



(51) МПК  
*B23K 20/04* (2006.01)  
*B23K 103/18* (2006.01)  
*B32B 15/01* (2006.01)

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
 ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2015150934, 27.11.2015

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
 27.11.2015

Дата регистрации:  
 28.03.2017

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 27.11.2015

(45) Опубликовано: 28.03.2017 Бюл. № 10

Адрес для переписки:  
 119334, Москва, Ленинский пр., 49, ИМЕТ РАН

(72) Автор(ы):

Карелин Федор Романович (RU),  
 Трайно Александр Иванович (RU),  
 Юсупов Владимир Сабитович (RU),  
 Чопоров Виталий Федорович (RU),  
 Лазаренко Галина Юрьевна (RU),  
 Карелин Роман Дмитриевич (RU),  
 Кошкин Владимир Николаевич (RU),  
 Громов Александр Михайлович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное бюджетное  
 учреждение науки Институт металлургии и  
 материаловедения им. А.А. Байкова  
 Российской академии наук (ИМЕТ РАН)  
 (RU)

(56) Список документов, цитированных в отчете  
 о поиске: SU 349552 A, 04.09.1972. RU  
 2293026 C1, 10.02.2007. SU 935230 A,  
 15.06.1982. SU 132171 A, 1960. JP 2002066754  
 A, 05.03.2002.

(54) СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ ЛИСТОВОГО КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА СИСТЕМЫ  
 ТИТАН-АЛЮМИНИЙ

(57) Реферат:

Изобретение может быть использовано при получении листового композиционного материала системы титан-алюминий для изготовления деталей летательных аппаратов, в том числе подвергаемых повышенным тепловым нагрузкам. Способ включает получение слоистой заготовки в виде пакета и последующую ее прокатку. Слоистую заготовку получают сваркой пакета в твердой фазе в газозащитной среде путем прокатки при температуре 420-470°C с относительным обжатием 20-30%. Затем

заготовку подвергают многопроходной холодной прокатке до заданной толщины при относительном обжатии за проход 10-15% и с промежуточными отжигами при температуре не выше 500°C после достижения суммарной степени деформации более 35%. После чего проводят заключительную термическую обработку при температуре 500-800°C с выдержкой 1-4 ч. Технический результат состоит в повышении механических и функциональных свойств листового композиционного материала. 1 табл.

RU 2 614 511 C1

RU 2 614 511 C1



FEDERAL SERVICE  
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(51) Int. Cl.  
*B23K 20/04* (2006.01)  
*B23K 103/18* (2006.01)  
*B32B 15/01* (2006.01)

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(21)(22) Application: **2015150934, 27.11.2015**

(24) Effective date for property rights:  
**27.11.2015**

Registration date:  
**28.03.2017**

Priority:

(22) Date of filing: **27.11.2015**

(45) Date of publication: **28.03.2017** Bull. № 10

Mail address:  
**119334, Moskva, Leninskij pr., 49, IMET RAN**

(72) Inventor(s):

**Karelin Fedor Romanovich (RU),  
Trajno Aleksandr Ivanovich (RU),  
Yusupov Vladimir Sabitovich (RU),  
Choporov Vitalij Fedorovich (RU),  
Lazarenko Galina Yurevna (RU),  
Karelin Roman Dmitrievich (RU),  
Koshkin Vladimir Nikolaevich (RU),  
Gromov Aleksandr Mikhajlovich (RU)**

(73) Proprietor(s):

**Federalnoe gosudarstvennoe byudzhetnoe  
uchrezhdenie nauki Institut metallurgii i  
materialovedeniya im. A.A. Bajkova Rossijskoj  
akademii nauk (IMET RAN) (RU)**

(54) **PRODUCTION METHOD OF TITANIUM-ALUMINIUM SYSTEM COMPOSITE SHEET MATERIAL**

(57) Abstract:

FIELD: metallurgy.

SUBSTANCE: method includes layered billet production in the form of a package and its subsequent rolling. The layered billet is produced by package welding in a solid phase in gas protected medium by rolling at a temperature of 420-470 °C with 20-30% relative compression. Then, the billet is subjected to multipass cold rolling upto the specified thickness at a

relative compression 10-15% per pass and with interpass annealings at a temperature not higher than 500 °C after reaching the total degree of deformation more than 35%. Then a final heat treatment is carried out at a temperature of 500-800 °C with holding 1-4 hours.

EFFECT: mechanical and performance properties of the composite sheet material improving.

1 tbl

RU 2 614 511 C 1

RU 2 614 511 C 1

Изобретение относится к области металлургии легких сплавов и может быть использовано при получении материала для изготовления деталей летательных аппаратов, в том числе подвергаемых повышенным тепловым нагрузкам.

Известны способы получения металлических листовых материалов, включающие сборку многослойного пакета из пластин Ti и Al и последующее их соединение между собой посредством сварки взрывом. Полученный многослойный материал подвергают отжигу и производят его обжатие (Патент Российской Федерации №2463140, МПК В23К 20/08, В32В 7/04, В32В 15/01, 2012 г.; Патент Российской Федерации №2255849, МПК В23К 20/08, 2005 г.).

Недостатки известных способов состоят в сложности их реализации и низкой тепловой устойчивости получаемых изделий из легких сплавов.

Наиболее близким аналогом к предлагаемому изобретению является способ получения листового композиционного материала из легких сплавов, согласно которому осуществляют формирование пакета из титановой фольги, на верхнюю и нижнюю сторону каждого слоя которой предварительно наносят покрытие из порошка Al методом холодного газодинамического напыления, и осуществляют деформирование пакета при температуре и давлении, необходимых для получения интерметаллидного соединения (Патент Российской Федерации №2394665, МПК В22F 7/04, 2010 г.).

Недостаток известного способа состоит в том, что порошковый слой после завершения обработки сохраняет пористость, что снижает функциональные и технологические свойства листового композиционного материала и изделий из него.

Технический результат, решаемый изобретением, состоит в повышении механических и функциональных свойства листового композиционного материала.

Для решения поставленной технической задачи в известном способе получения листового композиционного материала системы титан-алюминий, включающем получение слоистой заготовки в виде пакета и последующую ее прокатку, согласно предложению слоистую заготовку получают сваркой в твердой фазе пакета, составленного из листов титана и алюминия, путем прокатки в газозащитной среде при температуре 420-470°C с относительным обжатием 20-30%, затем заготовку подвергают многопроходной холодной прокатке до заданной толщины при относительном обжатии за проход 10-15% и с промежуточными отжигами при температуре не выше 500°C после достижения суммарной степени деформации более 35%. После чего проводят заключительную термическую обработку при температуре 500-800°C с выдержкой 1-4 ч.

Сущность предлагаемого изобретения состоит в следующем. Материалы для несущих деталей летательных аппаратов должны сочетать низкую плотность, высокую механическую прочность и жаропрочность. Условиям низкой плотности в наиболее полной мере удовлетворяют легкие сплавы - композиционные слоистые материалы на основе титана и алюминия, приобретающие при термопластической обработке уникальный комплекс прочностных свойств. По этой причине сваренные в твердой фазе за счет взаимной диффузии и экзотермической реакции слои пластин из Al и Ti образуют материал с предельно высоким сочетанием низкой плотности и высокой прочности.

Экспериментально установлено, что наиболее высокий комплекс функциональных свойств достигается при получении слоистой заготовки при сварке в твердой фазе пакета в газозащитной среде путем прокатки при температуре 420-470°C с относительным обжатием 20-30%. При температуре ниже 420°C или относительном обжатии менее 20% прочность соединения слоев Ti и Al недостаточна, что ведет к

расслоению заготовки при последующей холодной прокатке. При температуре выше 470°C или относительном обжатии более 30% имеет место снижение пластических свойств слоистой заготовки в результате образования интерметаллидов в объеме заготовки и, естественно, дефектов в виде разрывов, что недопустимо.

5 Холодная прокатка слоистой заготовки с обжатием за проход менее 10% нерациональна, т.к. увеличивает требуемое число проходов, затраты на производство и снижает функциональные свойства композиционного материала. Повышение относительного обжатия за проход более 15% не исключает образование дефектов в виде разрывов, что недопустимо.

10 Экспериментально установлено, что после достижения суммарной степени деформации более 35% снижаются пластические свойства заготовки, что приводит к ухудшению функциональных свойств и выхода годного. Для восстановления технологической пластичности слоистого материала Ti-Al в процессе его холодной прокатки без образования дефектов в виде трещин и разрывов, как показал опыт,  
15 необходимы промежуточные отжиги. Но при этом, если температура промежуточного отжига будет выше 500°C, то в слоистом материале системы Ti-Al на границах слоев произойдет образование низкопластичных интерметаллических соединений. Это приведет к снижению выхода годного и ухудшению функциональных свойств композиционного материала.

20 Заключительная термическая обработка холоднокатаного листового композиционного материала конечной толщины системы Ti-Al при температуре 500-800°C с выдержкой 1-4 ч обеспечивает повышение его прочности и жаропрочности за счет формирования интерметаллических соединений.

При этом экспериментально установлено, что если температура заключительной  
25 термической обработки будет ниже 500°C или время выдержки составит менее 1 ч, то количества образующихся интерметаллидных соединений не достаточно для повышения функциональных свойств. В то же время, повышение температуры заключительной термообработки выше 800°C, как и выдержки более 4 ч, приводит к снижению пластических и вязкостных свойств композиционного материала, что недопустимо.

30 Примеры реализации способа

Для получения слоистого композита исходными материалами были выбраны технически чистые титан марки ВТ1-0 и алюминиевый сплав марки АД1. Для обеспечения стехиометрического состава  $\gamma$ -Ti-Al при высокотемпературной обработке слоистого материала были приняты различные соотношения толщин слоев алюминия  
35 и титана, а именно 1:1, 2:1, 1:2. Пакеты собирали из пластин размерами 0,1×40×120 мм по 30 слоев каждого материала.

Температурный режим прокатки пакетов был выбран из условий, с одной стороны, недопущения образования прочных и хрупких интерметаллидов на границе контакта слоев, резко снижающих деформируемость материала, и, с другой стороны, сохранения  
40 пластичности составляющих пакета. Такими температурными условиями, как показали эксперименты, является интервал температур прокатки  $t_{пр}=450-500^\circ\text{C}$ .

Для обеспечения сварки в твердой фазе титана и алюминия при выбранном температурном интервале экспериментально определено относительное обжатие  $\epsilon=25-30\%$  за проход. Прокатку проводили на вакуумном прокатном стане дуо 170.

45 Сваренный в вакууме пакет прокатывали на воздухе при температуре 450-500°C с относительным обжатием за проход  $\epsilon=8-10\%$  до конечной толщины 0,35 мм. Затем полосы разрезали на пластины длиной 120 мм и вновь собирали в пакеты, которые прокатали вначале в вакууме, а затем в воздушной атмосфере. В результате повторения

таких циклов в конечном итоге получили полосы толщиной 0,35 мм, состоящие из 4800 слоев. При этом толщина титановых слоев составляла 100-120 нм, а алюминиевых 80-90 нм.

Для образования интерметаллидов образцы полученных слоистых композиционных материалов подвергали нагреву до температур  $T_{то}$  равных 510, 590 и 810°C. В результате экзотермической реакции на границе раздела «титан-алюминий» образовались интерметаллические фазы. Рентгеноструктурный анализ показал, что при всех температурно-временных условиях образовались химические соединения типа  $Ti_3Al$ ,  $TiAl$  и  $TiAl_2$ .

Варианты реализации предложенного способа и показатели их эффективности приведены в таблице.

Таблица.

№ п/п	$t_{пр}$ , °C	$\varepsilon$ , %	$\varepsilon_{\Sigma}$ , %	$T_{отж}$ , °C	$T_{то}$ , °C	$\tau$ , ч	$\sigma_{в}$ , МПа	$\sigma_{т}$ , Мпа	$\delta_4$ , %	$\sigma_{дл}$ , Мпа
1.	410	9	19	450	490	0,9	385	320	31	275
2.	420	10	20	470	500	1,0	420	390	37	380
3.	445	12	25	490	650	2,5	430	390	38	380
4.	470	15	30	500	800	4,0	430	390	38	380
5.	480	17	32	510	810	4,1	410	300	33	300

Как следует из данных, представленных в таблице, при реализации предложенного способа (варианты №2-4) достигается повышение механических и функциональных свойств изделий из слоистого листового композиционного материала системы Ti-Al. При запредельных значениях заявленных параметров (варианты №1 и №4) механические и функциональные свойства слоистого материала ухудшаются. Также более низкие механические и функциональные свойства имели место при реализации известного способа (Патент Российской Федерации №2394665, МПК В22F 7/04, 2010 г.).

Технико-экономические преимущества предложенного способа получения листового композиционного материала системы титан-алюминий заключаются в том, что сварка в твердой фазе пакета в газозащитной среде прокаткой при температуре 420-470°C с суммарным относительным обжатием 20-30% обеспечивает формирование прочного бездефектного соединения. Это повышает технологическую пластичность слоистого материала при его дальнейшей холодной прокатке при обжатии за проход 10-15%.

Промежуточные отжиги при температуре не выше 500°C после достижения суммарной степени деформации более 35% снимают деформационный наклеп и восстанавливают высокую пластичность слоистого материала. Заключительная термическая обработка холоднокатаного слоистого материала при температуре 500-800°C со временем выдержки 1-4 ч приводит к образованию интерметаллических соединений различной морфологии, что повышает функциональные свойства и существенно повышает жаропрочность композиционного материала.

В качестве базового объекта принят известный способ (Патент РФ №2394665, МПК В22F 7/04, 2010). Использование предложенного способа обеспечивает возможность создания легких конструкций для полетов с высокими скоростями в плотных слоях

атмосферы.

(57) Формула изобретения

Способ получения листового композиционного материала системы титан-алюминий, включающий получение слоистой заготовки в виде пакета и последующую ее прокатку, отличающийся тем, что слоистую заготовку получают сваркой в твердой фазе пакета в газозащитной среде путем прокатки при температуре 420-470°C с относительным обжатием 20-30%, затем заготовку подвергают многопроходной холодной прокатке до заданной толщины при относительном обжатии за проход 10-15% и с промежуточными отжигами при температуре не выше 500°C после достижения суммарной степени деформации более 35%, после чего проводят заключительную термическую обработку при температуре 500-800°C с выдержкой 1-4 ч.

15

20

25

30

35

40

45