



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК
C22F 1/183 (2023.02)

(21)(22) Заявка: 2022116140, 15.06.2022

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
15.06.2022

Дата регистрации:
19.07.2023

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 15.06.2022

(45) Опубликовано: 19.07.2023 Бюл. № 20

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
2644830 C2, 14.02.2018. RU 2520924 C1,
27.06.2014. CN 112296602 A, 02.02.2021. FR
2772790 B1, 04.02.2000.

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

(57) Реферат:

Изобретение относится к металлургии, а именно к обработке давлением интерметаллидных сплавов на основе орторомбического алюминиды титана. Способ изготовления заготовок лопаток газотурбинных двигателей из интерметаллидных сплавов на основе орторомбического алюминиды титана включает штамповку заготовок лопаток при температуре ниже температуры превращения (Т_{пп}). Перед штамповкой заготовки лопаток предварительно нагревают до температуры выше температуры Т_{пп} не более чем на 100°С, выдерживают не менее 0,5 часа, подвергают всесторонней ковке при температуре ниже Т_{пп} на 50-150°С с проведением не менее 3 проходов со сменой оси деформации на 90° и степенью

деформации не менее 40% за проход, причем последний проход осуществляют со степенью деформации не менее 50%. Далее проводят штамповку заготовок лопаток со степенью деформации не менее 50% при температуре ниже Т_{пп} на 50-200°С, после чего осуществляют термическую обработку, включающую две ступени, на первой из которых проводят закалку при температуре ниже температуры Т_{пп} на 50-150°С с выдержкой не менее 0,5 часа, а на второй - старение при температуре ниже Т_{пп} на 200-300°С с выдержкой от 1 до 36 часов, где Т_{пп}-температура β↔α₂ превращения. Обеспечивается получение высоких механических свойств заготовок лопаток. 2 ил., 6 пр.



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(52) CPC
C22F 1/183 (2023.02)

(21)(22) Application: **2022116140, 15.06.2022**

(24) Effective date for property rights:
15.06.2022

Registration date:
19.07.2023

Priority:

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

(45) Date of publication: **19.07.2023** Bull. № 20

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 INTERMETALLIC ALLOY BASED ON ORTHORHOMBIC TITANIUM ALUMINIDE**

(57) Abstract:

FIELD: metallurgy.

SUBSTANCE: invention relates to the pressure treatment of intermetallic alloys based on orthorhombic titanium aluminide. The method of manufacturing blanks of blades of gas turbine engines from intermetallic alloys based on orthorhombic titanium aluminide includes stamping of blanks of blades at a temperature below the transformation temperature (T_{tt}). Before stamping, the blade blanks are preheated to a temperature higher than the T_{tt} temperature by no more than 100°C, exposed for at least 0.5 hours, subjected to all-round forging at a temperature below T_{tt} by 50-150°C while carrying out at least 3 passes with a change in the axis of deformation by 90° and a degree of deformation of at least 40% per pass, the last pass being

carried out with a degree of deformation of at least 50%. 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 of aging at a temperature below T_{tt} 200-300°C with an exposure of 1 to 36 hours, where T_{tt} is the transformation temperature $\leftrightarrow \alpha_2$.

EFFECT: obtaining high mechanical properties of blade blanks.

1 cl, 2 dwg, 6 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 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°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 алюминиды 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 алюминиды 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 интерметаллидного сплава на основе орторомбического алюминиды титана, сочетающих в себе высокую прочность и жаропрочность при достаточном уровне низкотемпературной пластичности.

Технический результат изобретения заключается в обеспечении высоких механических свойств заготовок лопаток газотурбинных двигателей из интерметаллидного сплава на основе орторомбического алюминиды титана: $\sigma_{0,2}^{20} = 1000-1200$ МПа; $\sigma_{\text{B}}^{20} = 1150-1250$ МПа; $\delta^{20} = 5-8$ %; $\psi^{20} = 3-5\%$; $\sigma_{0,2}^{650} = 850$ МПа; $\sigma_{\text{B}}^{650} = 1000$ МПа; $\delta^{650} = 9$ %; $\psi^{650} = 7\%$; $KCU^{20} = 7,0$ Дж/см², время до разрушения при $T=650^{\circ}\text{C}$ и $\sigma=380$ МПа до 200 часов, за счет предложенного способа изотермической штамповки и последующей термической обработки,

Задача изобретения решается применением предложенного способа изотермической штамповки и двухстадийной термической обработке на примере сплава ВИТ1.

Новизна и изобретательский уровень предложенного изобретения заключается в введении дополнительно операции предварительной деформационно-термической обработки в виде изотермическойковки заготовок интерметаллидного сплава на основе орторомбического алюминиды титана перед штамповкой, а также в 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.

5 Осуществление изобретения на примере интерметаллидного сплава на основе орторомбического алюминида титана ВИТ1. Температура $\beta \leftrightarrow \alpha_2$ превращения (далее T_{III}) определена с помощью дифференциально сканирующей калориметрии и составила 1100°C. Заготовки подвергают предварительному нагреву до температуры выше T_{III}
 10 на 0-100°C с выдержкой не менее 0,5 часа. После чего проводят ковку при температуре ниже T_{III} на 50-150°C с проведением не менее 3 проходов со сменой оси деформации на 90° и степенью деформации не менее 40% за проход. Изотермическую штамповку заготовок лопаток проводят при температуре ниже T_{III} на 50-200°C со степенью деформации от 50%. После чего заготовки подвергают двухстадийной термической
 15 обработке:

- закалка с температуры ниже T_{III} на 50-200°C, выдержка от 0,5 часа, охлаждение на воздухе;

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

Изобретение охарактеризовано на следующих изображениях.

Фиг. 1 – Микроструктура заготовки сплава ВИТ1 после деформационно-термической и термической обработки по режиму: отжиг $T=1100^\circ\text{C}$, выдержка 0,5 часа охлаждение на воздухе; ковка при температуре 950°C с проведением не менее 3 проходов со сменой
 25 оси деформации на 90° и степенью деформации не менее 40% за проход; 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).

Фиг. 2 – Таблица «Механические свойства полученного сплава ВИТ1 после
 30 изотермической штамповки и термической обработки».

Возможность осуществления изобретения поясняется следующими примерами технологического процесса изотермической штамповки заготовок лопаток из интерметаллидного сплава на основе орторомбического алюминида титана ВИТ1. Механические испытания полученных сплавов проводили с использованием следующих
 35 установок: универсальная электромеханическая испытательная машина Instron 5882; маятниковый копёр Instron SL-1M № SIK 5711; машина для испытаний на ползучесть и длительную прочность ATS Creep Tester 2330.

Пример 1

Проведена деформационно-термическая обработка заготовок интерметаллидного
 40 сплава на основе орторомбического алюминида титана ВИТ1. Перед деформацией заготовки нагревали до $T=1200^\circ\text{C}$ и выдерживали 0,5 часа с последующим охлаждением на воздухе. Далее заготовки подвергали изотермической ковке при 950°C с проведением 3 проходов со степенью деформации за проход 40%. Заготовки подвергали изотермической штамповке при 1000°C со степенью деформации 50%. После чего заготовки подвергали термической обработке: нагрев до 1000°C, выдержка 4 часа,
 45 закалка на воздухе; старение при 850°C, выдержка 6 часов. Полученная микроструктура представлена на фиг. 1. Результаты механических испытаний представлены в таблице на фиг. 2.

Пример 2

Проведена деформационно-термическая обработка заготовок интерметаллидного сплава 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 ковке при 1050°C с проведением 3 проходов со степенью деформации за проход 40%. Заготовки подвергали изотермической штамповке при 950°C со степенью деформации 50%. После чего заготовки подвергали термической обработке: нагрев до 1000°C , выдержка 0,5 часа, закалка на воздухе; старение при 800°C , выдержка 36 часов. Результаты механических испытаний представлены в таблице на фиг. 2.

Пример 3

Проведена деформационно-термическая обработка заготовок интерметаллидного сплава на основе орторомбического алюминид титана ВИТ1. Перед деформацией заготовки нагревали до $T=1100^{\circ}\text{C}$ и выдерживали 0,5 часа с последующим охлаждением на воздухе. Далее заготовки подвергали изотермической ковке при 950°C с проведением 3 проходов со степенью деформации за проход 40%. Заготовки подвергали изотермической штамповке при 950°C со степенью деформации 50%. После чего заготовки подвергали термической обработке: нагрев до 1000°C , выдержка 0,5 часа, закалка на воздухе; старение при 900°C , выдержка 1 час. Результаты механических испытаний представлены в таблице на фиг. 2.

Пример 4

Проведена деформационно-термическая обработка заготовок интерметаллидного сплава 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 ковке при 950°C с проведением 3 проходов со степенью деформации за проход 40%. Заготовки подвергали изотермической штамповке при 950°C со степенью деформации 50%. После чего заготовки подвергались термической обработке: нагрев до 1000°C , выдержка 0,5 часа, закалка на воздухе; старение при 800°C , выдержка 6 часов. Результаты механических испытаний представлены в таблице на фиг. 2.

Пример 5

Проведена деформационно-термическая обработка заготовок интерметаллидного сплава на основе орторомбического алюминид титана ВИТ1. Перед деформацией заготовки нагревали до $T=1000^{\circ}\text{C}$ и выдерживали 4 часа с последующим охлаждением на воздухе. Заготовки подвергали изотермической ковке при 1000°C с проведением 3 проходов со степенью деформации за проход 40%. Заготовки подвергали изотермической штамповке при 1050°C со степенью деформации 50%. После чего заготовки подвергались термической обработке: нагрев до 1050°C , выдержка 0,5 часа, закалка на воздухе; старение при 800°C , выдержка 6 часов. Результаты механических испытаний представлены в таблице на фиг. 2.

Пример 6

Проведена деформационно-термическая обработка заготовок интерметаллидного сплава на основе орторомбического алюминид титана ВИТ1. Перед деформацией заготовки нагревали до $T=1000^{\circ}\text{C}$ и выдерживали 4 часа с последующим охлаждением на воздухе. Заготовки подвергали изотермической ковке при 1000°C с проведением 3 проходов со степенью деформации за проход 40%. Заготовки подвергали изотермической штамповке при 1000°C со степенью деформации 50%. После чего заготовки подвергались термической обработке: нагрев до 950°C , выдержка 2 часа, закалка на воздухе; старение при 800°C .

Дополнительно были проведены испытания сплава, полученного по примеру 1, на ударную вязкость $KCU_{20}=7,0$ Дж/см² и длительную прочность: время до разрушения при $T=650^{\circ}\text{C}$ и $\sigma=380$ МПа до 200 часов.

5 Приведенные примеры подтверждают достижение заявленного технического результата изобретения, заключающегося в том, что предложенные режимы термической и деформационно-термической обработок, обеспечивают высокие механические свойства интерметаллидного сплава на основе орторомбического алюминид титана ВИТ1:
 $\sigma_{0,2}^{20}=1000-1200$ МПа; $\sigma_B^{20}=1150-1250$ МПа; $\delta^{20}=5-8\%$; $\psi^{20}=3-5\%$; $\sigma_{0,2}^{650}=850$ МПа;
 10 $\sigma_B^{650}=1000$ МПа; $\delta^{650}=9\%$; $\psi^{650}=7\%$.

(57) Формула изобретения

Способ изготовления заготовок лопаток газотурбинных двигателей из интерметаллидных сплавов на основе орторомбического алюминид титана,
 15 включающий штамповку заготовок лопаток при температуре ниже температуры превращения ($T_{пп}$), отличающийся тем, что перед штамповкой заготовки лопаток предварительно нагревают до температуры выше температуры $T_{пп}$ не более чем на 100°C , выдерживают не менее 0,5 часа, подвергают всесторонней ковке при температуре ниже $T_{пп}$ на $50-150^{\circ}\text{C}$ с проведением не менее 3 проходов со сменой оси деформации
 20 на 90° и степенью деформации не менее 40% за проход, причем последний проход осуществляют со степенью деформации не менее 50%, далее проводят штамповку заготовок лопаток со степенью деформации не менее 50% при температуре ниже $T_{пп}$ на $50-200^{\circ}\text{C}$, после чего осуществляют термическую обработку, включающую две ступени, на первой из которых проводят закалку при температуре ниже температуры
 25 $T_{пп}$ на $50-150^{\circ}\text{C}$ с выдержкой не менее 0,5 часа, а на второй - старение при температуре ниже $T_{пп}$ на $200-300^{\circ}\text{C}$ с выдержкой от 1 до 36 часов, где $T_{пп}$ -температура $\beta \leftrightarrow \alpha_2$ превращения.

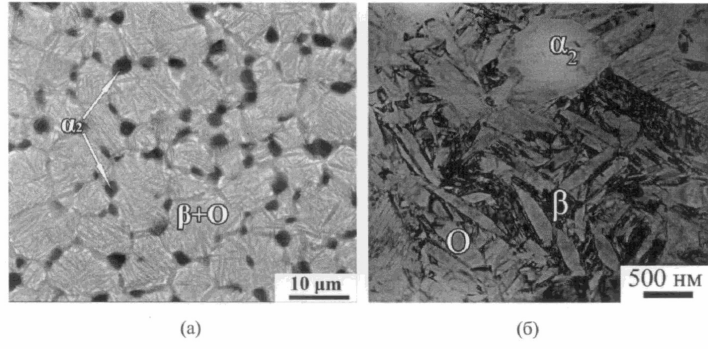
30

35

40

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 1200°C 0,5 часа охлаждение на воздухе Ковка 950°C Штамповка 950°C, Тзакалки=1000°C, 4 часа закалка на воздухе Тстарения=850°C, 6 часов	1200	1250	6	5	-	-	-	-
Нагрев 1200°C 0,5 часа охлаждение на воздухе Ковка 950°C Штамповка 950°C, Тзакалки=1000°C, 0,5 часа закалка на воздухе Тстарения=800°C, 36 часов	1000	1150	8	5	850	1000	9	7
Нагрев 1200°C 0,5 часа охлаждение на воздухе Ковка 950°C Штамповка 950°C, Тзакалки=1000°C, 0,5 часа закалка на воздухе Тстарения=900°C, 6 часов	1150	1200	4	4				
Нагрев 1100°C 8 часов охлаждение на воздухе Ковка 1050°C Штамповка 950°C, Тзакалки=1000°C, 0,5 часа закалка на воздухе Тстарения=800°C, 6 часов	1170	1230	5	3	-	-	-	-
Нагрев 1000°C 4 часа охлаждение на воздухе Ковка 1050°C Штамповка 1050°C, Тзакалки=1050°C, 0,5 часа закалка на воздухе Тстарения=800°C, 6 часов	1080	1200	6	5	-	-	-	-
Нагрев 1000°C 4 часа охлаждение на воздухе Ковка 1000°C Штамповка 1000°C, Тзакалки=950°C, 2 часа закалка на воздухе Тстарения=800°C, 6 часов	1200	1280	5	4	-	-	-	-

Фиг. 2