



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК
C22F 1/183 (2022.08)

(21)(22) Заявка: 2022116075, 15.06.2022

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
15.06.2022

Дата регистрации:
28.02.2023

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 15.06.2022

(45) Опубликовано: 28.02.2023 Бюл. № 7

Адрес для переписки:

308015, Белгородская обл., г. Белгород, ул.
Победы, 85, НИУ "БелГУ", ОИС, Лебедевой
А.С.

(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 деформированных заготовок сплава на основе орторомбического алюминид титана

(57) Реферат:

Изобретение относится к технологии обработки давлением интерметаллидных сплавов на основе орторомбического алюминид титана и может быть использовано в аэрокосмической промышленности для получения из этих материалов 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 температуры превращения (Т_{пп}). Перед штамповкой заготовки лопаток предварительно нагревают до температуры выше

температуры Т_{пп} от более 0 до 100°C, выдерживают не менее 0,5 часа, штамповку заготовок лопаток проводят со степенью деформации не менее 50% при температуре ниже температуры Т_{пп} на 50-200°C, после чего осуществляют термическую обработку, включающую две ступени, на первой из которой проводят закалку при температуре ниже температуры Т_{пп} на 50-150°C с выдержкой не менее 0,5 часа, а на второй - старение при температуре ниже температуры Т_{пп} на 200-300°C с выдержкой от 1 до 36 часов. Обеспечивается высокий комплекс механических характеристик как при комнатной, так и при рабочих температурах сплава. 2 ил., 5 пр.



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(52) CPC
C22F 1/183 (2022.08)

(21)(22) Application: **2022116075, 15.06.2022**

(24) Effective date for property rights:
15.06.2022

Registration date:
28.02.2023

Priority:

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

(45) Date of publication: **28.02.2023** Bull. № 7

Mail address:

308015, Belgorodskaya obl., g. Belgorod, ul. Pobedy, 85, NIU "BelGU", OIS, Lebedevoy A.S.

(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 DEFORMED BLANKS OF AN 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 transformation temperature (Tt). Before stamping, the blanks of the blades are preheated to a temperature above the temperature Tt from more than 0 to 100°C, held for at least 0.5 hours, stamping of blanks of blades is carried out with a degree of deformation of at least 50% at a temperature below the

temperature Tt by 50-200°C, after which heat treatment is carried out, including two stages, at the first of which quenching is carried out at a temperature below the temperature Tt by 50-150°C with an exposure for at least of 0.5 hours, and at the second - aging at a temperature below the temperature Tt by 200-300°C with an exposure from 1 to 36 hours.

EFFECT: high complex of mechanical characteristics both at room and operating temperatures of the alloy is provided.

1 cl, 2 dwg, 5 ex

RU 2 790 711 C1

RU 2 790 711 C1

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.

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 2 644 830 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 $50-100^\circ\text{C}$ 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 $T=20^\circ\text{C}$: $\sigma_B \sim 1200$ МПа; $\delta=6-7$ %; при $T=650^\circ\text{C}$: $\sigma_B \sim 1000$ 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 чистой штамповке лопаток. После низкого отжига были получены следующие свойства при температуре 20°C: предел прочности $\sigma_B = 1230$ 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.

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

Технический результат – высокие механические свойства заготовок лопаток газотурбинных двигателей из сплава на основе орторомбического алюминидатитана за счет использования предложенного режима изометрической штамповки с последующей термической обработкой: $\sigma_{0,2}^{20} = 1050-1150$ МПа; $\sigma_B^{20} = 1150-1400$ МПа; $\delta^{20} = 4-6\%$; $\psi^{20} = 3-4\%$; $\sigma_{0,2}^{650} = 1020$ МПа; $\sigma_B^{650} = 1110$ МПа; $\delta^{650} = 5\%$; $\psi^{650} = 3\%$;

Интерметаллидные сплавы на основе орторомбического алюминидатитана 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 алюминидатитана.

Технический результат достигается тем, что сплав на основе орторомбического алюминидатитана ВИТ1 подвергают деформационно-термической обработке горячекатаных заготовок. Температуру $\beta \leftrightarrow \alpha_2$ превращения (далее $T_{\text{пп}}$) определяют с помощью дифференциально сканирующей калориметрии. Заготовки подвергают предварительному нагреву до температуры выше $T_{\text{пп}}$ на 0 - 100°C с выдержкой не менее 0,5 часа. Изотермическую штамповку заготовок лопаток проводят при температуре ниже $T_{\text{пп}}$ на 50-200°C со степенью деформации от 50%. После чего заготовки подвергают двухстадийной термической обработке:

- закалка с температуры ниже $T_{\text{пп}}$ на 50-200°C, выдержка от 0,5 часа, охлаждают на воздухе;

- старение при температуре ниже T_{III} на 200-300°C, выдержка от 1 до 36 часов, охлаждают с печью.

Отличительной особенностью является.

Новизна и изобретательский уровень предложенного изобретения заключается в применении операции предварительной термической обработки деформированных заготовок сплава на основе орторомбического алюминид титана перед штамповкой, и проведении изотермической штамповки заготовок лопаток при температуре существенно ниже T_{III} , где T_{III} температура $\beta \leftrightarrow \alpha_2$ превращения. Такой подход позволяет получить более благоприятную для дальнейшей деформации рекристаллизованную структуру деформированных заготовок перед штамповкой, что в свою очередь обеспечивает высокий комплекс механических характеристик как при комнатной, так и при рабочих температурах сплава ВИТ1.

Изобретение охарактеризовано на следующих изображениях.

Фигура 1 – Микроструктура заготовки сплава ВИТ1 после деформационно-термической и термической обработки по режиму: отжиг $T=1200^\circ\text{C}$, выдержка 0,5 часа охлаждение на воздухе; изотермическая штамповка при $T=1000^\circ\text{C}$ со степенью деформации 50%, нагрев до $T=1000^\circ\text{C}$, выдержка 0,5 часа закалка на воздухе; старение при $T=850^\circ\text{C}$, выдержка 6 часов (а - сканирующая электронная микроскопия, б - просвечивающая электронная микроскопия).

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

Возможность осуществления изобретения поясняется 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.

Проведена деформационно-термическая обработка горячекатаных заготовок сплава ВИТ1 на основе орторомбического алюминид титана ВИТ1. Перед деформацией заготовки нагревали до $T=1100^\circ\text{C}$ и выдерживали 8 часов с последующим охлаждением на воздухе. Заготовки подвергали изотермической штамповке при 1000°C со степенью деформации 50%. После чего заготовки подвергали термической обработке: закалка при 1000°C , выдержка 0,5 часа, охлаждение на воздухе; старение при 850°C , выдержка 6 часов. Результаты механических испытаний представлены в таблице на фигуре 2.

Пример 2.

Проведена деформационно-термическая обработка горячекатаных заготовок сплава ВИТ1 на основе орторомбического алюминид титана ВИТ1. Перед деформацией заготовки нагревали до $T=1200^\circ\text{C}$ и выдерживали 0,5 часа с последующим охлаждением на воздухе. Заготовки подвергали изотермической штамповке при 1000°C со степенью деформации 50%. После чего заготовки подвергали термической обработке: закалка при 1000°C , выдержка 0,5 часа, охлаждение на воздухе; старение при 800°C , выдержка 6 часов. Полученная микроструктура заготовки представлена на фигуре 1. Результаты механических испытаний представлены в таблице на фигуре 2.

Пример 3.

Проведена деформационно-термическая обработка горячекатаных заготовок сплава ВИТ1 на основе орторомбического алюминид титана ВИТ1. Перед деформацией заготовки нагревали до $T=1200^\circ\text{C}$ и выдерживали 0,5 часа с последующим охлаждением на воздухе. Заготовки подвергали изотермической штамповке при 900°C со степенью

деформации 50%. После чего заготовки подвергали термической обработке: закалка 950°C, выдержка 0,5 часа, охлаждение на воздухе; старение при 800°C, выдержка 6 часов. Результаты механических испытаний представлены в таблице на фигуре 2.

Пример 4.

5 Проведена деформационно-термическая обработка горячекатаных заготовок сплава ВИТ1 на основе орторомбического алюминид титана ВИТ1. Перед деформацией заготовки нагревали до $T=1200^{\circ}\text{C}$ и выдерживали 0,5 часа с последующим охлаждением на воздухе. Заготовки подвергали изотермической штамповке при 1000°C со степенью деформации 50%. После чего заготовки подвергали термической обработке: закалка
10 при 950°C , выдержка 0,5 часа, охлаждение на воздухе; старение при 900°C , выдержка 1 час. Результаты механических испытаний представлены в таблице на фигуре 2.

Пример 5.

15 Проведена деформационно-термическая обработка горячекатаных заготовок сплава ВИТ1 на основе орторомбического алюминид титана ВИТ1. Перед деформацией заготовки нагревали до $T=1100^{\circ}\text{C}$ и выдерживали 1 час с последующим охлаждением на воздухе. Заготовки подвергали изотермической штамповке при 1000°C со степенью деформации 50%. После чего заготовки подвергались термической обработке: нагрев до 1100°C , выдержка 1 час, закалка на воздухе; старение при 800°C , выдержка 36 часов. Результаты механических испытаний представлены в таблице на фигуре 2.

20 Приведенные примеры подтверждают достижение заявленного технического результата изобретения, заключающегося в том, что предложенные режимы термической и деформационно-термической обработок, обеспечивают высокие механические свойства сплава на основе орторомбического алюминид титана ВИТ1 $\sigma_{0,2}^{20}=1050-1150$ МПа;
25 $\sigma_{\text{В}}^{20}=1150-1400$ МПа; $\delta^{20}=4-6$ %; $\psi^{20}=3-4$ %; $\sigma_{0,2}^{650}=1020$ МПа; $\sigma_{\text{В}}^{650}=1110$ МПа; $\delta^{650}=5$ %; $\psi^{650}=3$ %;

Таким образом задача изобретения решается с применением предложенного способа изотермической штамповки и двухстадийной термической обработке на примере сплава ВИТ1.

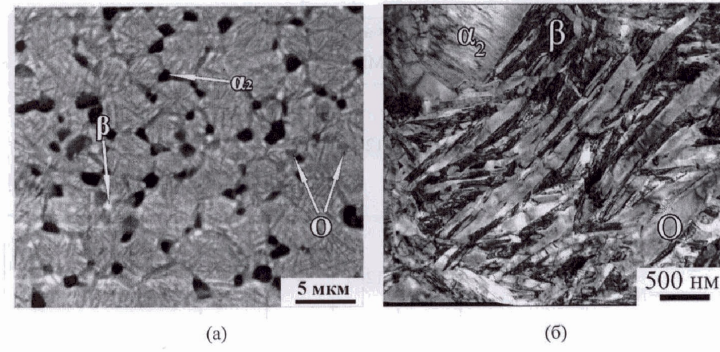
30

(57) Формула изобретения

Способ деформационно-термической обработки заготовок лопаток газотурбинных двигателей из сплава на основе орторомбического алюминид титана, включающий штамповку заготовок лопаток при температуре ниже температуры превращения ($T_{\text{пп}}$),
35 отличающийся тем, что перед штамповкой заготовки лопаток предварительно нагревают до температуры выше температуры $T_{\text{пп}}$ от более 0 до 100°C , выдерживают не менее 0,5 часа, штамповку заготовок лопаток проводят со степенью деформации не менее 50% при температуре ниже температуры $T_{\text{пп}}$ на $50-200^{\circ}\text{C}$, после чего осуществляют термическую обработку, включающую две ступени, на первой из которой
40 проводят закалку при температуре ниже температуры $T_{\text{пп}}$ на $50-150^{\circ}\text{C}$ с выдержкой не менее 0,5 часа, а на второй - старение при температуре ниже температуры $T_{\text{пп}}$ на $200-300^{\circ}\text{C}$ с выдержкой от 1 до 36 часов.

45

1



Фиг.1

2

Состояние	$\sigma_{0,2}^{20}$, МПа	σ_B^{20} , МПа	δ^{20} , %	ψ^{20} , %	$\sigma_{0,2}^{650}$, МПа	σ_B^{650} , МПа	δ^{650} , %	ψ^{650} , %
Нагрев 1100°C 8 часов охлаждение на воздухе, Штамповка 1000°C, Тзакалки=1000°C, 0,5 часа Тстарения=850°C, 6 часов	1050	1200	6	4	1020	1110	5	3
Нагрев 1200°C 0,5 часа охлаждение на воздухе, Штамповка 1000°C, Тзакалки=1000°C, 0,5 часа Тстарения=800°C, 6 часов	1150	1200	4	3	-	-	-	-
Нагрев 1200°C 0,5 часа охлаждение на воздухе, Штамповка 900°C, Тзакалки=950°C, 0,5 часа Тстарения=800°C, 6 часов	1300	1400	5	5	-	-	-	-
Нагрев 1200°C 0,5 часа охлаждение на воздухе, Штамповка 1000°C, Тзакалки=950°C, 0,5 часа Тстарения=900°C, 1 час	1050	1150	4	4	-	-	-	-
Нагрев 1100°C 1 час охлаждение на воздухе, Штамповка 1000°C, Тзакалки=1100°C, 0,5 часа Тстарения=800°C, 36 часов	1100	1150	8	5	-	-	-	-

Фиг. 2