



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК
B21J 5/00 (2019.08); B21J 1/00 (2019.08); C22F 1/18 (2019.08)

(21)(22) Заявка: 2019123688, 22.07.2019

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
22.07.2019

Дата регистрации:
21.11.2019

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 22.07.2019

(45) Опубликовано: 21.11.2019 Бюл. № 33

Адрес для переписки:

450008, г. Уфа, ул. К. Маркса, 12, УГАТУ, отдел
интеллектуальной собственности, пат. пов. РФ
Ефремовой В.П., рег. N 1017

(72) Автор(ы):

Семенова Ирина Петровна (RU),
Рааб Георгий Иосифович (RU),
Рааб Арсений Георгиевич (RU),
Дьяконов Григорий Сергеевич (RU),
Артюхин Юрий Васильевич (RU),
Измайлова Наиля Федоровна (RU)

(73) Патентообладатель(и):

федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
образования "Уфимский государственный
авиационный технический университет"
(RU),
Публичное акционерное общество
"ОДК-Уфимское моторостроительное
производственное объединение" (RU)

(56) Список документов, цитированных в отчете
о поиске: RU 2382686 C2, 27.02.2010. RU
2525961 C1, 20.08.2014. RU 2562186 C1,
10.09.2015. RU 2681033 C2, 01.03.2019. US
6127044 A1, 03.10.2000.

(54) Способ штамповки заготовок с ультрамелкозернистой структурой из двухфазных титановых сплавов

(57) Реферат:

Изобретение относится к обработке металлов давлением и может быть использовано при получении заготовок из титановых двухфазных сплавов. Заготовку подвергают термической обработке для получения дуплексной структуры с объемной долей зерен первичной α -фазы не более 30%. Затем пластически деформируют заготовку высокоскоростной ротационной ковкой при температуре, на 200...300°C ниже температуры полиморфного превращения, с логарифмической степенью деформации не менее 1,5. При этом получают УМЗ структуру бимодального типа. Далее производят штамповку

заготовки в изотермических условиях. Для этого штамп и заготовку нагревают до температуры, на 200...300°C ниже температуры полиморфного превращения материала заготовки. После штамповки заготовку охлаждают до комнатной температуры и производят стабилизирующий отжиг при температуре, на 400...450°C ниже температуры полиморфного превращения, в течение 2...6 часов с охлаждением на воздухе. В результате обеспечивается повышение механических свойств заготовки. 1 з.п. ф-лы, 1 пр.



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(51) Int. Cl.
B21J 5/00 (2006.01)
B21J 1/00 (2006.01)
C22F 1/18 (2006.01)

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(52) CPC

B21J 5/00 (2019.08); B21J 1/00 (2019.08); C22F 1/18 (2019.08)(21)(22) Application: **2019123688, 22.07.2019**(24) Effective date for property rights:
22.07.2019Registration date:
21.11.2019

Priority:

(22) Date of filing: **22.07.2019**(45) Date of publication: **21.11.2019 Bull. № 33**

Mail address:

450008, g. Ufa, ul. K. Marksa, 12, UGATU, otdel
intelektualnoj sobstvennosti, pat. pov. RF
Efremovoj V.P., reg. N 1017

(72) Inventor(s):

**Semenova Irina Petrovna (RU),
Raab Georgij Iosifovich (RU),
Raab Arsenij Georgievich (RU),
Dyakonov Grigorij Sergeevich (RU),
Artyukhin Yuriy Vasilevich (RU),
Izmajlova Nailya Fedorovna (RU)**

(73) Proprietor(s):

**federalnoe gosudarstvennoe byudzhetnoe
obrazovatelnoe uchrezhdenie vysshego
obrazovaniya "Ufimskij gosudarstvennyj
aviatsionnyj tekhnicheskij universitet" (RU),
Publichnoe aktsionernoe obshchestvo
"ODK-Ufimskoe motorostroitelnoe
proizvodstvennoe obedinenie" (RU)**

(54) **METHOD OF FORGING WORKPIECES WITH ULTRA-FINE-GRAINED STRUCTURE OF TWO-PHASE TITANIUM ALLOYS**

(57) Abstract:

FIELD: technological processes.

SUBSTANCE: invention relates to metal forming and can be used for production of billet from titanium two-phase alloys. Billet is subjected to thermal treatment to produce duplex structure with volume fraction of grains of primary α -phases of not more than 30 %. Then, workpiece is plastically deformed by high-speed rotary forging at temperature of 200...300 °C is lower than temperature of polymorphous transformation, with logarithmic degree of deformation of not less than 1.5. UFG structure of a bimodal type is obtained. Further, workpiece is forged in isothermal

conditions. For this purpose, die and workpiece are heated to temperature of 200...300 °C is lower than temperature of polymorphous transformation of workpiece material. After forming, workpiece is cooled to room temperature and stabilizing annealing is performed at temperature of 400...450 °C is lower than temperature of polymorphous transformation, for 2...6 hours with cooling in air.

EFFECT: result is improved mechanical properties of the workpiece.

1 cl, 1 ex

Изобретение относится к обработке металлов давлением, в частности, к способам формообразования заготовок методом объемной штамповки, преимущественно типа лопаток турбомашин, из титановых двухфазных сплавов, обеспечивающих повышенные механические свойства, и может быть использовано в машиностроении и авиационной промышленности.

Известно, что прочность, надежность и долговечность деталей газотурбинного двигателя (ГТД) зависит от химического состава и механических свойств материала, из которого они изготовлены. В целом, такие механические свойства, как прочность, пластичность, вязкость разрушения, сопротивление усталости и др., являются структурно-чувствительными свойствами. А микроструктура готовых изделий зависит от структуры исходного полуфабриката и условий ее последующей термической и деформационной обработки: температуры, степени, скорости деформации и др. (Полуфабрикаты из титановых сплавов. В.К. Александров, Н.Ф. Аношкин, Г.А. Бочвар и др. М., «Металлургия», 1979, с. 512).

Известен способ изготовления сложнопрофильных лопаток из титановых сплавов, включающий отливку фасонированных заготовок, состоящих из замковой части и части под перо, нагрев литых заготовок до температуры на 10-30°С ниже температуры полиморфного превращения сплава, деформацию в изотермических условиях за один переход (патент РФ №2019359, МПК В21К 3/04, опубл. 15.09.1994).

В данном способе необходимым условием технологической пластичности титановых сплавов в процессе формообразования заготовки является их нагрев под штамповку до температуры полного полиморфного превращения сплава или на 10-30°С ниже. В результате последующей штамповки при той же температуре в изотермических условиях в изделии формируется глобулярная структура, обеспечивающая хорошее сочетание прочности и пластичности, однако данный способ не позволяет получить прочность штамповок из титановых сплавов выше 1300 МПа.

Известен способ штамповки заготовки из титановых сплавов, включающий, по меньшей мере, два перехода предварительной штамповки и окончательную штамповку, нагрев заготовки под каждый переход штамповки и охлаждение ее после каждого перехода, причем нагрев заготовки под каждый переход предварительной штамповки осуществляют до температуры выше температуры начала полиморфного превращения, охлаждение заготовки после каждого перехода предварительной штамповки осуществляют до температуры ниже температуры конца полиморфного превращения, а окончательную штамповку производят в интервале температур начала полиморфного превращения и полного полиморфного превращения (патент РФ 2229952, МПК В21J 5/00, В21К 3/04, опубл. 10.06.2004).

Данный способ также не позволяет достичь высокого уровня механических свойств, что обусловлено многократным высокотемпературным нагревом заготовки и штамповкой в интервале температур начала и полного полиморфного превращения. Кроме того, осуществление данного способа требует использования дорогостоящей жаропрочной штамповой оснастки, высоких затрат электроэнергии.

Известно, что титановые сплавы с ультрамелкозернистой (УМЗ) структурой, полученные методами интенсивной пластической деформации (ИПД), наряду с повышенными прочностными и усталостными свойствами при комнатной температуре проявляют сверхпластические свойства при температурах ниже на 200...300°С температуры полиморфного превращения (О.А. Кайбышев, Сверхпластичность промышленных сплавов, - М.: Metallurgiya, 1984, 263 с; R.Z. Valiev, R.K. Islamgaliev, I.P. Semenova, Superplasticity in nanostructured materials: New challenges, Mater. Sci. Eng. A,

Vol. 463 (2007), pp. 2-7). Данное свойство УМЗ материалов дает возможность осуществлять формообразующие операции при более низких температурах.

Известен способ получения УМЗ заготовки лопатки ГТД из титановых сплавов, который включает предварительный нагрев заготовки до температуры ниже температуры полиморфного превращения и обработку путем многократной интенсивной пластической деформации со сменой направлений деформирования в несколько циклов. Обработку ведут в изотермических условиях при одинаковой температуре заготовки и штампа. В каждом цикле деформацию осуществляют при температуре отжига сплава по этапам, которые включают осадку цилиндрической заготовки в закрытом штампе, открытую осадку с получением заготовки в виде диска, плющение на ребро диска в закрытом штампе для получения заготовки с квадратным сечением, ее осадку в закрытом штампе на цилиндрическую заготовку. Количество циклов обработки определяют исходя из достижения степени накопленной деформации не менее пяти. Затем ведут закрытую осадку заготовки при температуре на 50-100°C ниже температуры отжига сплава, выдавливание в цилиндрическую заготовку, имеющую два различных диаметра поперечного сечения под замок и перо лопатки, и плоскую штамповку заготовки лопатки (RU 2486275, МПК C22F 1/18, B21J 1/00, опубл. 27.06.2013).

Данный способ позволяет получать УМЗ структуру в заготовке лопатки и повышенные механические свойства, однако недостатком данного способа является высокая трудоемкость процесса обработки и сложность технологической оснастки.

Наиболее близким к предложенному является способ штамповки заготовок из двухфазных титановых сплавов, включающий по меньшей мере два перехода, при этом осуществляется нагрев заготовки под каждый переход штамповки и охлаждение ее после каждого перехода, перед штамповкой заготовку подвергают интенсивной пластической деформации для формирования УМЗ структуры, после чего нагрев заготовки под каждый переход осуществляют при температуре ниже на 200...300°C температуры полиморфного превращения, а штамповку производят в изотермических условиях с последующим охлаждением заготовки после каждого перехода до комнатной температуры (WO 2009102273, МПК B21J 5/06, опубл. 20.08.2009).

Данный способ позволяет достичь высокого уровня прочностных и усталостных свойств в заготовке, что обусловлено предварительным формированием в заготовке УМЗ структуры методом ИПД и последующей штамповкой при температуре ниже на 200...300°C температуры полиморфного превращения. Вместе с тем, сформированная равноосная УМЗ структура в штамповке не всегда обеспечивает требуемые значения пластичности и ударной вязкости, которые являются критическими свойствами конструкционных материалов применительно к лопаткам турбомашин. Кроме того, для предварительного формирования УМЗ структуры в мерной заготовке из двухфазного титанового сплава необходимым условием является ее многократное прессование через пересекающиеся каналы (РКУП) и дополнительная пластическая деформация (экструзией, прокаткой или др.), что значительно увеличивает трудоемкость и энергоемкость процесса получения лопатки.

Задачей и техническим результатом данного изобретения является обеспечение сочетания высоких прочностных свойств, пластичности и вязкости разрушения материала лопаток турбомашин с одновременным снижением трудоемкости и стоимости процесса.

Технический результат изобретения достигается способом штамповки заготовок из двухфазных титановых сплавов, который включает предварительную пластическую деформацию заготовки для формирования УМЗ структуры, последующую штамповку

в изотермических условиях путем нагрева заготовки и штампа при температуре ниже на 200...300°C температуры полиморфного превращения с последующим охлаждением заготовки до комнатной температуры.

В отличие от прототипа перед пластической деформацией заготовку сначала подвергают термической обработке для получения дуплексной структуры с объемной долей зерен первичной α -фазы не более 30%, причем пластическую деформацию проводят высокоскоростной ротационной ковкой при температуре ниже температуры полиморфного превращения на 200...300°C с логарифмической степенью деформации не менее 1,7, с обеспечением УМЗ структуры бимодального типа, а после штамповки осуществляют стабилизирующий отжиг при температуре ниже температуры полиморфного превращения на 400...450°C в течение 2...6 часов с охлаждением на воздухе.

Согласно изобретению для лопаток турбомашин после ротационнойковки можно проводить формирование головки под замковую часть методом электровысадки токами высокой частоты.

Указанный технический результат объясняется следующим:

В исходном горячекатаном состоянии двухфазные титановые сплавы могут иметь крупную равноосную микроструктуру (размер зерна α -фазы в среднем от 5 до 15 мкм) или смешанную глобулярно-пластинчатую с объемной долей равноосных зерен первичной α -фазы около 70% [Металловедение титана и его сплавов / С.П. Белов, и др.; Ред. С.Г. Глазунов, Б.А. Колачев. - М.: Металлургия, 1992. - 351 с. - (Титановые сплавы). - ISBN 5-229-00782-6]. Последующая пластическая деформация заготовок с такой исходной микроструктурой приводит к формированию преимущественно субзеренной структуры, характеризующейся малоугловой разориентировкой границ. Вклад в упрочнение металла за счет субструктуры значительно меньше, чем вклад зернограницного упрочнения большеугловыми границами [Валиев Р.З., Александров И.В. «Объемные наноструктурные металлические материалы: получение, структура и свойства». М.: ИКЦ «Академкнига». 2007.]. С другой стороны, формирование в титановом сплаве гомогенной равноосной УМЗ структуры методами ИПД часто приводит к заметному снижению пластичности и ударной вязкости по сравнению с крупнозернистым аналогом [S.V. Zherebtsov, E. Kudryavtsev, S. Kostjuchenko, S. Malysheva, G. Salishchev. Strength and ductility-related properties of ultrafine grained two-phase titanium alloy produced by warm multiaxial forging, Mater. Sci. Eng. A 536 (2012) 190-196. doi:10.1016/j.msea.2011.12.102]. Это обусловлено их низкой способностью к деформационному упрочнению в результате затрудненного зарождения и аккумуляции дислокаций в ультрамелком зерне и ранней локализацией деформации [E. Ma, Instabilities and ductility of nanocrystalline and ultrafine-grained metals, Scripta Mater. 49 (2003) 663-668. doi: 10.1016/S1359-6462(03)00396-8]. Более того, такие УМЗ структуры имеют тенденцию к снижению ударной вязкости и вязкости разрушения [R. Pippan, A. Hohenwarter, The importance of fracture toughness in ultrafine and nanocrystalline bulk materials, Mater. Res. Lett. 4 (2016) 127-136].

В настоящем изобретении улучшение пластичности и вязкости разрушения двухфазного титанового сплава достигается путем формирования гетерогенной УМЗ структуры бимодального типа. Для однофазных металлов структура бимодального типа состоит из наноструктурной матрицы и крупных зерен микронного размера не менее 25%, приводящая к повышению пластичности без потери прочности [Г.А. Малыгин Прочность и пластичность нанометаллов с бимодальной зеренной структурой. Физика твердого тела, 2008, том 50, вып. 6 с. 990-996]. Применительно к двухфазным

титановым сплавам с исходной глобулярно-пластинчатой (дуплексной) структурой после пластической деформации роль крупных зерен будет принадлежать глобулярной первичной α -фазе, а УМЗ матрица будет сформирована в исходной тонкопластинчатой ($\alpha+\beta$)-области. Для этого перед пластической деформацией проводится предварительная термообработка для получения дуплексной структуры, включающей тонкопластинчатую матрицу и не более 30% зерен первичной α -фазы. Она заключается в неполной закалке (ниже температуры полиморфного превращения) и последующем высоким отпускком: обычно для титановых сплавов при температуре ниже температуры полиморфного превращения на 200...250°C в течение 2-4 часов [Ильин А.А., Колачев Б.А., Полькин И.С. Титановые сплавы. Состав, структура, свойства. Справочник. - М.: ВИЛС-МАТИ, 2009. - 520 стр.].

Последующая после термообработки пластическая деформация осуществляется методом высокоскоростной ротационнойковки. Ротационнаяковка (РК) заключается в высокочастотной деформации металла бойками по квазисхеме всестороннего сжатия [Semiatin S L 2005 ASM Handbook: Metalworking: Bulk Forming vol 14A, ed. Semiatin S L (ASM International) pp 179-182]. Скорость деформирования может достигать выше 300 мм с⁻¹, что значительно снижает трудоемкость и продолжительность процесса получения УМЗ структуры в заготовке большой длины. Важным преимуществом РК перед равноканальным угловым прессованием является возможность масштабирования, связанного с увеличением геометрических размеров (диаметра и длины) получаемых заготовок. С целью обеспечения эффективного измельчения структуры пластическая деформация проводится при температуре ниже температуры полиморфного превращения на 200...300°C с логарифмической степенью деформации не менее 1,5. В результате такой обработки формируется УМЗ структура бимодального типа, состоящая из УМЗ матрицы со средним размером зерен α - и β -фаз менее 0.5 мкм, и не более 30% равноосных зерен первичной α -фазы размером менее 8 мкм, внутренняя область которой разбита субзеренными границами [Iu MModina, A V Polyakov, G S Dyakonov, T V Yakovleva, A G Raab, I P Semenova. Peculiarities of microstructure and mechanical behavior of VT8M-1 alloy processed by rotary swaging. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 461 (2019) 012056IOP doi.10.1088/1757-899X/461/1/0120563To].

Известно применение ротационнойковки, как одного из способов пластической деформации для формирования УМЗ структуры титановых сплавов с целью повышения их механических свойств [Жеребцов и др., Влияние теплой ротационнойковки на структуру и свойства титанового сплава ВТ6, «Вестник УГАТУ», 2012, №7(52), с. 30-34].

Предложенный в изобретении способ штамповки заготовок с УМЗ структурой из двухфазных титановых сплавов в заявленной совокупности существенных признаков обеспечивает недостижимое из известного уровня техники сочетание прочности, пластичности, ударной вязкости разрушения, что позволяет получить высокие эксплуатационные свойства ответственных деталей в машиностроении и авиационном двигателестроении.

Обеспечение технологической пластичности заготовки после ротационнойковки позволяет провести низкотемпературную штамповку в изотермических условиях в интервале температур на 200...300°C ниже температуры полиморфного превращения. Если нагрев УМЗ заготовок осуществлять при температурах выше указанного диапазона, в структуре заготовки произойдет значительный рост зерен и фаз в результате процессов рекристаллизации и возврата, что не позволит достичь высоких прочностных свойств в заготовке.

В результате низкотемпературной штамповки заготовки с УМЗ структурой бимодального типа значительного роста фазовых составляющих не происходит, при этом бимодальность структуры сохраняется. В частности, в областях с УМЗ структурой, которые составляют 70% объема заготовки, за счет протекающих при деформировании процессов динамической рекристаллизации и возврата формируются равноосные зерна α -фазы размером около 1 мкм с преимущественно большеугловыми границами. Крупные зерна первичной α -фазы деформируются с образованием ячеистых субструктур и сохранением исходных границ. Полученная предложенным способом заготовка имеет повышенную прочность, которая обеспечивается зернограницным вкладом в упрочнение за счет большеугловых границ ультрамелких зерен, занимающих не менее 70% объема структуры. Повышенная пластичность и необходимая вязкость разрушения обеспечивается бимодальным типом УМЗ структуры, включающей ультрамелкие зерна α - и β -фаз и крупные малодеформированные зерна первичной α -фазы размером более 2 мкм, которые являются дополнительным препятствием для распространения трещины, что способствует ее ветвлению и увеличению совершаемой работы, т.е. повышению трещиностойкости [P. Semenova, Ju. Modina, A.V. Polyakov, G.V. Klevtsov, N.A. Klevtsova, IN. Pigaleva, N. Akhmetova and R.Z. Valiev, Impact toughness of ultrafine-grained Ti-6Al-4V alloy at cryogenic and elevated temperatures. Materials Science & Engineering A 743 (2019) 581-589 <https://doi.org/10.1016/j.msea.2018.10.076>].

В случае применения данного способа штамповки для получения лопаток турбомашин после ротационнойковки проводится электровысадка головки под замковую часть лопатки токами высокой частоты. Целью данного этапа является обеспечение полного заполнения формы в штамповой оснастке и получение заданных геометрических размеров лопатки.

С целью стабилизации сформированной УМЗ структуры бимодального типа штампованную заготовку подвергают отжигу при температуре ниже температуры полиморфного превращения на 400...450°C в течение 2...6 часов с охлаждением на воздухе. Если отжиг проводить при более низких температурах, то релаксация остаточных напряжений после штамповки будет недостаточной, что может привести к разрушению при последующей эксплуатации. Повышение температуры отжига выше данного интервала может привести к разупрочнению сплава за счет развития рекристаллизационных процессов и роста структурных составляющих. Длительность отжига от 2 до 6 часов необходима для формирования равновесного состояния сплава и развития процесса старения, сопровождающегося выделением дисперсной вторичной α -фазы [Металловедение титана и его сплавов / С.П. Белов, и др.; Ред. С.Г. Глазунов, Б. А. Колачев. - М.: Металлургия, 1992. - 351 с. - (Титановые сплавы). - ISBN 5-229-00782-6]. Старение УМЗ сплава обеспечивает также термостабильность материала при эксплуатационных температурах лопатки.

Изобретение осуществляют следующим образом:

В качестве исходной заготовки используют горячекатаный пруток из титанового двухфазного сплава диаметром от 40 до 100 мм и длиной не менее 1 м. Для формирования в прутке дуплексной микроструктуры, состоящей из пластинчатой (α + β) структуры и около 30% равноосных зерен первичной α -фазы, пруток подвергают предварительной термической обработке, включающей неполную закалку с температуры ниже температуры полиморфного превращения и высокий отжиг. Затем пруток длиной не менее 1 м подвергают ротационнойковке при температуре ниже температуры полиморфного превращения на 200...300°C с логарифмической степенью деформации не менее 1,5. После ротационнойковки в зависимости от степени деформации диаметр

прутка уменьшается, а длина - увеличивается. В результате деформации в прутке формируется УМЗ структура бимодального типа, состоящая из ультрамелких зерен α - и β -фаз со средним размером менее 0,5 мкм, и не более 30% зерен малодеформированной первичной α -фазы размером менее 8 мкм. Пруток нарезают на мерные заготовки заданной длины под штамповку лопаток. Затем мерные заготовки обтачивают до заданного диаметра. В случае массивной замковой части лопаток турбомашин мерная заготовка подвергается электровысадке головки токами высокой частоты. Затем заготовку и штамповую оснастку нагревают до температуры ниже на 200...300°C температуры полиморфного превращения. Штамповку проводят в изотермических условиях с последующим охлаждением до комнатной температуры. Полученные штампованные заготовки имеют УМЗ структуру бимодального типа, в которой 70% составляют равноосные ультрамелкие зерна α - и β -фаз размером менее (0,5-1) мкм с преимущественно высокоугловыми границами и 30% - зерна первичной α -фазы размером менее 8 мкм. Далее проводят стабилизирующий отжиг при температуре ниже температуры полиморфного превращения на 400...450°C в течение 2...6 часов с охлаждением на воздухе.

Пример конкретной реализации способа.

Реализация способа рассмотрена на примере лопатки компрессора ГТД из сплава ВТ8М-1.

Пруток ВТ8М-1 диаметром 70 мм и длиной 1000 мм подвергали термической обработке: нагрев до температуры 940°C в течение 1 часа с последующей закалкой в воду. Отжиг проводили при 700°C в течение 4 часов с охлаждением на воздухе. По результатам оптической микроскопии микроструктура прутка состояла из пластин α -фазы толщиной 0,12 мкм, разделенных β -фазными прослойками, и 30% зерен глобулярной первичной α -фазы со средним размером 3 мкм. Затем пруток подвергали ротационной ковке с предварительным подогревом в течение 20 минут при температуре 750°C. Диаметр прутка уменьшился с 70 до 32 мм, а длина увеличилась с 1 до 4 м (ϵ - приблизительно 1,7, скорость деформирования выше 300 мм с⁻¹). По результатам оптической и просвечивающей электронной микроскопии видно, что пластинчатая составляющая структуры практически полностью трансформируется в равноосную со средним размером зерен 0,25 мкм. При этом средний размер глобулярных зерен первичной α -фазы после пластической деформации составил около 3 мкм. Часть зерен были вытянуты вдоль направления деформации.

Далее прутки были нарезаны на мерные заготовки длиной 90 мм, которые были обточены до диаметра 30 мм. Из прутка длиной 4 м было получено 40 заготовок под штамповку. Данные заготовки подвергали холодной электровысадке для формообразования утолщенной головки под замковую часть лопатки. После этого осуществляли штамповку.

Полученную заготовку для обеспечения течения материала в штампе покрывали суспензией стеклоэмали, нагревали до температуры 740±20°C. Время нагрева в печи 20±5 минут. Далее заготовку клещами вынимали из печи и переносили в нагретый до температуры 740±10°C штамп, установленный на гидравлическом прессе с усилием 630 т.с. Штамповку осуществляли в изотермических условиях. После деформации заготовку вынимали из штампа и охлаждали до комнатной температуры, очищали от смазки. После калибровки и обрезки облоя осуществляли отжиг при температуре 550°C в течение 2 часов с охлаждением на воздухе.

Полученные заготовки были аттестованы по микроструктуре и механическим свойствам. Анализ структуры проводили методом просвечивающей электронной

микроскопии. Полученные штамповки имеют УМЗ структуру бимодального типа, в которой 70% составляют равноосные ультрамелкие зерна со средним размером 0,9 мкм с преимущественно высокоугловыми границами и 30% - зерна первичной α -фазы размером 3 мкм. По результатам механических испытаний на растяжение установлено, что предел прочности и относительное удлинение сплава составляли 1300 МПа и 14%, соответственно, а ударная вязкость K_{cv} равна 0,35 МДж/м². Такое сочетание прочности, пластичности и вязкости разрушения не достигается существующими технологиями и удовлетворяет требованиям к повышенным эксплуатационным свойствам лопаток турбомашин.

При этом установлено, что подготовка УМЗ структуры методом ротационной ковки в длинномерном прутке позволила одновременно получить 40 заготовок под штамповку лопаток, тогда как в соответствии с прототипом WO 2009102273 формирование УМЗ структуры проводили в каждой заготовке длиной 80 мм отдельно путем многократного деформирования в оснастке равноканального углового прессования. А в соответствии с аналогом (RU 2486275) штамповку проводили не менее чем за 4 этапа, при этом для каждого этапа требовалась индивидуальная оснастка.

Таким образом, предложенный способ штамповки заготовок из двухфазных титановых сплавов обеспечивает повышенные механические свойства (предел прочности, пластичность и вязкость разрушения), при этом одновременно снижает продолжительность и трудоемкость обработки по сравнению с вышеприведенными аналогами.

(57) Формула изобретения

1. Способ штамповки заготовок из двухфазных титановых сплавов, включающий предварительную пластическую деформацию заготовки для формирования ультрамелкозернистой структуры, последующую штамповку в изотермических условиях заготовки в штампе, которые нагревают до температуры, на 200...300°C ниже температуры полиморфного превращения материала заготовки, с последующим охлаждением заготовки до комнатной температуры, отличающийся тем, что перед предварительной пластической деформацией заготовку подвергают термической обработке для получения дуплексной структуры с объемной долей зерен первичной α -фазы не более 30%, при этом предварительную пластическую деформацию проводят высокоскоростной ротационной ковкой при температуре, на 200...300°C ниже температуры полиморфного превращения, с логарифмической степенью деформации не менее 1,5, с обеспечением ультрамелкозернистой структуры бимодального типа, а после штамповки осуществляют стабилизирующий отжиг заготовки при температуре, на 400...450°C ниже температуры полиморфного превращения, в течение 2...6 часов с охлаждением на воздухе.

2. Способ по п. 1, отличающийся тем, что штампуют заготовки для лопаток турбомашин, при этом после ротационной ковки проводят формирование головки под замковую часть лопатки методом электровысадки токами высокой частоты.