

ТОРАЙҒЫРОВ УНИВЕРСИТЕТІНІҢ
ҒЫЛЫМИ ЖУРНАЛЫ

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
ТОРАЙҒЫРОВ УНИВЕРСИТЕТА

**ҚАЗАҚСТАН ҒЫЛЫМЫ
МЕН ТЕХНИКАСЫ**

2001 ЖЫЛДАН БАСТАП ШЫҒАДЫ



**НАУКА И ТЕХНИКА
КАЗАХСТАНА**

ИЗДАЕТСЯ С 2001 ГОДА

ISSN 2788-8770

№ 4 (2023)

ПАВЛОДАР

**НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
ТОРАЙГЫРОВ УНИВЕРСИТЕТ**
выходит 1 раз в квартал

СВИДЕТЕЛЬСТВО

о постановке на переучет периодического печатного издания,
информационного агентства и сетевого издания
№ KZ51VPY00036165

выдано

Министерством информации и общественного развития
Республики Казахстан

Тематическая направленность

Публикация научных исследований по широкому спектру проблем
в области металлургии, машиностроения, транспорта, строительства,
химической и нефтегазовой инженерии, производства продуктов питания

Подписной индекс – 76129

<https://doi.org/10.48081/PWGH3542>

Импакт-фактор РИНЦ – 0,210

Импакт-фактор КазБЦ – 0,406

Абишев Кайратолла Кайроллинович – к.т.н., профессор (главный редактор);
Касенов Асылбек Жумабекович – к.т.н., профессор (заместитель главного редактора);
Мусина Жанара Керейовна – к.т.н., профессор (ответственный секретарь);
Шокубаева Зауреш Жанатовна – технический редактор.

Члены редакционной коллегии:

Калиакпаров Алтай Гиндуллинович – д.т.н., профессор (Нур-Султан, Казахстан);
Клецель Марк Яковлевич – д.т.н., профессор (Павлодар, Казахстан);
Шеров Карибек Тагаевич – д.т.н., профессор (Караганда, Казахстан);
Богомоллов Алексей Витальевич – к.т.н., ассоц. профессор (Павлодар, Казахстан);
Кажыбаева Галия Тулеуевна – к.т.н., профессор (Павлодар, Казахстан);

Зарубежные члены редакционной коллегии:

Vaigang Sun – профессор (Пекин, Китай);
Gabriele Comodi – PhD, профессор (Анкона, Италия);
Jianhui Zhao – профессор (Харбин, Китай);
Khamid Mahkamov – д.т.н., профессор (Ньюкасл, Великобритания);
Magin Lapuerta – д.т.н., профессор (СьюДад Реал, Испания);
Mareks Mezitis – д.т.н., профессор (Рига, Латвия);
Petr Bouchner – PhD, профессор (Прага, Чехия);
Ronny Berndtsson – профессор (Лунд, Швеция);
Барзов Александр Александрович – д.т.н., профессор (Москва, Россия);
Витвицкий Евгений Евгеньевич – д.т.н., профессор (Омск, Россия);
Иванчина Эмилия Дмитриевна – д.т.н., профессор (Томск, Россия);
Лазарев Владислав Евгеньевич – д.т.н., профессор (Челябинск, Россия);
Мягков, Леонид Львович – д.т.н., профессор (Москва, Россия);
Янюшкин Александр Сергеевич – д.т.н., профессор (Чебоксары, Россия);
Ребезов Максим Борисович – д.с/х.н., профессор (Москва, Россия).

За достоверность материалов и рекламы ответственность несут авторы и рекламодатели
Редакция оставляет за собой право на отклонение материалов
При использовании материалов журнала ссылка на журнал «Наука и техника Казахстана» обязательна

© Торайгыров университет

**А. Ж. Терликбаева¹, *А. М. Алимжанова², Р. А. Шаяхметова³,
А. А. Мухаметжанова⁴, Б. Т. Сахова⁵**

^{1,2,3,4,5}РГП на ПХВ «Национальный центр по комплексной переработке минерального сырья Республики Казахстан», Республика Казахстан, г. Алматы
*e-mail: alma_terlikbaeva@mail.ru

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ И ПОСТРОЕНИЕ ФАЗОВЫХ ДИАГРАММ МНОГОКОМПОНЕНТНОЙ СИСТЕМЫ Ti-AL-MO-V-ZR

В данной работе были проведены расчеты изотермических и политермических расчетов системы Ti-2,5Al-5Mo-5V с добавлением различных масс.% Zr с помощью программы Thermo-Calc Perpetual SUNLL 2023a с использованием базы данных TCS Ti-and TiAl Alloys Database, Perpetual DSUNLL 5. Расчетным путем определены показатели изменения фазового состава сплава системы Ti-Al-Mo-V-Zr в зависимости от условия охлаждения и состава. Введение циркония в титановый сплав системы Ti-2,5Al-5Mo-5V в количестве 1 % приводит к значительному изменению фазового состава. Установлено, что легированные небольшим количеством циркония титановые сплавы являются двухфазными, и в связи с этим увеличивать содержание циркония выше 1 % нецелесообразно.

Политермическими расчетами определено оптимальное соотношение компонентов титанового сплава, масс. %: 2,5 Al, 5 Mo, 5 V, 1Zr, остальное титан. Установлено, что в диапазоне температур 660–700 °С происходит равное распределение количества α и β фаз. Для того чтобы зафиксировать необходимую двойную $\alpha + \beta$ область необходимо провести дополнительную термическую обработку сплава при 660–700 °С, а процесс дальнейшей прокатки сплава в листы дает возможность получить ультрамелкозернистую структуру, благодаря которой достигаются повышенные прочностные, пластичные и усталостные свойства.

Ключевые слова: Ультрамелкозернистость, интенсивная пластическая деформация, структура, наноразмеры, сверхпластичность.

Введение

В настоящий момент один из перспективных методов, который позволяет существенно усовершенствовать механические параметры металлов и сплавов, состоит в создании в них наноструктурных изменений различными способами интенсивной пластической деформации (ИПД). Посредством ИПД в металлах и сплавах создают ультрамелкозернистое (УМЗ) изменение с разнообразными наноструктурными компонентами, оказывающее существенное воздействие на их качества, что дает возможность приравнять УМЗ материалы к классу больших наноструктурных материалов [1]. Это дает возможность существенно увеличить

прочность, а также предел выносливости двухфазных титановых сплавов, осуществить их высоко- и/или низкотемпературную сверхпластичность [2].

Последние эксперименты выявили, то, что создание ультрамелкозернистой (УМЗ) текстуры в металлах и сплавах зачастую приводит к значительному уменьшению ударной вязкости и вязкости разрушения [3–5]. Как результат, это сильно ограничивает фактическое применение УМЗ титановых сплавов, как конструкционных материалов. По этой причине достижение в них компромисса между прочностью и вязкостью разрушения считается острой задачей в современном материаловедении.

В авиационном машиностроении прослеживается высокая заинтересованность к производству пустотелых тонкостенных деталей с высокими прочностными свойствами, которые достигаются при применении сверхпластических технологий. Особое внимание уделяется технологиям, базирующимся на применении эффекта традиционной и низкотемпературной сверхпластичности [6].

Уменьшение температуры сверхпластической деформации титановых сплавов с помощью изменения структуры и формирования УМЗ структуры термодиффузионной обработкой является одним из наиболее перспективных способов. Невысокая температура сверхпластической деформации даст возможность не только продлить период службы оснастки для формовки, но также применять менее дорогие марки сталей.

Для создания прецизионных титановых сплавов, легированных редкими и редкоземельными металлами с ультрамелкозернистой структурой, выбора режимов их термической обработки и горячей прокатки требуются большие временные затраты и финансовые ресурсы. Поэтому в последнее время все чаще при поиске новых сплавов с уникальными свойствами применяют компьютерное моделирование. В связи с этим для обоснования режимов получения и термической обработки титановых сплавов, необходимо проведение теоретических расчетов фазовых равновесий и построение диаграмм в многокомпонентных системах на основе титана Ti-Al-Mo-V-Zr.

В отличие от двойных систем полноценный анализ многокомпонентных систем (начиная уже с тройных) требует достаточно большого количества графических изображений, в частности, изотермических и политермических сечений. Имеющихся в литературе сведений даже по тройным системам явно недостаточно [7–9], а их экспериментальное изучение требует длительного времени. В связи с этим целесообразно использовать специализированные компьютерные программы. С этой целью для исследований применяли программу Thermo-Calc (Perpetual SUNLL 2023a) с использованием базы данных Titanium and Ti-Al alloy database TCTI: TCS Ti-and TiAl Alloys Database, Perpetual DSUNLL 5 [10]. Анализ многокомпонентных систем расчетными методами целесообразно проводить до экспериментальных исследований, которые применительно к титановым сплавам весьма трудоемки.

Материалы и методы исследования

В работе для оценки фазового состава и структуры сплавов использован компьютерный расчет характерных изотермических и политермических разрезов фазовой диаграммы многокомпонентных систем с помощью программы Thermo-Calc (Perpetual SUNLL 2023a) с использованием базы данных Titanium and Ti-Al alloy database TCTI: TCS Ti-and TiAl Alloys Database, Perpetual DSUNLL 5 [10]. Полуколичественную оценку фазового состава многокомпонентных сплавов осуществляют с использованием политермических и изотермических разрезов. Политермические разрезы позволяют оценить влияние отдельных легирующих элементов на формирование фазового состава при охлаждении и нагреве. В частности, определить в какой мере эти легирующие элементы влияют на температуру перехода в β -область при нагреве температуру полиморфного превращения.

Результаты и обсуждение

Изотермические разрезы сплавов системы Ti-2,5Al-5Mo-5V-1Zr рассчитанные при 400 и 700 °C приведены на рисунках 1 и 2.

При расчете системы Ti-2,5Al-5Mo-5V-1Zr в интервале температур от 400 до 700 °C формируются следующие фазы: α – твердый раствор на основе гексогональной плотной решетки (α -Ti); β -твердый раствор на основе одноцентрированной кубической решетки (β -Ti); β_2 – твердый раствор с повышенным содержанием β -стабилизатора, γ -фаза.

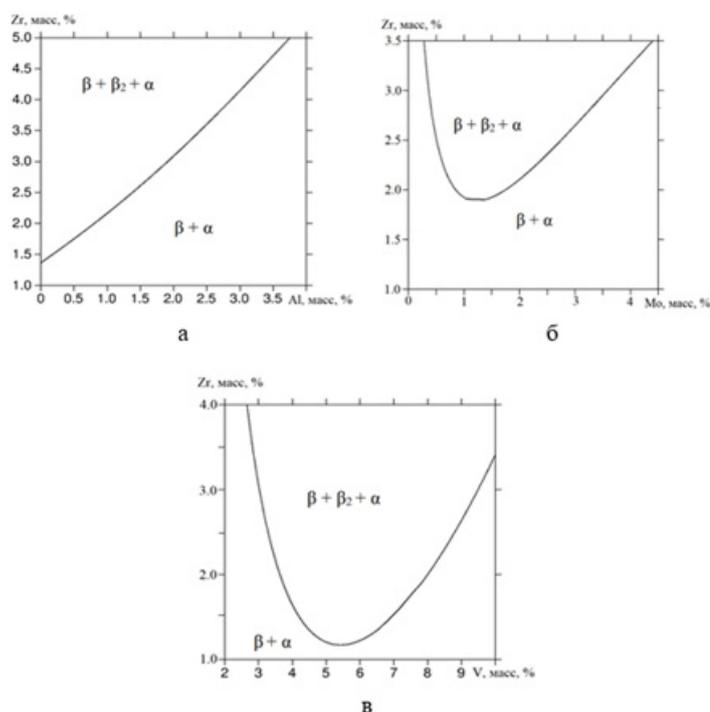


Рисунок 1 – Изотермические разрезы сплавов системы Ti-Al-Mo-V-1Zr при 400 °C

По полученным расчетным данным при 400 °С в сплавах системы Ti-2,5Al-5Mo-5V-1Zr образуются три фазы: $\beta + \beta_2 + \alpha$ (рисунок 1). При достижении температуры 700 °С и увеличении содержания алюминия в системе происходят превращения: из $\alpha + \beta$ области переходит в трехфазную $\alpha + \beta + \gamma$ (рисунок 2а).

При увеличении концентрации циркония выше 1 % и значениях молибдена $Mo > 5,5 \%$, ванадия $V > 5,5 \%$ наблюдается переход с двухфазной $\alpha + \beta$ области в однофазную β область (рис. 2б, в).

Расчетные данные проведенного исследования указывают, на то, что легированные небольшим количеством циркония титановые сплавы являются двухфазными, и в связи с этим увеличивать содержание циркония выше 1 % нерационально.

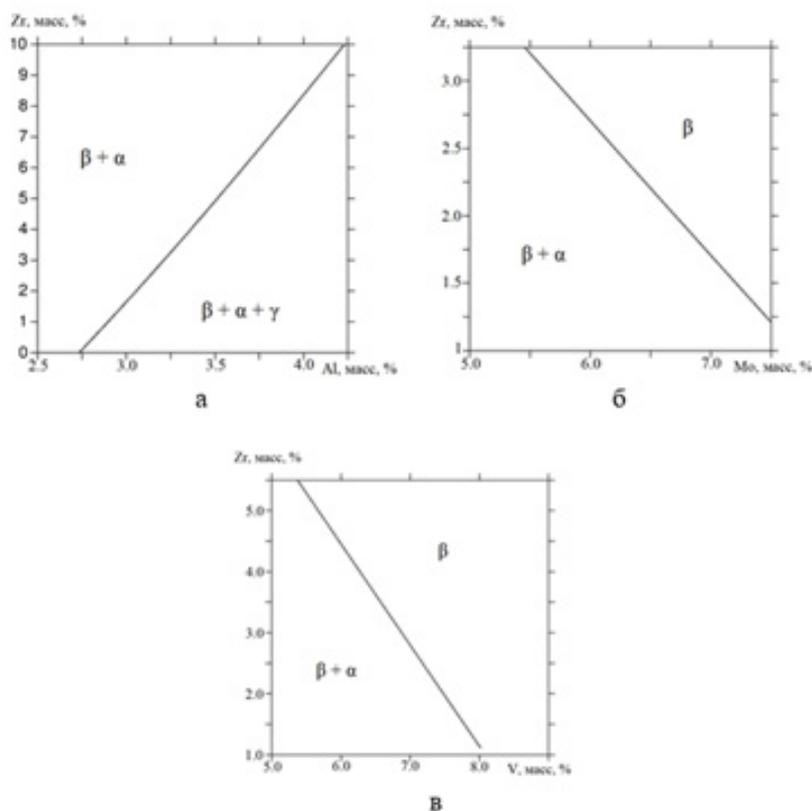


Рисунок 2 – Изотермические разрезы сплавов системы Ti-Al-Mo-V-1Zr при 700 °С

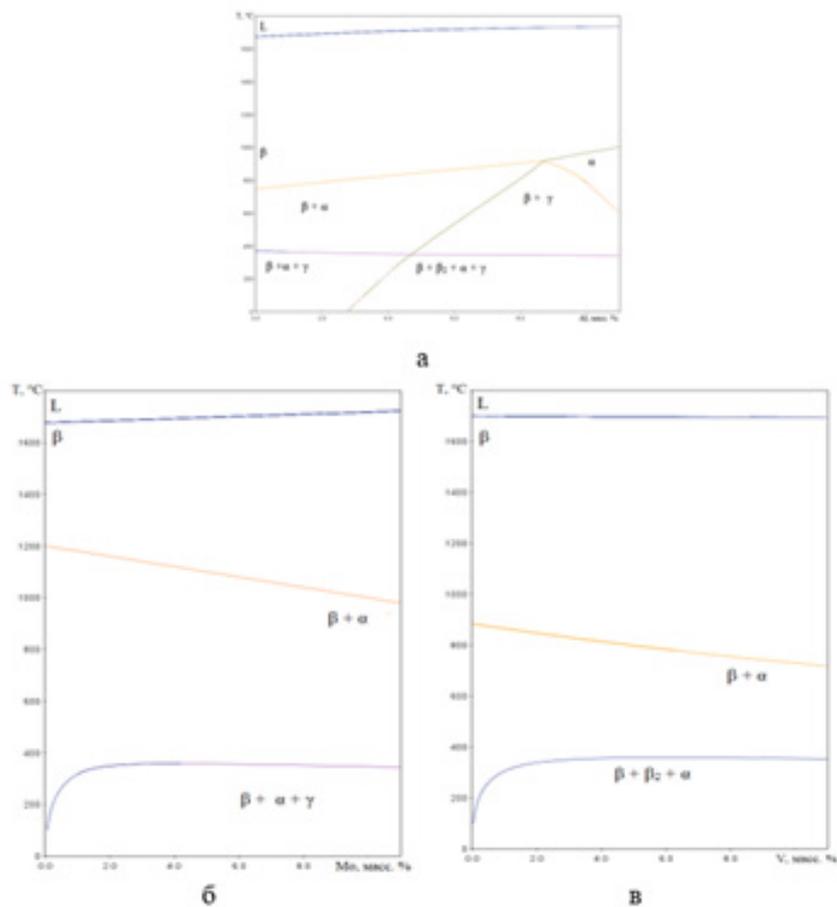


Рисунок 3 – Политермический разрез системы Ti-Al-Mo-V

Концентрация алюминия 2,5 % в диапазоне температур от 0 до 400 °C приводит к образованию $\beta + \alpha + \gamma$ области. Но уже вследствие повышения температуры от 400 до 750 °C в сплаве нежелательная γ -фаза пропадает, остается только $\beta + \alpha$ фазы. Путем увеличения содержания алюминия выше 3 % в диапазоне температур от 0 до 400 °C в сплаве образуются β_2 и γ фазы.

При расчете за основу были взяты постоянные концентрации 2,5Al, 5Mo, 5V и различное количество вводимой дозы циркония.

На рисунке 4 представлены политермические разрезы системы Ti-Al-Mo-V-Zr.

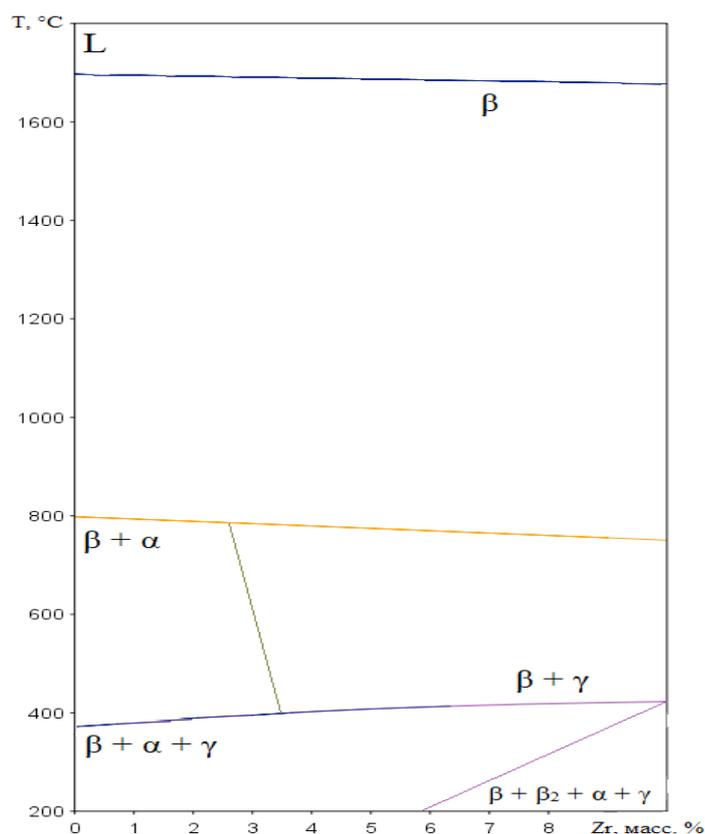


Рисунок 4 – Политермический разрез системы Ti-Al-Mo-V-Zr

В равновесных условиях, прежде всего, кристаллизуется β-фаза, присутствующая достаточно широком концентрационном и температурном диапазоне от 1650 до 800 °С. Но уже с понижением температуры от 800 до 380 °С и содержанием циркония от 0 до 3,5 масс. % сплав переходит в двухфазную β + α область. В том же температурном интервале при повышении содержания циркония образуется β + γ фаза. Трехфазная β + α + γ область отмечается с понижением температуры в районе 380-200 °С, ну а с повышением содержания циркония формируется четырехфазная область β + β₂ + α + γ.

В таблицах 1-3 приведены результаты расчетов показателей фазового состава сплава систем Ti-2,5Al-5Mo-5V с различным содержанием циркония в зависимости от температуры.

Таблица 1 – Показатели фазового состава сплава системы Ti-Al-Mo-V-0,5Zr при различной температуре

Т, °С	Фаза	Q _м , масс. %	Содержание элементов, масс. %				
			Ti	Al	Mo	V	Zr
850	β	100,0	87,0	2,5	5,0	5,0	0,5
800	β	100,0	87,0	2,5	5,0	5,0	0,5

790	β	96,6	86,6	2,4	5,2	5,2	0,5
	α	4,4	94,6	3,4	0,4	1,1	0,3
780	β	88,7	86,0	2,4	5,5	5,4	0,5
	α	11,3	94,6	3,3	0,4	1,2	0,3
750	β	71,6	84,0	2,2	6,8	6,5	0,3
	α	28,4	94,7	3,2	0,4	1,2	0,4
700	β	52,2	80,0	2,1	9,1	8,3	0,5
	α	47,7	95,0	3,0	0,5	1,3	0,4
680	β	46,7	78,2	2,0	10,1	9,1	0,5
	α	53,3	95,0	3,0	0,5	1,3	0,4
660	β	42,0	76,3	2,0	11,1	9,9	0,6
	α	58,0	95,0	2,8	0,5	1,3	0,4
640	β	38,0	74,4	2,0	1,2	1,1	0,6
	α	62,0	94,7	2,8	0,5	1,3	0,4
620	β	34,7	72,4	2,0	1,3	1,2	0,6
	α	65,2	94,7	2,8	1,3	1,3	0,4
600	β	31,8	70,3	1,8	14,4	12,7	0,6
	α	68,1	94,8	2,8	0,5	1,4	0,4

Таблица 2 – Показатели фазового состава сплава системы Ti-Al-Mo-V-1Zr при различной температуре

T, °C	Фаза	Q _m , масс. %	Содержание элементов, масс. %				
			Ti	Al	Mo	V	Zr
850	β	100,0	86,5	2,5	5,0	5,0	1,0
800	β	100,0	86,5	2,5	5,0	5,0	1,0
790	β	97,4	86,3	2,5	5,1	5,1	1,0
	α	2,6	94,3	3,5	0,4	1,1	0,7
780	β	90,3	85,7	2,4	5,5	5,4	1,0
	α	9,7	94,3	3,4	0,4	1,2	0,7
750	β	72,9	83,6	2,2	6,7	6,4	1,1
	α	27,1	94,3	3,2	0,5	1,2	0,8
700	β	53,1	79,6	2,1	9,0	8,2	1,2
	α	46,9	94,3	3,0	0,5	1,3	0,8
680	β	47,5	77,8	2,0	9,9	9,0	1,2
	α	52,5	94,3	2,9	0,5	1,4	0,8
660	β	42,7	76,0	2,0	11,0	9,9	1,2
	α	57,3	94,3	2,9	0,5	1,4	0,8
640	β	38,7	74,1	1,9	12,0	10,7	1,2
	α	61,3	94,3	2,9	0,6	1,4	0,9
620	β	35,3	72,1	1,9	13,1	11,6	1,3
	α	64,7	94,4	2,8	0,6	1,4	0,9
600	β	32,3	70,0	1,8	14,3	12,6	1,3
	α	67,7	94,4	2,8	0,5	1,4	0,9

Таблица 3 – Показатели фазового состава сплава системы Ti-Al-Mo-V-1,5Zr при различной температуре

T, °C	Фаза	Q _м , масс. %	Содержание элементов, масс. %				
			Ti	Al	Mo	V	Zr
850	β	100,0	86	2,5	5,0	5,0	1,5
800	β	100,0	86	2,5	5,0	5,0	1,5
790	β	99,1	85,9	2,5	5,0	5,0	1,5
	α	0,9	93,9	3,5	0,4	1,1	1,1
780	β	91,9	85,3	2,4	5,4	5,3	1,5
	α	8,1	93,9	3,4	0,4	1,2	1,1
750	β	74,2	83,2	2,3	6,6	6,3	1,6
	α	25,8	93,9	3,2	0,5	1,2	1,2
700	β	54,0	79,3	2,1	8,8	8,1	1,7
	α	46,0	93,9	3,0	0,5	1,3	1,2
680	β	48,2	77,5	2,0	9,8	8,9	1,8
	α	51,8	93,9	2,9	0,5	1,4	1,2
660	β	43,4	75,7	2,0	10,8	9,7	1,8
	α	56,6	93,9	2,9	0,5	1,4	1,3
640	β	35,8	71,8	1,9	13,0	11,5	1,9
	α	64,2	93,9	2,9	0,6	1,4	1,3
620	β	35,8	71,8	1,9	13,0	11,5	1,9
	α	64,2	93,9	2,9	0,6	1,4	1,3
600	β	32,8	69,7	1,8	14,1	12,5	1,9
	α	67,1	94,0	2,8	1,3	1,3	0,6

Данные в таблицах 1–3 указывают на то, что при достижении температуры 600 °C количество β фазы доходит до уровня 31,8 масс. % при содержании циркония в сплаве 0,5 % и до 32,5 масс. % при содержании циркония 1–1,5 %. Между тем, увеличение температуры до 700 °C приводит к значительному изменению фазового состава, т.е. образуются две фазы – α и β. Уже при достижении температуры 800 °C и выше сплавы, содержащие 0,5-1,5 масс. % циркония являются однофазными, в них наблюдается только β фаза. Это приводит к образованию крупного зерна.

В диапазоне температур 660–700 °C происходит равное распределение количества α и β фаз. Для того чтобы зафиксировать необходимую двойную α + β область необходимо провести дополнительную термическую обработку сплава при 660–700 °C, а процесс дальнейшей прокатки сплава в листы дает возможность получить ультрамелкозернистую структуру, благодаря которой достигаются повышенные прочностные, пластичные и усталостные свойства. При повышении температуры с 600 до 800 °C количество молибдена и ванадия в β-фазе снижается с 14,3 до 5,0 масс. % и 12,6 до 5,0 масс. %.

Важным параметром при составлении фазовых диаграмм являются температуры ликвидуса и солидуса, которые показывают температуры начала и конца кристаллизации, а также температуры полиморфных превращений, определяющие основные температурные параметры термообработки.

Таблица 4 – Температура титановых сплавов при равновесной кристаллизации

Состав, масс. %				T_L , °C	T_S , °C	ΔT , °C	T_{NS} , °C	ΔT_{NS} , °C
Al	Mo	V	Zr					
2,5	5	5	0,5	1689	1548	141	1586	103
2,5	5	5	1	1686	1515	171	1554	132
2,5	5	5	1,5	1684	1481	203	1521	163

T_L - равновесная температура ликвидуса; T_S - равновесная температура солидуса;
 T_{NS} - неравновесная температура ликвидуса; ΔT и ΔT_{NS} - равновесный и неравновесный интервал кристаллизации

Увеличение содержания циркония в сплаве приводит к уменьшению температуры ликвидуса и солидуса, как видно из таблицы 4, но при этом равновесный и неравновесный температурный интервал кристаллизации повышается. Следовательно, неравновесная кристаллизация ограничивается на уровне низких температур, в отличие от равновесных условий.

Проведенные исследования о фазовом составе прецизионных титановых сплавов дают возможность научно объяснить выбор химического состава, температурного режима и условий обработки.

Информация о финансировании

Работа проведена в рамках программно-целевого финансирования ИРН BR 18574219 «Разработка экологически безопасных технологий получения инновационной продукции из природного и техногенного сырья Казахстана».

Выводы

Введение циркония в титановый сплав системы Ti-2,5Al-5Mo-5V в количестве 1 % приводит к значительному изменению фазового состава.

Политермическими расчетами определен оптимальный состав титанового сплава, масс. %: 2,5 Al, 5 Mo, 5 V, 1 Zr, остальное титан. Установлено, что в диапазоне температур 660–700 °C происходит равное распределение количества α и β фаз. Для того чтобы зафиксировать необходимую двойную $\alpha + \beta$ область необходимо провести дополнительную термическую обработку сплава при 660–700 °C, а процесс дальнейшей прокатки сплава в листы дает возможность получить ультрамелкозернистую структуру, благодаря которой достигаются повышенные прочностные, пластичные и усталостные свойства.

Проведенные исследования о фазовом составе прецизионных титановых сплавов дают возможность научно объяснить выбор химического состава, температурного режима и условий обработки.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 Meyers, M. A., Mishra, A., Benson, D. J. Mechanical properties of nanocrystalline materials // Prog. Mater. Sci. 2006. – № 51. – P. 427–556.

2 Valiev R. Z., Estrin Y., Horita Z. et al. Fundamentals of superior properties in bulk Nano SPD materials // Mater. Res. Lett. 2015. – № 4. – P. 1-21.

3 **Pippan R., Hohenwarter A.** The importance of fracture toughness in ultrafine and nanocrystalline bulk materials // *Mater. Res. Lett.* 2016. – Vol. 4. – P. 127–136.

4 **Hohenwarter A., Pippan R.** Fracture and fracture toughness of nanopolycrystalline metals produced by severe plastic deformation // *Phil. Trans. R. Soc. A.* 2015. – Vol. 373. – № 20140366.

5 **Hohenwarter A., Pippan R.** An overview on the fracture behavior of metals processed by high-pressure torsion // *Mater. Sci. Forum.* 2011. – Vol. 667–669. – P. 671–676.

6 **Лутфуллин, Р. Я., Круглов, А. А., Мухаметрахимов, М. Х., Руденко, О. А.** Письма о материалах. [Текст]. 2015. Т. 5 (2), – 185. Crossref.

7 **Ильин, А. А., Колачев, Б. А., Полькин, И. С.** Титановые сплавы. Состав, структура, свойства. [Текст]. Справочник. М. : ВИЛС-МАТИ, 2009. – 520 с.

8 **Appel F., Paul J.D.H., Oehring M.** Gamma titanium aluminide alloys: science and technology // *Wiley-VCH Verlag & Co. KGaA.* 2011. – 745 p.

9 **Vojtěch D., Popela N., Hamáček J., Kützendörfer J.** The influence of tantalum on the high temperature characteristics of lamellar gamma + alpha 2 titanium aluminide // *Materials Science and Engineering.* 2011. Vol. A528. – P.8557.

10 Информация на сайте. – [Электронный ресурс]. – www.thermocalc.com

REFERENCES

1 **Meyers M. A., Mishra A., Benson D. J.** Mechanical properties of nanocrystalline materials [Text] // *Prog. Mater. Sci.* – 2006. – № 51. – P. 427–556.

2 **Valiev, R. Z., Estrin, Y., Horita, Z. et al.** Fundamentals of superior properties in bulk Nano SPD materials [Text] // *Mater. Res. Lett.* – 2015. – № 4. – P. 1–21.

3 **Pippan, R., Hohenwarter, A.** The importance of fracture toughness in ultrafine and nanocrystalline bulk materials [Text] // *Mater. Res. Lett.* 2016. – Vol. 4. – P. 127–136.

4 **Hohenwarter, A., Pippan, R.** Fracture and fracture toughness of nanopolycrystalline metals produced by severe plastic deformation [Text] // *Phil. Trans. R. Soc. A.* – 2015. – Vol. 373. – № 20140366.

5 **Hohenwarter, A., Pippan, R.** An overview on the fracture behavior of metals processed by high-pressure torsion [Text] // *Mater. Sci. Forum.* 2011. – Vol. 667–669. – P. 671–676.

6 **Lutfullin, R. Ya., Kruglov, A. A., Muxametrahimov, M. X., Rudenko, O. A.** Pis'ma o materialax [Letters about materials] [Text]. – 2015. – Т. 5 (2). – 185 p. Crossref.

7 **Ильин, А. А., Колачев, Б. А., Полькин, И. С.** Титановые сплавы. Состав, структура, свойства [Titanium alloys. Composition, structure, properties] [Text] // *Spravochnik. Moscow : VILS-MATI.* 2009. – 520 p.

8 **Appel, F., Paul, J.D.H., Oehring, M.** Gamma titanium aluminide alloys: science and technology [Text] // *Wiley-VCH Verlag & Co. KGaA.* 2011. – 745 p.

9 Vojtěch, D., Popela, N., Hamáček, J., Kützendörfer, J. The influence of tantalum on the high temperature characteristics of lamellar gamma + alpha 2 titanium aluminide [Text] // Materials Science and Engineering. – 2011. – Vol. A528. – P. 8557.

10 Information on the website. – [Electronic resource]. – www.thermocalc.com.

А. Ж. Терлікбаева¹, *А. М. Әлімжанова², Р. А. Шаяхметова³,

А. А. Мұхаметжанова⁴, Б. Т. Сахова⁵

^{1,2,3,4,5}Қазақстан Республикасының минералдық шикізатты кешенді қайта өңдеу жөніндегі ұлттық орталығы» ШЖҚ РМК, Қазақстан Республикасы, Алматы қ. Басып шығаруға 01.11.23 қабылданды.

TI-AL-MO-V-ZR КӨПКOMPONENTТІ ЖҮЙЕСІНІҢ ФАЗАЛЫҚ ДИАГРАММАЛАРЫН ҚҰРУ ЖӘНЕ ТЕОРИЯЛЫҚ ЕСЕПТЕУ

Бұл жұмыста TCS Ti-and TiAl Alloys Database, Perpetual DSUNLL 5 дерекқорын пайдалана отырып, Thermo-Calc Perpetual sunll 2023a бағдарламасының көмегімен Zr әртүрлі массалық % қосылған Ti-2,5Al-5Mo-5V жүйесінің изотермиялық және политермиялық бөлімдері есептелді. Есептеу арқылы салқындату шарты мен құрамына байланысты Ti-Al-Mo-V-Zr жүйесінің қорытпасының фазалық құрамының өзгеру көрсеткіштері анықталды. Цирконийді Ti-2,5Al-5Mo-5V жүйесінің титан қорытпасына 1% мөлшерінде енгізу фазалық құрамның айтарлықтай өзгеруіне әкеледі. Цирконийдің аз мөлшерімен легирленген титан қорытпалары екі фазалы екендігі анықталды, сондықтан цирконийдің мөлшерін 1% - дан жоғарылату қисынсыз. Политермиялық есептеулер арқылы титан қорытпасының оңтайлы құрамы анықталды масс.% : 2,5 Al, 5 Mo, 5 V, 1 Zr, қалғаны титан. Температура 660-700 °C арасында α және β фазалар санының тең таралуы орын алатыны анықталды. Қажетті қос $\alpha + \beta$ аймағын бекіту үшін қорытпаны 660–700 °C температурада қосымша термиялық өңдеуді жүргізу қажет, ал қорытпаны парақтарға одан әрі илемдеу процесі ультра ұсақ түйіршікті құрылымды алуға мүмкіндік береді, соның арқасында жоғары беріктік, пластикалық және шаршау қасиеттеріне қол жеткізіледі.

Кілтті сөздер: Ультраұсақтүйіршіктік, қарқынды пластикалық деформация, құрылым, наноөлшемдер, суперпластика.

A. Zh. Terlikbaeva¹, *A. M. Alimzhanova², R. A. Shayakhmetova³,

A. A. Mukhametzhanova⁴, B. T. Sakhova⁵

^{1,2,3,4,5}RSE at the National Center On Complex Processing Materials of the Republic of Kazakhstan, Republic of Kazakhstan, Almaty

Accepted for publication on 01.11.23.

THEORETICAL CALCULATIONS AND CONSTRUCTION OF PHASE DIAGRAMS OF A MULTICOMPONENT TI-AL-MO-V-ZR SYSTEM

In this work, isothermal and polythermal calculations of the system Ti-2.5Al-5Mo-5V with the addition of different wt.% Zr were carried out with the program Thermo-Calc Perpetual SUNLL 2023a using the TCS Ti-and TiAl Alloys Database, Perpetual DSUNLL 5. The phase composition change rates of the alloy of the Ti-Al-Mo-V-Zr system alloy as a function of cooling condition and composition were determined by calculation. Introduction of zirconium into the titanium alloy of the Ti-2,5Al-5Mo-5V system in the amount of 1 % leads to a significant change in the phase composition. It is established that titanium alloys alloyed with a small amount of zirconium are two-phase, and in this connection it is irrational to increase the content of zirconium above 1 %. Polythermal calculations determined the optimal composition of titanium alloy, wt. %: 2,5 Al, 5 Mo, 5 V, 1Zr, the rest titanium. It was found that in the temperature range of 660–700 °C there is an equal distribution of the amount of α and β phases. In order to fix the necessary double $\alpha + \beta$ region it is necessary to carry out additional heat treatment of the alloy at 660–700 °C, and the process of further rolling of the alloy into sheets makes it possible to obtain an ultrafine-grained structure, due to which increased strength, plastic and fatigue properties are achieved.

Keywords: Ultra fine-grained, intense plastic deformation, structure, nanoscale, superplasticity.

Теруге 08.12.23 ж. жіберілді. Басуға 29.12.23 ж. қол қойылды.

Электрондық баспа

5,07 Mb RAM

Шартты баспа табағы 17,26 Таралымы 300 дана. Бағасы келісім бойынша.

Компьютерде беттеген: Е. Е. Калихан

Корректор: А. Р. Омарова

Тапсырыс № 4166

«Toraighyrov University» баспасынан басылып шығарылған

Торайғыров университеті

140008, Павлодар қ., Ломов көш., 64, 137 каб.

«Toraighyrov University» баспасы

Торайғыров университеті

140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.

67-36-69

e-mail: kereku@tou.edu.kz

nitk.tou.edu.kz