



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

## (12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК  
C22F 1/183 (2023.02); B21K 3/04 (2023.02)

(21)(22) Заявка: 2022116155, 15.06.2022

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
15.06.2022

Дата регистрации:  
08.08.2023

Приоритет(ы):  
(22) Дата подачи заявки: 15.06.2022

(45) Опубликовано: 08.08.2023 Бюл. № 22

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: CN 112247043 A, 22.01.2021. CN  
106319236 B, 17.08.2018. CN 105506525 B,  
17.05.2017. RU 2761398 C1, 08.12.2021. RU  
2246556 C1, 20.02.2005.

(54) Способ изготовления лопаток газотурбинных двигателей из сплава на основе алюминиды  $Ti_2AlNb$

(57) Реферат:

Изобретение относится к области обработки металлов и сплавов давлением, в частности к способу изготовления лопаток газотурбинных двигателей из сплава на основе алюминиды  $Ti_2AlNb$ . Может использоваться в аэрокосмической промышленности для изготовления деталей газотурбинных двигателей. При получении заготовок лопаток из сплава на основе алюминиды  $Ti_2AlNb$  осуществляют штамповку со степенью деформации не менее 50% при температуре ниже  $T_{пп}$  на 50-200°C, где  $T_{пп}$ -температура  $\beta \leftrightarrow \alpha_2$  превращения. После чего проводят закалку при температуре ниже  $T_{пп}$  на

50-150°C с выдержкой не менее 0,5 часа и с последующим печным охлаждением до температуры образования фазы  $Ti_2AlNb$ . Затем охлаждают на воздухе и проводят старение при температуре ниже  $T_{пп}$  на 200-300°C и временем выдержки от 1 до 36 часов. Или проводят штамповку при температуре ниже  $T_{пп}$  на 50-150°C со степенью деформации от 50%, после чего осуществляют старение при температуре ниже  $T_{пп}$  на 200-300°C с выдержкой от 6 до 36 часов и охлаждение с печью. Обеспечиваются высокие механические свойства. 2 н. п. ф-лы, 2 ил., 8 пр.



FEDERAL SERVICE  
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(52) CPC  
*C22F 1/183* (2023.02); *B21K 3/04* (2023.02)

(21)(22) Application: **2022116155, 15.06.2022**

(24) Effective date for property rights:  
**15.06.2022**

Registration date:  
**08.08.2023**

Priority:

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

(45) Date of publication: **08.08.2023** Bull. № 22

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 Genadevich (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 Ti<sub>2</sub>AlNb ALUMINIDE**

(57) Abstract:

FIELD: metallurgy.

SUBSTANCE: pressure treatment of metals and alloys, in particular to a method for manufacturing gas turbine engine blades from an alloy based on Ti<sub>2</sub>AlNb aluminide. It can be used in the aerospace industry for the manufacture of parts for gas turbine engines. Upon receipt of blanks of blades made of an alloy based on Ti<sub>2</sub>AlNb aluminide, stamping is carried out with a degree of deformation of at least 50% at a temperature below T<sub>tt</sub> by 50-200°C, where T<sub>tt</sub> is the temperature of β↔α<sub>2</sub> transformation. After that, quenching is carried out at a temperature below T<sub>tt</sub> by 50-150°C with an

exposure of at least 0.5 hours and followed by furnace cooling to the temperature of formation of the Ti<sub>2</sub>AlNb phase. Then they are cooled in air and aging is carried out at a temperature below T<sub>tt</sub> by 200-300°C and an exposure of 1 to 36 hours. Or stamping is carried out at a temperature below T<sub>tt</sub> by 50-150°C with a degree of deformation of 50%, after which aging is carried out at a temperature below T<sub>tt</sub> by 200-300°C with an exposure of 6 to 36 hours and cooling with the furnace.

EFFECT: high mechanical properties.

2 cl, 2 dwg, 8 ex

Группа изобретений относится к области обработки металлов и сплавов давлением, а именно к технологии обработки давлением интерметаллидных сплавов на основе алюминида  $Ti_2AlNb$  и может быть использовано в аэрокосмической промышленности для изготовления 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  $650^{\circ}C$ . 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 удастся 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 № 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  $T_{III}+(100-200)^{\circ}C$ , где  $T_{III}$  температура  $\beta \leftrightarrow \alpha_2$  превращения с выдержкой 2-3 часа, а каждую последующую из промежуточных деформаций проводят при температуре на  $50-100^{\circ}C$  ниже предыдущей с выдержкой на 0,5-1 час меньше, чем на предыдущей, а последнюю из промежуточных деформаций проводят при температуре  $T_{III}-(20-50)^{\circ}C$ , причем окончательную деформацию заготовки осуществляют со степенью не более 30% при  $T_{III}-(80-120)^{\circ}C$ . После деформации заготовку подвергали двухступенчатой термической обработке: 1. нагрев до  $T=900^{\circ}C$  выдержка 2,5 часа с последующим охлаждением на воздухе до комнатной температуры; 2. нагрев до  $T=850^{\circ}C$  выдержка 12 часов с последующим охлаждением на воздухе до комнатной температуры. Механические характеристики при  $T=20^{\circ}C$ :  $\sigma_{0,2}=1040$  МПа;  $\sigma_B=1110$  МПа;  $\delta=7,0$  %;  $\psi=7,5$  %; при  $T=650^{\circ}C$ :  $\sigma_{0,2}=860$  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 № 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 ( $T_{\text{III}}$ ) и последующей термической обработке. Кроме того, слиток подвергается предварительной высокотемпературной газостатической обработке выше температуры  $T_{\text{III}}$ . 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  $1100^{\circ}\text{C}$ , плющение со степенью деформации не менее 0,5, повторный нагрев до  $1100^{\circ}\text{C}$  и выдавливание заготовки в закрытом штампе с формированием поковки с замком и пером лопатки. Затем поковку нагревали до  $1100^{\circ}\text{C}$ , подвергали сначала черновой, а затем чистовой штамповке лопаток. После низкого отжига были получены следующие свойства при температуре  $20^{\circ}\text{C}$ : 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 группы изобретений является обеспечение высокого комплекса механических характеристик заготовок лопаток газотурбинных двигателей из сплава на основе алюминида  $\text{Ti}_2\text{AlNb}$ , сочетающих в себе высокую прочность и жаропрочность при достаточном уровне низкотемпературной пластичности.

Технический результат изобретений заключается в обеспечении высоких механических свойств заготовок лопаток газотурбинных двигателей из сплава на основе алюминида  $\text{Ti}_2\text{AlNb}$ :  $\sigma_{0,2}^{20} = 950-1250$  МПа;  $\sigma_{\text{B}}^{20} = 1050-1350$  МПа;  $\delta^{20} = 4-6$  %;  $\psi^{20} = 4-6$ %;  $\sigma_{0,2}^{650} = 950$  МПа;  $\sigma_{\text{B}}^{650} = 1100$  МПа;  $\delta^{650} = 5$  %;  $\psi^{650} = 5$ % за счет применения предложенного способа изотермической штамповки и последующей термической обработки, обеспечивающих высокие механические свойства

Задача решается применением предложенного способа изотермической штамповки и термической обработки сплава на основе алюминида  $\text{Ti}_2\text{AlNb}$  на примере сплава ВИТ1, включающего штамповку лопаток со степенью деформации не менее 50% при температуре ниже  $T_{\text{III}}$  на  $50-200^{\circ}\text{C}$ , где  $T_{\text{III}}$  - температура  $\beta \leftrightarrow \alpha_2$  превращения, закалку при температуре ниже  $T_{\text{III}}$  на  $50-150^{\circ}\text{C}$ , выдержку не менее 0,5 часа с последующим печным охлаждением до температуры образования фазы  $\text{Ti}_2\text{AlNb}$  и дальнейшее охлаждение на воздухе, старение при температуре ниже  $T_{\text{III}}$  на  $200-300^{\circ}\text{C}$  и времени выдержки 1-36 часов.

Технический результат также достигается при условии совмещения стадии закалки с операцией изотермической штамповки, т.е. когда сразу после штамповки при температуре ниже  $T_{\text{III}}$  на 50-150°C осуществляют старение при температуре ниже  $T_{\text{III}}$  на 200-300°C в течение от 6 до 36 часов.

5 Новизна и изобретательский уровень предложенной группы изобретений заключается в деформационно-термической обработке заготовок сплава на основе алюминида  $Ti_2AlNb$  при температуре существенно ниже  $T_{\text{III}}$ , где  $T_{\text{III}}$  - температура  $\beta \leftrightarrow \alpha_2$  превращения. Такой подход позволяет обеспечить высокий комплекс механических характеристик как при комнатной, так и при рабочих температурах указанного сплава.

#### 10 ОСУЩЕСТВЛЕНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ

Деформационно-термическую обработку заготовок сплава на основе алюминида  $Ti_2AlNb$  провели на примере сплава ВИТ1. Температура  $\beta \leftrightarrow \alpha_2$  превращения (далее  $T_{\text{III}}$ ) определена с помощью дифференциально сканирующей калориметрии и составила 1100°C. Температура образования фазы  $Ti_2AlNb$  определена тем же способом и составила 15 950°C. Изотермическую штамповку заготовок лопаток проводят при температуре ниже  $T_{\text{III}}$  на 50-200°C со степенью деформации от 50%. После чего заготовки подвергают термической обработке:

- закалка при температуре ниже  $T_{\text{III}}$  на 50-150°C, выдержка от 0,5 часа;
- 20 - охлаждение с печью до температуры 950°C, затем охлаждение на воздухе;
- старение при температуре ниже  $T_{\text{III}}$  на 200-300°C, выдержка от 1 до 36 часов, охлаждение с печью.

Кроме того, заявленный технический результат достигается и в случае, когда первая 25 стадия термической обработки закалка совмещена с операцией изотермической штамповки при температуре ниже  $T_{\text{III}}$  на 50-150°C со степенью деформации от 50% , после которой заготовки подвергаются старению при температуре ниже  $T_{\text{III}}$  на 200-300°C с выдержкой от 6 до 36 часов, охлаждение с печью.

Изобретение охарактеризовано на следующих изображениях.

30 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 при  $T=1000^\circ\text{C}$ , выдержка 0,5 часа, охлаждение с печью до 950°C, охлаждение на воздухе; старение при  $T=800^\circ\text{C}$ , выдержка 6 часов (а - сканирующая электронная микроскопия, б - просвечивающая электронная 35 микроскопия).

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

Возможность осуществления группы изобретений поясняется примерами технологического процесса изотермической штамповки заготовок лопаток из сплава 40 ВИТ1. Механические испытания полученных сплавов проводили с использованием установки универсальная электромеханическая испытательная машина Instron 5882.

Пример 1.

Проведена деформационно-термическая обработка заготовок сплава ВИТ1 на основе алюминида  $Ti_2AlNb$  . Заготовки подвергали изотермической штамповке при 950°C со 45 степенью деформации 50%. После чего заготовки подвергали закалке при  $T=1000^\circ\text{C}$ , выдержка 0,5 часа, охлаждение с печью до  $T=950^\circ\text{C}$ , охлаждение на воздухе; старение при 800°C с выдержкой 6 часов. Микроструктура полученной штамповки представлена на фигуре 1. Результаты механических испытаний представлены в таблице на фигуре

2.

Пример 2.

Проведена деформационно-термическая обработка заготовок сплава ВИТ1 на основе алюминида  $Ti_2AlNb$ . Заготовки подвергали изотермической штамповке при  $900^{\circ}C$  со степенью деформации 50%. После чего заготовки подвергали закалке при  $T=975^{\circ}C$ , выдержка 0,5 часа, охлаждение с печью до  $T=950^{\circ}C$ , охлаждение на воздухе; старение при  $800^{\circ}C$ , выдержка 6 часов. Результаты механических испытаний представлены в таблице на фигуре 2.

Пример 3.

Проведена деформационно-термическая обработка заготовок сплава ВИТ1 на основе алюминида  $Ti_2AlNb$ . Заготовки подвергали изотермической штамповке при  $1050^{\circ}C$  со степенью деформации 50%. После чего заготовки подвергали закалке при  $T=1050^{\circ}C$ , выдержка 0,5 часа, охлаждение с печью до  $T=950^{\circ}C$ , охлаждение на воздухе; старение при  $900^{\circ}C$ , выдержка 6 часов. Результаты механических испытаний представлены в таблице на фигуре 2.

Пример 4.

Проведена деформационно-термическая обработка заготовок сплава ВИТ1 на основе алюминида  $Ti_2AlNb$ . Заготовки подвергали изотермической штамповке при  $950^{\circ}C$  со степенью деформации 50%. После чего заготовки подвергали закалке при  $T=975^{\circ}C$ , выдержка 0,5 часа, охлаждение с печью до  $T=950^{\circ}C$ , закалка на воздухе; старение при  $850^{\circ}C$ , выдержка 1 час. Результаты механических испытаний представлены в таблице на фигуре 2.

Пример 5.

Проведена деформационно-термическая обработка заготовок сплава ВИТ1 на основе алюминида  $Ti_2AlNb$ . Заготовки подвергали изотермической штамповке при  $1000^{\circ}C$  со степенью деформации 50%. После чего заготовки подвергали термической обработке: старение при  $800^{\circ}C$ , выдержка 6 часов. Результаты механических испытаний представлены в таблице на фигуре 2.

Пример 6.

Проведена деформационно-термическая обработка заготовок сплава ВИТ1 на основе алюминида  $Ti_2AlNb$ . Заготовки подвергали изотермической штамповке при  $1000^{\circ}C$  со степенью деформации 50%. После чего заготовки подвергали термической обработке: старение при  $800^{\circ}C$ , выдержка 36 часов. Результаты механических испытаний представлены в таблице на фигуре 2.

Пример 7.

Проведена деформационно-термическая обработка заготовок сплава ВИТ1 на основе алюминида  $Ti_2AlNb$ . Заготовки подвергали изотермической штамповке при  $1000^{\circ}C$  со степенью деформации 50%. После чего заготовки подвергали термической обработке: старение при  $900^{\circ}C$ , выдержка 6 часов. Результаты механических испытаний представлены в таблице на фигуре 2.

Пример 8.

Проведена деформационно-термическая обработка заготовок сплава ВИТ1 на основе алюминида  $Ti_2AlNb$ . Заготовки подвергали изотермической штамповке при  $1000^{\circ}C$  со степенью деформации 50%. После чего заготовки подвергали термической обработке: старение при  $900^{\circ}C$ , выдержка 36 часов. Результаты механических испытаний 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  $Ti_2AlNb$ :  $\sigma_{0,2}^{20} = 950-1250$  МПа;  $\sigma_B^{20} = 1050-1350$  МПа;  $\delta^{20} = 4-6$  %;  $\psi^{20} = 4-6$  %;  $\sigma_{0,2}^{650} =$   
5  $950$  МПа;  $\sigma_B^{650} = 1100$  МПа;  $\delta^{650} = 5$  %;  $\psi^{650} = 5$  %.

(57) Формула изобретения

1. Способ изготовления заготовок лопаток газотурбинных двигателей из сплава на основе алюминида  $Ti_2AlNb$ , включающий штамповку и термическую обработку,  
10 отличающийся тем, что штамповку проводят со степенью деформации не менее 50% при температуре ниже  $T_{III}$  на 50-200°C, где  $T_{III}$  - температура  $\beta \leftrightarrow \alpha_2$  превращения, а при термообработке проводят закалку при температуре ниже  $T_{III}$  на 50-150°C с  
15 выдержкой не менее 0,5 часа с последующим печным охлаждением до температуры образования фазы  $Ti_2AlNb$ , после чего осуществляют охлаждение на воздухе и старение при температуре ниже  $T_{III}$  на 200-300°C и временем выдержки от 1 до 36 часов.

2. Способ изготовления заготовок лопаток газотурбинных двигателей из сплава на основе алюминида  $Ti_2AlNb$ , включающий штамповку и термическую обработку,  
20 отличающийся тем, что штамповку проводят со степенью деформации не менее 50% при температуре ниже  $T_{III}$  на 50-150°C, где  $T_{III}$  - температура  $\beta \leftrightarrow \alpha_2$  превращения, а термообработку проводят путем старения при температуре ниже  $T_{III}$  на 200-300°C и временем выдержки от 6 до 36 часов.

25

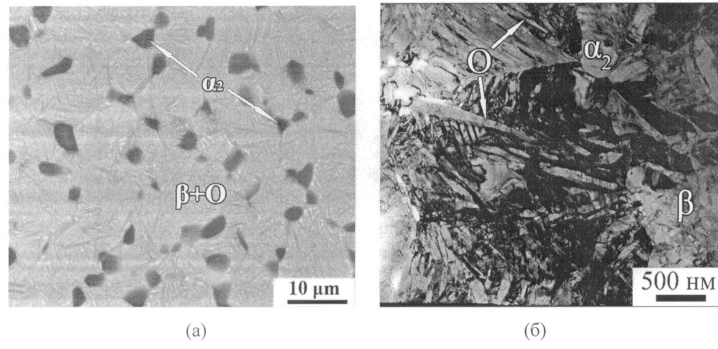
30

35

40

45

1



Фиг.1

2



Состояние	$\sigma_{0,2}^{20}$ , МПа	$\sigma_B^{20}$ , МПа	$\delta^{20}$ , %	$\psi^{20}$ , %	$\sigma_{0,2}^{650}$ , МПа	$\sigma_B^{650}$ , МПа	$\delta^{650}$ , %	$\psi^{650}$ , %
Штамповка 950°C, Т=1000°C, 0,5 часа охлаждение с печью до Т=950°C, Тстарения=800°C, 6 часов	1230	1300	4	4	-	-	-	-
Штамповка 900°C, Т=975°C, 0,5 часа охлаждение с печью до Т=950°C, Тстарения=800°C, 36 часов	1150	1200	5	5	950	1100	5	5
Штамповка 1050°C, Т=1050°C, 0,5 часа охлаждение с печью до Т=950°C, Тстарения=900°C, 6 часов	1100	1200	4	4	-	-	-	-
Штамповка 950°C, Т=975°C, 0,5 часа охлаждение с печью до Т=950°C, Тстарения=850°C, 1 час	1250	1400	5	5	-	-	-	-
Штамповка 1000°C, Тстарения=800°C, 6 часов	1250	1350	5	4	-	-	-	-
Штамповка 1000°C, Тстарения=800°C, 36 часов	980	1100	6	4	-	-	-	-
Штамповка 1000°C, Тстарения=900°C, 6 часов	1150	1250	5	5	-	-	-	-
Штамповка 1000°C, Тстарения=900°C, 36 часов	950	1050	6	6	-	-	-	-

Фиг. 2