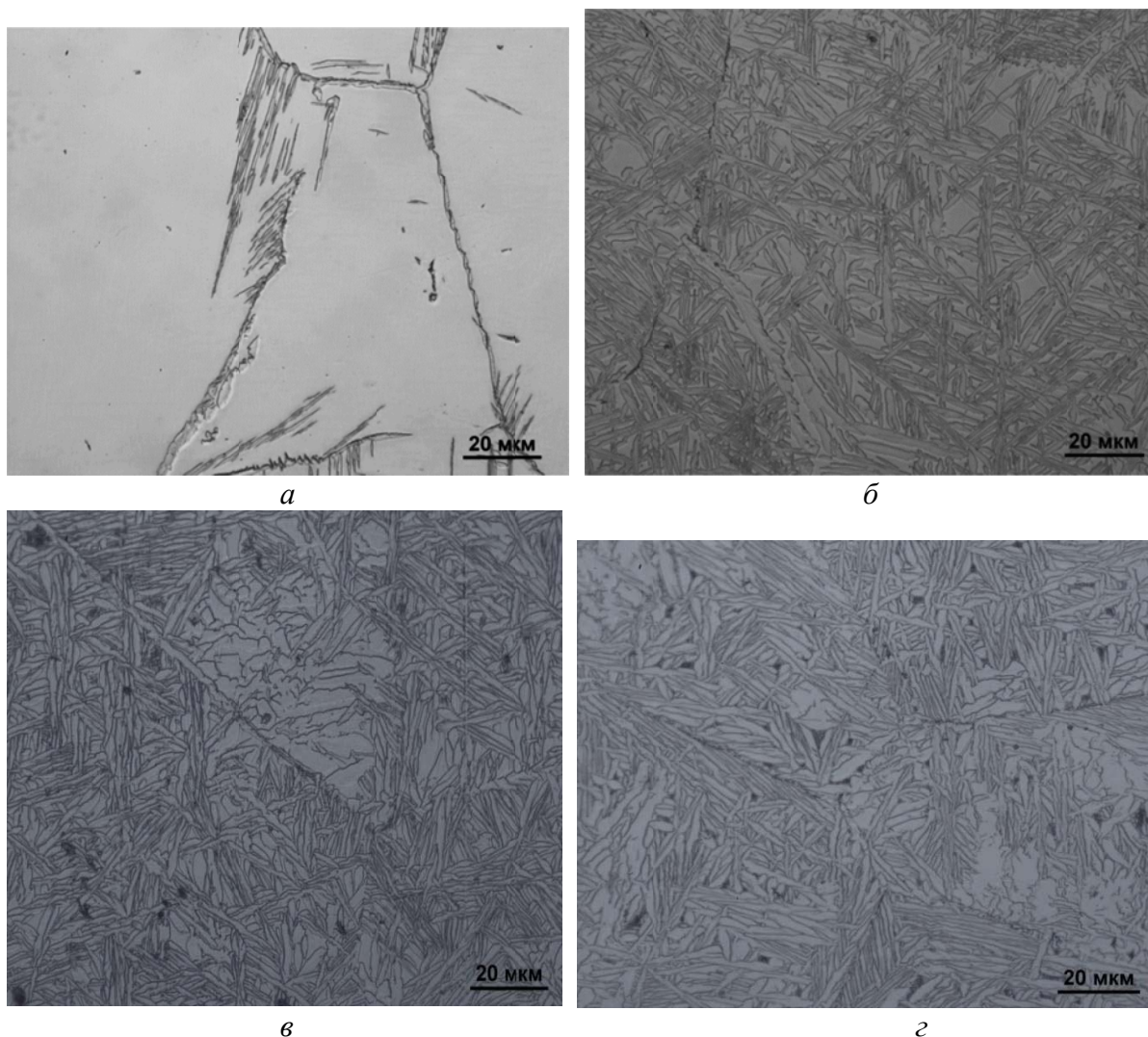


Рис. 1. Структура сплава Ti-21Al-23Nb-1V после охлаждения с температуры 1060 °С:

а – образец 1: охлаждение до 900 °С;

б – образец 2: охлаждение до 900 °С, выдержка 2 ч;

в – образец 3: охлаждение до 900 °С, выдержка 2 ч, охлаждение до 800 °С;

г – образец 6: охлаждение до 900 °С, выдержка 2 ч, охлаждение до 200 °С

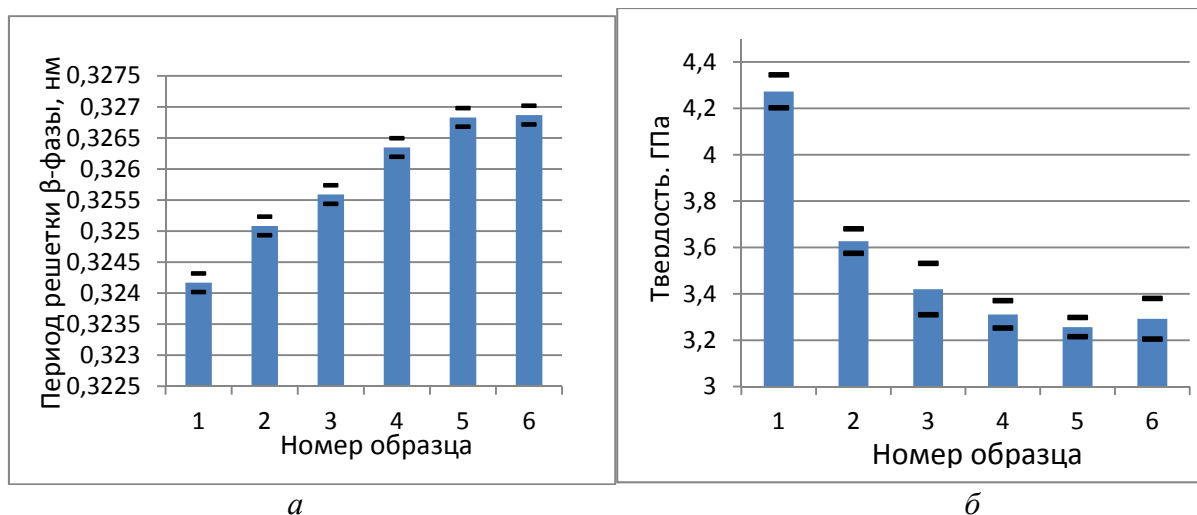


Рис. 2. Зависимость периода решетки β -фазы (а) и твердости (б) сплава Ti-21Al-23Nb-1V от режима термообработки

Таким образом, несмотря на некоторое количество дисперсных выделений (рис. 1, з), образец № 6 после охлаждения до комнатной температуре имеет низкую твердость, рис. 3. По данным РСФА β -фаза обогащена по Nb и ее приблизительно 40...50 %, все это говорит о стабильности β -фазы. Таким образом, цель работы получить достаточно пластичную структуру с достаточным содержанием β -фазы была достигнута. Данный режим охлаждения можно применять для крупногабаритных полуфабрикатов.

Таким образом, по полученным данным можно сделать следующие выводы.

1. В ходе экспериментов установлены изменения структурного состояния и фазового состава интерметаллидного сплава Ti-21Al-23Nb-1V в процессе охлаждения со ступенью при температуре 900 °С. Обнаружено, что распад β -фазы происходит с образованием небольшого количества α_2 -фазы и последующим выделением O-фазы в верхнем интервале температур (при 900 °С), что обеспечивает ее сохранение в структуре даже при охлаждении до комнатной температуры. Показано, что для образования значительного количества первичной O-фазы требуется не менее 2 ч выдержки при температуре 900 °С. В нижнем интервале температур (ниже 900 °С) происходит распад со вторичными выделениями O-фазы. При охлаждении с печью ниже температуры 600 °С следов распада β -фазы не зафиксировано.

2. Установлено, что твердость материала в ходе охлаждения падает, что связано с понижением удельного содержания Al и повышением удельного содержания Nb в β -фазе.

3. Режим охлаждения со ступенью при температуре 900 °С и выдержке в течение 2 ч и охлаждении до комнатной температуре позволяет получить стабильное структурное и фазовое состояние и

подходит для обработки крупногабаритных полуфабрикатов из сплава ВТИ-4.

Работа выполнена при поддержке гранта Президента Российской Федерации МК-7923.2016.8

ЛИТЕРАТУРА

1. Role of Matrix Microstructure on Room-Temperature Tensile Properties and Fiber-Strength Utilization of an Orthorhombic Ti–Alloy-Based Composite / C. J. Boehlert [et al.] // Metallurgical and materials transactions. 1997. V. 28, a. P. 309.
2. Microstructural evolution, creep, and tensile behavior of aTi–22Al–25Nb (at %) orthorhombic alloy / Wei Wang [et al.] // Materials Science&Engineering A603 (2014). P. 176–184.
3. Demakov S. L. Phase transformations in an alpha (2) titanium superalloy: I. Effects the quenching temperature and time at quenching temperature on the phase composition and structure of the alloy / S. L. Demakov, L. S. Stepanov, A. A. Popov // Fizika metallov i metallovedenie. 1998. V. 86, № 5. P. 115–122.