



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) **СКОРРЕКТИРОВАННОЕ ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ**

Примечание: библиография отражает состояние при переиздании

(52) СПК
C22F 1/183 (2022.08); B21K 3/04 (2022.08)

(21)(22) Заявка: 2022116129, 15.06.2022

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
15.06.2022

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 15.06.2022

(45) Опубликовано: 28.02.2023

(15) Информация о коррекции:
Версия коррекции №1 (W1 C1)

(48) Коррекция опубликована:
26.05.2023 Бюл. № 15

Адрес для переписки:
308015, Белгородская обл., г. Белгород, ул.
Победы, 85, НИУ "БелГУ", ОИС, Токтаревой
Т.М.

(72) Автор(ы):

Соколовский Виталий Сергеевич (RU),
Волокитина Елена Ивановна (RU),
Салищев Геннадий Алексеевич (RU),
Быков Юрий Геннадьевич (RU),
Кярамян Карен Абовович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего
образования "Белгородский государственный
национальный исследовательский
университет" (НИУ "БелГУ") (RU)

(56) Список документов, цитированных в отчете
о поиске: RU 2761398 C1, 08.12.2021. RU
2520924 C1, 27.06.2014. RU 2667191 C1,
17.09.2018. RU 2644830 C2, 14.02.2018. US
20170081751 A1, 23.03.2017.

(54) Способ изготовления лопаток газотурбинных двигателей из сплава на основе орторомбического алюминид титана

(57) Реферат:

Изобретение относится к металлургии, а именно к обработке давлением интерметаллидных сплавов на основе орторомбического алюминид титана, и может быть использовано в аэрокосмической промышленности для получения изготовления деталей газотурбинных двигателей с регламентированной структурой и заданными механическими свойствами. Способ деформационно-термической обработки заготовок лопаток газотурбинных двигателей из сплава на основе орторомбического алюминид титана включает штамповку заготовок лопаток при температуре ниже $T_{пп}$. Штамповку заготовок лопаток проводят со степенью деформации не менее 50% при температуре ниже $T_{пп}$ на 50-200°C,

после чего осуществляют термическую обработку, включающую две ступени, на первой из которых проводят закалку на воздухе при температуре ниже $T_{пп}$ на 50-150°C с выдержкой не менее 0,5 часа, а на второй - старение при температуре ниже $T_{пп}$ на 200-300°C с выдержкой от 1 до 36 часов, где $T_{пп}$ - температура превращения $\beta \leftrightarrow \alpha_2$. Обеспечиваются высокие механические свойства сплава на основе орторомбического алюминид титана $\sigma_{0,2}^{20}=1000-1300$ МПа; $\sigma_B^{20}=1150-1400$ МПа; $\delta^{20}=3-8$ %; $\psi^{20}=3-5$ %; $\sigma_{0,2}^{650}=1030$ МПа; $\sigma_B^{650}=1120$ МПа; $\delta^{650}=6$ %; $\psi^{650}=4$ %. 2 ил., 7 пр.



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

Note: Bibliography reflects the latest situation

(52) CPC

C22F 1/183 (2022.08); *B21K 3/04* (2022.08)

(21)(22) Application: **2022116129, 15.06.2022**

(24) Effective date for property rights:
15.06.2022

Priority:

(22) Date of filing: **15.06.2022**

(45) Date of publication: **28.02.2023**

(15) Correction information:
Corrected version no1 (W1 C1)

(48) Corrigendum issued on:
26.05.2023 Bull. № 15

Mail address:

**308015, Belgorodskaya obl., g. Belgorod, ul.
Pobedy, 85, NIU "BelGU", OIS, Toktarevoj T.M.**

(72) Inventor(s):

**Sokolovskij Vitalij Sergeevich (RU),
Volokitina Elena Ivanovna (RU),
Salishchev Gennadij Alekseevich (RU),
Bykov Yuriy Gennadevich (RU),
Kyaramyan Karen Abovovich (RU)**

(73) Proprietor(s):

**federalnoe gosudarstvennoe avtonomnoe
obrazovatelnoe uchrezhdenie vysshego
obrazovaniya "Belgorodskij gosudarstvennyj
natsionalnyj issledovatel'skij universitet" (NIU
"BelGU") (RU)**

(54) **METHOD FOR MANUFACTURING GAS TURBINE ENGINE BLADES FROM ALLOY BASED ON ORTHORHOMBIC TITANIUM ALUMINIDE**

(57) Abstract:

FIELD: metallurgy.

SUBSTANCE: method of deformation-heat treatment of blanks of blades of gas turbine engines from an alloy based on orthorhombic titanium aluminide includes stamping of blanks of blades at a temperature below the T_{tt} . The forging of blade blanks is carried out with a degree of deformation of at least 50% at a temperature below T_{tt} by 50-200°C, after which heat treatment is carried out, including two stages, at the first of which quenching in air at a temperature below T_{tt} by 50-150°C with an exposure of at least 0.5 hours

is carried out, and at the second - aging at a temperature below T_{tt} by 200-300°C with an exposure of 1 to 36 hours, where T_{tt} is the transformation temperature $\beta \leftrightarrow \alpha_2$.

EFFECT: provided high mechanical properties of the alloy based on orthorhombic titanium aluminide $\sigma_{0.2}^{20} = 1000-1300$ MPa; $\sigma_B^{20} = 1150-1400$ MPa; $\delta^{20} = 3-8$ %; $\psi^{20} = 3-5$ %; $\sigma_{0.2}^{650} = 1030$ MPa; $\sigma_B^{650} = 1120$ MPa; $\delta^{650} = 6$ %; $\psi^{650} = 4$ %.

1 cl, 2 dwg, 7 ex

Изобретение относится к области обработки металлов и сплавов давлением, а именно к технологии обработки давлением интерметаллидных сплавов на основе орторомбического алюминида титана и может быть использовано в аэрокосмической промышленности для получения из этих материалов деталей газотурбинных двигателей с регламентированной структурой и заданными механическими свойствами.

Интерметаллидные сплавы на основе орторомбического алюминида титана обладают такими свойствами как высокая термическая стабильность, высокие удельные прочностные характеристики при достаточном уровне пластичности. Сочетание таких характеристик позволяет применять их в газотурбинных двигателях в качестве деталей с рабочей температурой до 650°C. Однако сдерживающим фактором для применения данных сплавов является сложность обеспечения баланса между прочностью, пластичностью и вязкостью разрушения при комнатной и рабочей температуре. В данных сплавах в ходе кристаллизации формируются крупные зерна размером до нескольких миллиметров, что затрудняет пластическую деформацию и не позволяет реализовать весь потенциал материала. Хотя в ходе горячей прокатки микроструктура существенно измельчается, однако из-за узкого температурного интервала процесса не удается получить требуемую для обеспечения высокого комплекса свойств структуру. Термическая обработка также не дает возможности в полной мере улучшить механические свойства. Решением данной проблемы может быть применение сочетания изотермической штамповки и термической обработки, что позволяет помимо получения конечной формы изделия сформировать требуемую структуру в заготовках лопаток из интерметаллидных сплавов на основе орторомбического алюминида титана.

На данный момент известно несколько способов обработки интерметаллидных сплавов на основе орторомбического алюминида титана методами горячей деформации. Известен способ проведения горячей деформации сплава на основе орторомбического алюминида титана Ti-11,4Al-1,31Zr-0,7V-39,9Nb-0,85Mo-0,14Si-0,065C масс. %) с целью получения прутковых заготовок [Патент РФ № RU 2644830 C2 от 26.06.2017 «Способ изготовления прутковых заготовок из сплавов на основе интерметаллида титана с орто-фазой»] включающий нагрев и предварительную деформацию слитка с получением заготовки, промежуточную и окончательную деформацию заготовки и заключительную термообработку, отличающийся тем, что промежуточную деформацию заготовки осуществляют от 2 до 5 осадок со степенью 25-40%, совмещенных с прессованием со степенью 55-70%, при этом нагрев заготовки перед первой из промежуточных деформаций проводят ступенчато до температуры $T_{\text{III}}+(100-200)^\circ\text{C}$, где T_{III} температура $\beta \leftrightarrow \alpha_2$ превращения с выдержкой 2-3 часа, а каждую последующую из промежуточных деформаций проводят при температуре на 50-100°C ниже предыдущей с выдержкой на 0,5-1 час меньше, чем на предыдущей, а последнюю из промежуточных деформаций проводят при температуре $T_{\text{III}}-(20-50)^\circ\text{C}$, причем окончательную деформацию заготовки осуществляют со степенью не более 30% при $T_{\text{III}}-(80-120)^\circ\text{C}$. После деформации заготовку подвергали двухступенчатой термической обработке: 1. нагрев до $T=900^\circ\text{C}$ выдержка 2,5 часа с последующим охлаждением на воздухе до комнатной температуры; 2. нагрев до $T=850^\circ\text{C}$ выдержка 12 часов с последующим охлаждением на воздухе до комнатной температуры. Механические характеристики при $T=20^\circ\text{C}$: $\sigma_{0,2}=1040$ МПа; $\sigma_B=1110$ МПа; $\delta=7,0$ %; $\psi=7,5$ %; при $T=650^\circ\text{C}$: $\sigma_{0,2}=860$ МПа; $\sigma_B=890$ МПа; $\delta=13,0$ %; $\psi=25,0$ %. Недостатком данного способа являются высокие температуры деформации, приводящие к значительным энергозатратам и трудоемкости процесса, а также низкая прочность после термической обработки.

Известен способ проведения горячей деформации сплава на основе орторомбического алюминида титана для получения поковок [Патент РФ № RU 2 520 924 C1 от 27.06.2014 «Способ изготовления поковок дисков из сплава алюминия титана на основе орто-фазы»], заключающийся в многостадийной деформации слитка с подогревами выше, а затем и ниже температуры полиморфного превращения (T_{III}) и последующей термической обработке. Кроме того, слиток подвергается предварительной высокотемпературной газостатической обработке выше температуры T_{III} . Механические характеристики при $T=20^{\circ}\text{C}$: $\sigma_{\text{B}} \sim 1200$ МПа; $\delta = 6-7$ %; при $T=650^{\circ}\text{C}$: $\sigma_{\text{B}} \sim 1000$ МПа; $\delta = 9-12$ %. Недостатком данного способа являются высокие температуры деформации на начальных этапах, что приводит к повышению требований к штамповым материалам и дополнительным затратам на нагрев до более высоких температур.

Известен способ проведения горячей деформации сплава на основе орторомбического алюминида титана ВИТ1 [Патент РФ № RU 2 761 398 C1 от 08.12.2021 «Способ обработки прутков из орто-сплавов титана для получения лопаток компрессора газотурбинного двигателя» с целью повышения механических характеристик, который включает нагрев прутка до 1100°C , плющение со степенью деформации не менее 0,5, повторный нагрев до 1100°C и выдавливание заготовки в закрытом штампе с формированием поковки с замком и пером лопатки. Затем поковку нагревали до 1100°C , подвергали сначала черновой, а затем чистовой штамповке лопаток. После низкого отжига были получены следующие свойства при температуре 20°C : предел прочности $\sigma_{\text{B}} = 1230$ МПа; относительное удлинение $\delta = 20,5\%$ и относительное сужение $\psi = 46,3\%$. Недостатком данного способа является высокая температураковки и последующей штамповки, что существенно повышает требования к штамповым материалам и удорожает производство. Кроме того, отсутствуют данные о жаропрочных характеристиках полученного состояния, что не позволяет в полной мере оценить разработанный способ.

СУЩНОСТЬ ИЗОБРЕТЕНИЯ

Задачей изобретения является обеспечение высокого комплекса механических характеристик заготовок лопаток газотурбинных двигателей из сплава на основе орторомбического алюминида титана сочетающих в себе высокую прочность и жаропрочность при достаточном уровне низкотемпературной пластичности.

Технический результат изобретения заключается в получении высоких механических свойств заготовок лопаток газотурбинных двигателей из сплава на основе орторомбического алюминида титана как при комнатной температуре: $\sigma_{0,2}^{20} = 1000-1300$ МПа; $\sigma_{\text{B}}^{20} = 1150-1400$ МПа; $\delta^{20} = 3-8$ %; $\psi^{20} = 3-5$ %; так и при рабочей температуре: $\sigma_{0,2}^{650} = 1030$ МПа; $\sigma_{\text{B}}^{650} = 1120$ МПа; $\delta^{650} = 6$ %; $\psi^{650} = 4$ %, за счет заявленного способа изотермической штамповки и последующей термической обработки.

Задача изобретения решается применением предложенного способа изготовления лопаток газотурбинных двигателей из сплава на основе орторомбического алюминида титана, включающего штамповку лопаток со степенью деформации не менее 50% при температуре ниже T_{III} на $50-200^{\circ}\text{C}$, где T_{III} - температура $\beta \leftrightarrow \alpha_2$ превращения, термическую обработку, включающую две ступени: закалку на воздухе с температуры ниже T_{III} на $50-150^{\circ}\text{C}$ с выдержкой не менее 0,5 часа и старение при температуре ниже T_{III} на $200-300^{\circ}\text{C}$ с выдержкой от 1 до 36 часов.

Новизна и изобретательский уровень предложенного изобретения заключается в

том, что изотермическая штамповка заготовок лопаток и двухстадийная термическая обработка при температуре существенно ниже T_{III} , где T_{III} температура $\beta \leftrightarrow \alpha_2$ превращения, обеспечивает высокий комплекс механических характеристик как при комнатной, так и при рабочих температурах сплава ВИТ1.

5 Осуществление изобретения на примере сплава на основе орторомбического алюминид титана ВИТ1. Температура $\beta \leftrightarrow \alpha_2$ превращения (T_{III}) определена с помощью дифференциально сканирующей калориметрии и составила 1100°C. Штамповку заготовок лопаток проводят при температуре на 50-200°C ниже T_{III} со степенью деформации от 50%. После чего заготовки подвергают двухстадийной термической обработке:

10 - закалка на воздухе с температуры на 50-200°C ниже T_{III} , выдержка от 0,5 часа, но не более двух часов, т.к. более длительная выдержка экономически не целесообразна;
 - старение при температуре на 200-300°C ниже T_{III} , выдержка 1-36 часов, охлаждение
 15 с печью.

Изобретение охарактеризовано на следующих изображениях.

Фигура 1 – Микроструктура заготовки сплава ВИТ1 после деформационно-термической и термической обработки по режиму: изотермическая штамповка при $T=950^\circ\text{C}$ со степенью деформации 50%, закалка на воздухе с 1000°C, выдержка 1 час;
 20 старение при $T=800^\circ\text{C}$, выдержка 6 часов (а - сканирующая электронная микроскопия, б - просвечивающая электронная микроскопия).

Фигура 2 – Таблица «Механические свойства сплава ВИТ1 после изотермической штамповки и термической обработки»

25 Возможность осуществления изобретения поясняется следующими примерами технологического процесса изотермической штамповки заготовок лопаток из сплава на основе орторомбического алюминид титана ВИТ1. Механические испытания полученных сплавов проводили с использованием следующих установок: универсальная электромеханическая испытательная машина Instron 5882.

Пример 1.

30 Проведена деформационно-термическая обработка заготовок сплава ВИТ1 на основе орторомбического алюминид титана ВИТ1. Заготовки подвергали изотермической штамповке при 950°C со степенью деформации 50%. После чего заготовки подвергали термической обработке: закалка на воздухе с температуры $T=1000^\circ\text{C}$, выдержка 1 час, старение при 800°C, выдержка 6 часов. Микроструктура полученной штамповки
 35 представлена на фигуре 1. Результаты механических испытаний представлены в таблице на фигуре 2.

Пример 2.

40 Проведена деформационно-термическая обработка заготовок сплава ВИТ1 на основе орторомбического алюминид титана ВИТ1. Заготовки подвергали изотермической штамповке при 1050°C со степенью деформации 80%. После чего заготовки подвергали термической обработке: закалка на воздухе с температуры $T=1050^\circ\text{C}$, выдержка 0,5 часа, старение при 800°C, выдержка 6 часов. Результаты механических испытаний представлены в таблице на фигуре 2.

Пример 3.

45 Проведена деформационно-термическая обработка заготовок сплава ВИТ1 на основе орторомбического алюминид титана ВИТ1. Заготовки подвергали изотермической штамповке при 900°C со степенью деформации 50%. После чего заготовки подвергали термической обработке: закалка на воздухе с температуры $T=1000^\circ\text{C}$, выдержка 0,5

часа, старение при 800°C, выдержка 6 часов. Результаты механических испытаний представлены в таблице на фигуре 2.

Пример 4.

5 Проведена деформационно-термическая обработка заготовок сплава ВИТ1 на основе орторомбического алюминиды титана ВИТ1. Заготовки подвергали изотермической штамповке при 900°C со степенью деформации 50%. После чего заготовки подвергали термической обработке: закалка на воздухе с температуры T=950°C, выдержка 1 час, старение при 800°C, выдержка 6 часов. Результаты механических испытаний представлены в таблице на фигуре 2.

10 Пример 5.

Проведена деформационно-термическая обработка заготовок сплава ВИТ1 на основе орторомбического алюминиды титана ВИТ1. Заготовки подвергали изотермической штамповке при 1000°C со степенью деформации 50%. После чего заготовки подвергали термической обработке: закалка на воздухе с температуры T=1000°C, выдержка 0,5
15 часа, старение при 900°C, выдержка 6 часов. Результаты механических испытаний представлены в таблице на фигуре 2.

Пример 6.

Проведена деформационно-термическая обработка заготовок сплава ВИТ1 на основе орторомбического алюминиды титана ВИТ1. Заготовки подвергали изотермической
20 штамповке при 950°C со степенью деформации 50%. После чего заготовки подвергали термической обработке: закалка на воздухе с температуры T=975°C, выдержка 2 часа, старение при 850°C, выдержка 1 час. Результаты механических испытаний представлены в таблице на фигуре 2.

Пример 7.

25 Проведена деформационно-термическая обработка заготовок сплава ВИТ1 на основе орторомбического алюминиды титана ВИТ1. Заготовки подвергали изотермической штамповке при 900°C со степенью деформации 50%. После чего заготовки подвергали термической обработке: закалка на воздухе с температуры T=1000°C, выдержка 1 час, старение при 800°C, выдержка 36 часов. Результаты механических испытаний
30 представлены в таблице на фигуре 2.

Приведенные примеры подтверждают достижение заявленного технического результата изобретения, заключающегося в том, что предложенные режимы термической и деформационно-термической обработок, обеспечивают высокие механические свойства
35 сплава на основе орторомбического алюминиды титана ВИТ1 $\sigma_{0,2}^{20} = 1000-1300$ МПа; $\sigma_B^{20} = 1150-1400$ МПа; $\delta^{20} = 3-8$ %; $\psi^{20} = 3-5$ %; $\sigma_{0,2}^{650} = 1030$ МПа; $\sigma_B^{650} = 1120$ МПа; $\delta^{650} = 6$ %; $\psi^{650} = 4$ %.

(57) Формула изобретения

40 Способ деформационно-термической обработки заготовок лопаток газотурбинных двигателей из сплава на основе орторомбического алюминиды титана, включающий штамповку заготовок лопаток при температуре ниже T_{III}, отличающийся тем, что штамповку заготовок лопаток проводят со степенью деформации не менее 50% при
45 температуре ниже T_{III} на 50-200°C, после чего осуществляют термическую обработку, включающую две ступени, на первой из которых проводят закалку на воздухе при температуре ниже T_{III} на 50-150°C с выдержкой не менее 0,5 часа, а на второй - старение при температуре ниже T_{III} на 200-300°C с выдержкой от 1 до 36 часов, где T_{III} -

температура превращения $\beta \leftrightarrow \alpha_2$.

5

10

15

20

25

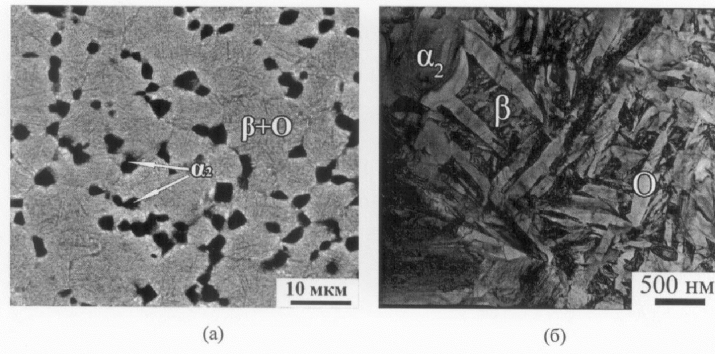
30

35

40

45

1



Фиг.1

2

Примеры	$\sigma_{0,2}^{20}$, МПа	σ_B^{20} , МПа	δ^{20} , %	ψ^{20} , %	$\sigma_{0,2}^{650}$, МПа	σ_B^{650} , МПа	δ^{650} , %	ψ^{650} , %
Пример 1 Штамповка 950°C, Тзакалки с 1000°C, 1 час, Тстарения=800°C, 6 часов	1150	1200	4	3	1030	1120	6	4
Пример 2 Штамповка 1050°C, Тзакалки с 1050°C, 0,5 часа, Тстарения=800°C, 6 часов	1020	1150	3	3	-	-	-	-
Пример 3 Штамповка 900°C, Тзакалки с 1000°C, 0,5, Тстарения=800°C, 6 часов	1150	1200	4	3	-	-	-	-
Пример 4 Штамповка 900°C, Тзакалки с 950°C, 1 час, Тстарения=800°C, 6 часов	1300	1400	4	4	-	-	-	-
Пример 5 Штамповка 1000°C, Тзакалки с 1000°C, 0,5 часа, Тстарения=900°C, 6 часов	1010	1160	4	4	-	-	-	-
Пример 6 Штамповка 950°C, Тзакалки с 975°C, 2 часа, Тстарения=850°C, 1 час	1100	1200	5	5	-	-	-	-
Пример 7 Штамповка 900°C, Тзакалки с 1000°C, 1 час, Тстарения=800°C, 36 часов	1000	1150	8	5	-	-	-	-

Фиг. 2