



(51) МПК

C22F 1/04 (2006.01)*C22C 21/08* (2006.01)*C22C 21/16* (2006.01)*C22C 21/10* (2006.01)

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ,
ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21), (22) Заявка: 2006118354/02, 29.10.2004

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
29.10.2004(30) Конвенционный приоритет:
29.10.2003 EP 03078410.2

(43) Дата публикации заявки: 10.12.2007

(45) Опубликовано: 10.06.2008 Бюл. № 16

(56) Список документов, цитированных в отчете о
поиске: SU 1803467 A1, 23.03.1993. SU 952998
A, 23.08.1982. RU 1237082 A3, 07.06.1986. WO
9629440 A, 26.09.1996. JP 01-208438 A,
22.08.1989. WO 9837251 A, 27.08.1998.(85) Дата перевода заявки РСТ на национальную фазу:
29.05.2006(86) Заявка РСТ:
EP 2004/012353 (29.10.2004)(87) Публикация РСТ:
WO 2005/049878 (02.06.2005)

Адрес для переписки:
129010, Москва, ул. Б. Спасская, 25, стр.3,
ООО "Юридическая фирма Городисский и
Партнеры", пат.пов. Ю.Д.Кузнецову, рег.№ 595

(72) Автор(ы):

БЕНЕДИКТУС Ринзе (NL),
КАЙДЕЛЬ Кристиан Йоахим (DE),
ХАЙНЦ Альфред Людвиг (DE),
ХАСЦЛЕР Альфред Йоханн Петер (DE),
ВЕБЕР Гвидо (DE)

(73) Патентообладатель(и):

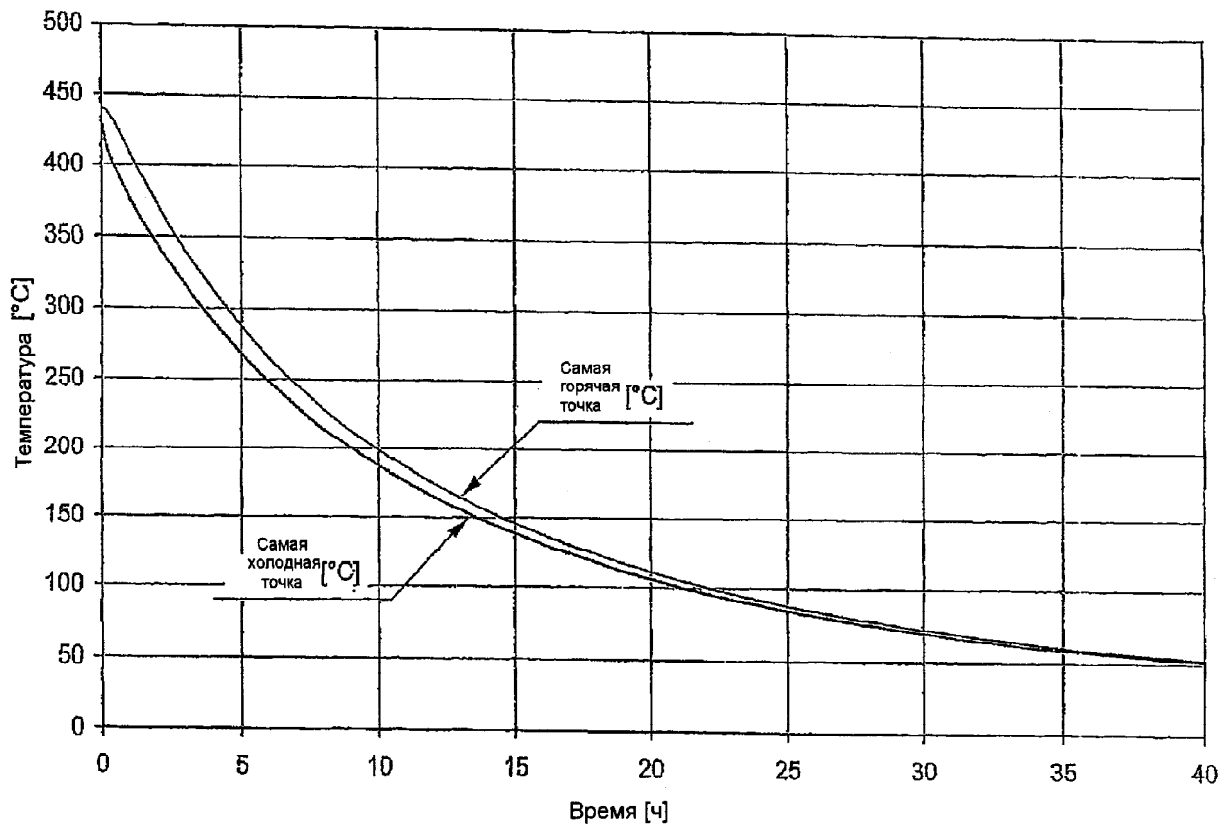
АЛЕРИС АЛЮМИНИУМ КОБЛЕНЦ ГМБХ (DE)

(54) СПОСОБ ПРОИЗВОДСТВА ВЫСОКОУСТОЙЧИВОГО К ПОВРЕЖДЕНИЯМ АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА

(57) Реферат:

Изобретение относится к производству изделий из высокоустойчивого к повреждениям алюминиевого катаного сплава. Способ включает литье слитка, имеющего состав, выбранный из группы, состоящей из сплавов серий AA2000, AA5000, AA6000 и AA7000, гомогенизацию и/или подогрев слитка после литья, горячую прокатку слитка в горячекатаное изделие и, необязательно, холодную прокатку горячекатаного изделия в холоднокатаное изделие. После горячей прокатки горячекатаное изделие охлаждают от температуры выхода из стана горячей прокатки ($T_{\text{вых}}$) до 150°C

или ниже с регулируемой скоростью охлаждения, понижающейся в пределах заданного диапазона в соответствии с кривой непрерывного охлаждения, определяемой по следующему выражению: $T(t) = 50 - (50 - T_{\text{вых}})e^{-\alpha \cdot t}$, где $T(t)$ - температура охлаждения (°C) как функция от времени охлаждения (час), t - время охлаждения (час) и α - параметр, определяющий скорость охлаждения и находящийся в диапазоне $-0,09 \pm 0,05$ (час⁻¹). Получают изделия, имеющие улучшенные ударную вязкость, сопротивление росту усталостных трещин и коррозионную стойкость при сохранении прочности. 2 н. и 17 з.п. ф-лы, 7 табл., 1 ил.





FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY,
PATENTS AND TRADEMARKS

(51) Int. Cl.

C22F 1/04 (2006.01)**C22C 21/08** (2006.01)**C22C 21/16** (2006.01)**C22C 21/10** (2006.01)(12) **ABSTRACT OF INVENTION**(21), (22) Application: **2006118354/02, 29.10.2004**(24) Effective date for property rights: **29.10.2004**(30) Priority:
29.10.2003 EP 03078410.2(43) Application published: **10.12.2007**(45) Date of publication: **10.06.2008 Bull. 16**(85) Commencement of national phase: **29.05.2006**(86) PCT application:
EP 2004/012353 (29.10.2004)(87) PCT publication:
WO 2005/049878 (02.06.2005)

Mail address:
**129010, Moskva, ul. B. Spasskaja, 25, str.3,
OOO "Juridicheskaja firma Gorodisskij i
Partnery", pat.pov. Ju.D.Kuznetsovu, reg.№ 595**

(72) Inventor(s):

**BENEDIKTUS Rinze (NL),
KAJDEL' Kristian Joakhim (DE),
KhAJNTs Al'fred Ljudvig (DE),
KhASTsLER Al'fred Jokhann Peter (DE),
VEBER Gvido (DE)**

(73) Proprietor(s):

ALERIS ALJUMINIUM KOBLENTs GMBKh (DE)

(54) **METHOD OF MANUFACTURE OF ALUMINIUM ALLOY HIGHLY RESISTANT TO DAMAGE**

(57) Abstract:

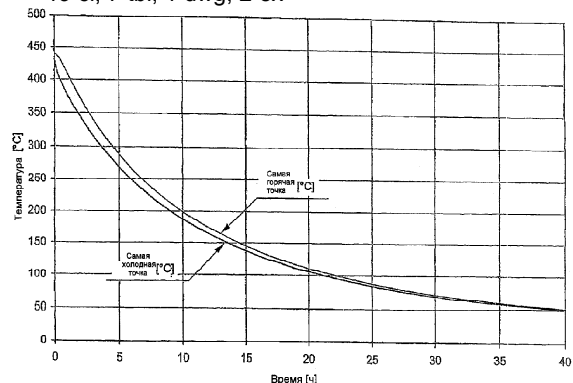
FIELD: metallurgy.

SUBSTANCE: said utility invention relates to the manufacture of products of a rolled aluminium alloy highly resistant to damage. The method involves casting an ingot with a chemical composition selected from the group consisting of AA2000, AA5000, AA6000, and AA7000 alloys, homogenisation and/or heating of the ingot after casting, hot rolling of the ingot into a hot-rolled product and, optionally, cold rolling of the hot-rolled product into a cold-rolled product. After the hot rolling, the hot-rolled product is cooled from the hot-rolling mill output temperature (T_{out}) to 150°C or lower, at a controlled cooling rate decreasing within the set range according to a continuous cooling curve determined using the following expression: $T(t) = 50 - (50 - T_{out})e^{-\alpha t}$, where $T(t)$ is the cooling temperature (°C) as a function of the cooling time

(hours), t is the cooling time (hours), and α is a parameter determining the cooling rate, within a range of -0.09 ± 0.05 (hr^{-1}).

EFFECT: enhanced impact strength; resistance to growth of fatigue cracks, and corrosion resistance without strength deterioration.

19 cl, 7 tbl, 1 dwg, 2 ex



Настоящее изобретение относится к способу производства высокоустойчивого к повреждениям алюминиевого катаного сплава, имеющего хорошую ударную вязкость и улучшенное сопротивление росту усталостных трещин при сохранении хороших уровней прочности, и к тонколистовому или толстолистовому изделию из алюминиевого сплава, имеющему такую высокую ударную вязкость и улучшенное сопротивление росту усталостных трещин. Кроме того, изобретение относится к применению изделия из алюминиевого сплава, полученного способом согласно настоящему изобретению.

В данной области техники известно использование термообрабатываемых алюминиевых сплавов в ряде применений, требующих относительно высокой прочности, таких как фюзеляжи воздушных летательных аппаратов, детали транспортных средств и другие виды применения. Хорошо известными термообрабатываемыми алюминиевыми сплавами являются алюминиевые сплавы AA2024, AA2324 и AA2524, которые имеют полезные прочностные и вязкостные свойства в состояниях T3, T39 и T351. К тому же, хорошо известными термообрабатываемыми алюминиевыми сплавами являются алюминиевые сплавы AA6013 и AA6056, которые имеют полезные прочностные и вязкостные свойства, а также хорошее сопротивление росту усталостных трещин в обоих состояниях T4 и T6.

Известно, что состояние T4 сплава относится к состоянию после термической обработки на твердый раствор и закалки, с последующим естественным старением до по существу стабильного уровня свойств, в то время как состояния T6 относятся к состоянию с большей прочностью, получаемому путем искусственного старения.

Некоторые другие сплавы серий AA2000 и AA6000 являются обычно неподходящими для конструирования коммерческого (гражданского) воздушного летательного аппарата, который требует различных наборов свойств для различных типов конструкций. В зависимости от критериев конструирования для конкретного конструктивного элемента самолета даже небольшие улучшения ударной вязкости и сопротивления росту трещин, особенно для высоких значений ΔK , вызывают снижения массы, которые переводятся в экономию горючего в течение всего срока службы воздушного летательного аппарата и/или в больший уровень безопасности. Особенно необходимо иметь такие свойства как хорошее сопротивление распространению трещин либо в форме вязкости разрушения (трещиностойкости), либо сопротивления росту усталостных трещин, в случае обшивки фюзеляжа или нижней обшивки крыла. Катаное изделие из алюминиевого сплава, используемое либо в виде тонкого листа, либо в виде толстого листа, с улучшенными свойствами устойчивости к повреждениям повысит безопасность пассажиров, уменьшит массу воздушного летательного аппарата и приведет в результате к большей дальности полета, более низким затратам и менее частым интервалам между циклами технического обслуживания.

В US-5213639 раскрыт способ производства алюминиевого сплава из серии AA2000 сплавов на основе алюминия, который прокатывают в горячем состоянии, нагревают и опять прокатывают в горячем состоянии, таким образом получая хорошие комбинации прочности вместе с высокой вязкостью разрушения и низкой скоростью роста усталостных трещин. Раскрыто, что применяют обработку промежуточным отжигом после горячей прокатки отлитого слитка с температурой между 479 и 524°C и опять горячую прокатку подвергнутого промежуточному отжигу сплава. Сообщается, что такой сплав имеет 5%-ое улучшение, по сравнению с обычными сплавами серии AA2024, в продольно-поперечной вязкости разрушения и улучшенное сопротивление росту усталостных трещин при определенных уровнях ΔK .

Сообщалось, что известный сплав AA6056 является чувствительным к межкристаллитной коррозии в состоянии T6. Для того чтобы преодолеть эту проблему в US-5858134, предлагается способ производства катаных или штампованных изделий, имеющих заданный химический состав, в соответствии с которым изделия доводят до перестаренного состояния, требующего от производителя используемых в авиационно-космической промышленности конструктивных элементов продолжительных процедур обработки, расходующих в конечном итоге время и деньги. Здесь же сообщается, что для

получения улучшенного сопротивления межкристаллитной коррозии существенным в данном способе является то, чтобы соотношение Mg/Si в сплаве составляло менее 1.

В US-4589932 раскрыто изделие из деформируемого алюминиевого сплава, например, для автомобильных и аэрокосмических конструкций, который был впоследствии
5 зарегистрирован под маркой AA6013. Такой алюминиевый сплав подвергали термообработке на твердый раствор при температуре в диапазоне от 449 до 582°C, приближающейся к температуре солидуса этого сплава.

В EP-A-1143027 раскрыт способ производства Al-Mg-Si сплава серии AA6000, имеющего заданный химический состав, и при этом изделия подвергают процедуре искусственного
10 старения для улучшения сплава и обеспечения соответствия характеристикам высокой устойчивости к повреждениям ("HDT", от англ. high damage tolerance), сходным с этими характеристиками у сплавов серии AA2024, которые, предпочтительно, используют для авиационных применений, но которые являются несвариваемыми. Процедуру старения оптимизируют, используя соответствующую функцию от состава.

В EP-1170394-A2 раскрыто тонколистовое изделие из алюминиевого сплава с улучшенным сопротивлением росту усталостных трещин, имеющее анизотропную
15 микроструктуру, характеризуемую зернами со средним отношением длины к ширине более примерно 4. Такой сплав демонстрирует улучшение свойства предела текучести при сжатии, которое достигнуто соответствующими тонколистовыми изделиями по сравнению с
20 обычными тонколистовыми изделиями из сплава AA2524. Сопротивление росту усталостных трещин могло быть улучшено по всей высокоанизотропной зернистой структуре.

В WO-97/22724 раскрыты способ и устройства для производства тонколистового изделия из алюминиевого сплава, в типичном случае - для применения в автомобилях, с
25 улучшенным пределом текучести путем непрерывного и быстрого нагрева горячекатаного и холоднокатаного тонкого листа, который был подвергнут термообработке на твердый раствор и закалке, до температуры предварительного старения перед стадией непрерывного свертывания в рулон. После быстрого нагрева этот лист в форме рулона подвергают охлаждению в окружающей среде, при этом быстрый нагрев и охлаждение в
30 окружающей среде улучшают упрочняющий отклик листа из алюминиевого сплава на горячую сушку лакокрасочного покрытия (от англ. «paintbake response»). Раскрыто, что является предпочтительным быстро нагревать свернутый в рулон лист до температуры от 65 до 121°C и выбирать скорость охлаждения в окружающей среде, которая, предпочтительно, должна быть между 1,1°C/час и 3,3°C/час.

Задача настоящего изобретения заключается в том, чтобы предложить способ
35 производства изделия из алюминиевого сплава, имеющего улучшенную ударную вязкость и улучшенное сопротивление росту усталостных трещин, тем самым сохраняя уровни прочности обычных сплавов серий AA2000, AA6000, AA5000 или AA7000. Более конкретно, задача настоящего изобретения заключается в том, чтобы предложить улучшенный способ
40 производства высокоустойчивых к повреждениям (HDT) алюминиевых сплавов со сбалансированными свойствами в отношении сопротивления росту усталостных трещин, ударной вязкости, коррозионной стойкости и прочности. HDT-свойства, предпочтительно, должны быть лучше, чем эти же свойства у обычно производимых сплавов AA6013-T6, 6056-T6, а предпочтительно лучше, чем у сплавов AA2024-T3 или AA2524-T3.

Более конкретно, общим требованием для катаных алюминиевых сплавов серии AA6000, предпочтительно - в диапазоне алюминиевых сплавов серий AA6013 и AA6056, при использовании для авиационно-космических применений является то, что скорость
45 роста усталостных трещин ("FCGR", от англ. fatigue crack growth rate) не должна быть более определенного максимума. FCGR, которая удовлетворяет требованиям к
50 высокоустойчивым к повреждениям изделиям из алюминиевых сплавов серии 2024, является, например, FCGR ниже 0,001 мм/цикл при $\Delta K=20$ МПа $\sqrt{м}$ и 0,01 мм/цикл при $\Delta K=40$ МПа $\sqrt{м}$.

Еще одна дополнительная задача настоящего изобретения заключается в том, чтобы

предложить катаное изделие (продукт) из алюминиевого сплава для использования в авиационной промышленности при изготовлении конструктивных элементов и деталей, а также предложить материал обшивки воздушного летательного аппарата, полученный из такого сплава, или предложить комплектующую деталь транспортного средства.

5 Настоящее изобретение решает одну или более из вышеуказанных задач посредством признаков независимых пунктов формулы изобретения.

В одном аспекте настоящего изобретения предлагается способ производства высокоустойчивого к повреждениям алюминиевого сплава, имеющего высокую ударную вязкость и улучшенное сопротивление росту усталостных трещин, включающий в себя

10 стадии:

а) литья слитка, имеющего состав, выбранный из группы, состоящей из сплавов серий AA2000, AA5000, AA6000 и AA7000;

b) гомогенизации и/или подогрева слитка после литья;

15 c) горячей прокатки слитка в холоднокатаное изделие и, необязательно, дополнительной холодной прокатки горячекатаного изделия в холоднокатаное изделие, отличающийся тем, что горячекатаное изделие покидает стан горячей прокатки при температуре выхода из стана горячей прокатки ($T_{\text{Вых}}$) и охлаждения горячекатаного изделия от упомянутой $T_{\text{Вых}}$ до 150°C с регулируемым циклом охлаждения со скоростью охлаждения, понижающейся в пределах диапазона, определяемого по:

20
$$T(t)=50-(50-T_{\text{Вых}})e^{\alpha \cdot t},$$

где $T(t)$ представляет собой температуру ($^{\circ}\text{C}$) как функцию от времени (выраженного в часах), t представляет собой время (выраженное в часах) и α (выраженный в час^{-1}) представляет собой параметр, определяющий скорость охлаждения и находящийся в

25 диапазоне $-0,09 \pm 0,05$ (час^{-1}), а более предпочтительно - в диапазоне $-0,09 \pm 0,03$ (час^{-1}).

Было обнаружено, что ниже температуры в 150°C скорость охлаждения уже не является значимой для достижения одного или более из преимуществ, обнаруженных согласно настоящему изобретению.

30 Хотя известные из уровня техники технологии приучили специалистов отливать слиток и подвергать его горячей прокатке для получения тонколистового или толстолистового изделия, причем этот слиток необязательно подогревают или гомогенизируют перед горячей прокаткой, горячекатаное изделие довольно быстро теряло свою повышенную температуру, в результате чего ухудшались эксплуатационные характеристики этого изделия. В соответствии с настоящим изобретением было обнаружено, что путем

35 выдерживания горячекатаного изделия при повышенной температуре в течение заданного времени, подвергая его регулируемому циклу охлаждения, могут быть улучшены свойства устойчивости такого катаного изделия к повреждениям, такие как ударная вязкость и сопротивление росту трещин.

40 При практическом производстве в промышленном масштабе обычные температуры выхода из стана горячей прокатки находятся в диапазоне от 350 до 500°C и зависят от сплава; например для сплавов серии AA6xxx температура выхода будет находиться в верхней части этого диапазона примерно от 420 до 500°C , тогда как для сплавов серий AA2xxx и AA7xxx она будет находиться в нижней части этого диапазона примерно от 350 до 425°C .

45 Дополнительная холодная прокатка охлажденного горячекатаного изделия в форме рулона является необязательной. Холодная прокатка может быть прямой или поперечной прокаткой. Дополнительные стадии промежуточного отжига перед, во время или после холодной прокатки являются также необязательными.

50 К тому же можно подвергнуть горячекатаное изделие свертыванию (намотке) с получением рулонной формы и, таким образом, достичь регулируемой скорости охлаждения до тех пор, пока изделие не охладится до комнатной температуры. Далее, можно разрезать рулон на заготовки, которые подвергают затем дополнительной холодной прокатке. Материал, который производили по этому предложенному в изобретении

технологическому маршруту, демонстрировал лучший баланс свойств, чем баланс свойств у горячекатаных изделий, которые были разрезаны на заготовки во время или после горячей прокатки без свертывания в рулон (стандартный маршрут толстого листа (пластины)), или у тех изделий, которые были свернуты в рулон после холодной прокатки (стандартный маршрут тонкого листа).

Вторым вариантом подвергания горячекатаного изделия регулируемому циклу охлаждения является стадия непрерывного перемещения сплава через печь после горячей прокатки, причем эта печь является регулируемой по подаче тепла и/или холода к сплаву во время прохождения к местоположению его холодной прокатки или к месту свертывания в рулон.

В дополнительном альтернативном варианте катаное изделие сначала подвергают горячей прокатке до желательной толщины, а затем охлаждают до комнатной температуры с использованием обычного охлаждения. После этого охлажденное горячекатаное изделие повторно нагревают до температуры выхода из стана горячей прокатки, а затем дают ему возможность охладиться до температуры ниже 150°C, используя регулируемый цикл охлаждения согласно изобретению, с последующей дополнительной обработкой.

В зависимости от того, производят ли тонкие или толстые листы, горячекатаное изделие либо подают в упомянутую печь после горячей прокатки, либо сворачивают в рулон после горячей прокатки, при этом дополнительную обработку выполняют на рулонах (маршрут тонкого листа). Если изделие разрезают на пластины во время или после горячей прокатки, то дополнительную обработку выполняют на полученных таким образом пластинах.

Печь, предпочтительно, является регулируемой для подачи различных количеств тепла рядом с местом горячей прокатки и других количеств тепла - на большем расстоянии от места горячей прокатки, в зависимости от скорости охлаждения, толщины и других размеров горячекатаного изделия, покидающего место горячей прокатки.

Когда горячекатаное изделие подвергают регулируемому циклу охлаждения при свертывании в рулон, после горячей прокатки сплав можно свернуть в соответствующей печи, причем в этом случае упомянутая печь, предпочтительно, также является регулируемой по подаче тепла для регулирования цикла охлаждения.

В одном варианте осуществления горячекатаное изделие при покидании стана горячей прокатки при температуре выхода из стана горячей прокатки имеет толщину в диапазоне вплоть до 12 мм, предпочтительно - в диапазоне от 1 до 10 мм, а наиболее предпочтительно - в диапазоне от 4 до 8 мм.

В тех случаях, когда катаное изделие следует дополнительно подвергнуть операции холодной прокатки, является предпочтительным, чтобы суммарное обжатие в холодном состоянии составляло в диапазоне от 40 до 70% для дальнейшей оптимизации механических свойств. Окончательная толщина катаного изделия из алюминиевого сплава, предпочтительно, находится в диапазоне от примерно 2 до 7 мм.

Способ в соответствии с настоящим изобретением может дополнительно включать в себя одну или более из следующих стадий:

(d) термическая обработка на твердый раствор горячекатаного изделия после того, как оно было подвергнуто регулируемому циклу охлаждения, или холоднокатаного изделия при температуре и в течение времени, достаточных для перевода в твердый раствор растворимых компонентов в этом сплаве;

(e) закалка термообработанного на твердый раствор изделия из алюминиевого сплава путем закалки при оросительном охлаждении или закалки погружением в воду или другие закалочные среды;

(f) необязательное растяжение или сжатие закаленного изделия из алюминиевого сплава или холодная деформационная обработка для снятия напряжений иным образом, например выравниванием тонколистовых изделий;

(g) необязательное старение закаленного и необязательно растянутого или сжатого изделия из алюминиевого сплава до достижения желательного состояния, которое зависит

от химического состава сплава, но включает в себя состояния Т3, Т351, Т6, Т4, Т74, Т76, Т751, Т7451, Т7651, Т77, Т79.

К тому же, можно отжечь и/или подогреть горячекатаный слиток после первой операции горячей прокатки, а затем за охлаждением согласно изобретению опять следует горячая прокатка изделия до окончательной толщины после горячей прокатки. Кроме того, можно осуществить промежуточный отжиг горячекатаного изделия до и/или во время холодной прокатки. Эти технологии, которые известны из уровня техники, могут быть с выгодой использованы в способе согласно настоящему изобретению.

Средняя скорость охлаждения при использовании регулируемого цикла охлаждения согласно изобретению составляет в диапазоне от 12 до 20°C/час.

В одном варианте осуществления настоящего изобретения отлитый слиток для технологического маршрута по раскрытому здесь способу имеет следующий состав (в мас.%): Si 0,6-1,3; Cu 0,04-1,1; Mn 0,1-0,9; Mg 0,4-1,3; Fe 0,01-0,3; Zr<0,25; Cr<0,25; Zn<0,6; Ti<0,15; V<0,25; Hf<0,25, другие элементы, в частности примеси, менее 0,05 каждого и менее 0,20 в сумме, остальное - алюминий; а более предпочтительно - сплавы в композиционном диапазоне AA6013 или AA6056.

В другом варианте осуществления настоящего изобретения используется слиток, имеющий следующий состав (в мас.%): Cu 3,8-5,2; Mg 0,2-1,6; Cr<0,25; Zr<0,25, а предпочтительно 0,06 -0,18; Mn≤0,50 и Mn>0, а предпочтительно>0,15; Fe≤0,15; Si≤0,15; и Mn-содержащие дисперсоиды; и случайные элементы, и примеси, менее 0,05 каждого и менее 0,15 в сумме, а остальное - по существу алюминий, а предпочтительно - тот, где Mn-содержащие дисперсоиды, по меньшей мере, частично замещены Zr-содержащими дисперсоидами.

Согласно другому варианту осуществления настоящего изобретения в способе используется слиток, имеющий следующий состав (в мас.%): Zn 5,0-9,5; Cu 1,0-3,0; Mg 1,0-3,0; Mn<0,35; Zr<0,25, а предпочтительно 0,06-0,16; Cr<0,25; Fe<0,25; Si<0,25; Sc<0,35; Ti<0,10; Hf и/или V<0,25; другие элементы, обычно примеси, менее 0,05 каждого и менее 0,15 в сумме, остальное - алюминий. Типичными примерами являются сплавы в пределах диапазона, соответствующего AA7040, AA7050 и AA7x75.

Согласно другому аспекту настоящего изобретения предложено тонколистовое или толстолистовое изделие из алюминиевого сплава, которое имеет высокую ударную вязкость и улучшенное сопротивление росту усталостных трещин и которое выполнено из изделия из алюминиевого сплава, произведенного согласно способу, который был описан выше и который будет описан более подробно ниже. Более конкретно, настоящее изобретение наиболее пригодно для производства тонколистового катаного изделия из алюминиевого сплава, которое является конструктивным элементом воздушного летательного аппарата (самолета) или транспортного средства (автомобиля). Такое тонколистовое катаное изделие из алюминиевого сплава может быть использовано, например, в качестве обшивки фюзеляжа воздушного летательного аппарата или комплектующей детали транспортного средства.

Вышеупомянутые и другие признаки и преимущества способа и изделий из алюминиевых сплавов согласно настоящему изобретению станут более очевидны из нижеследующего подробного описания предпочтительных вариантов осуществления и чертежа, который представляет собой типичную кривую охлаждения алюминиевого сплава, охлаждаемого после горячей прокатки с использованием способа согласно этому изобретению.

Примеры

Пример 1

В первом предпочтительном варианте осуществления настоящего изобретения два обычных сплава (AA6013 и AA6056) были отлиты и обработаны в тонколистовое изделие. Здесь были использованы два варианта обработки:

Маршрут 1. Был использован стандартный технологический маршрут на лабораторно отлитых слитках с составами обычных сплавов AA6013 и AA60156. Были выпилены блоки

размерами 80×80×100 мм, гомогенизированы, подогреты и подвергнуты горячей прокатке до тонкого листа толщиной в 4,5 мм. После горячей прокатки горячекатаные изделия были обычным образом охлаждены до температуры окружающей среды с помощью того, что тонкому листу дали возможность охладиться в окружающей воздушной атмосфере до комнатной температуры, поданы к месту холодной прокатки, подвергнуты холодной прокатке до толщины 2 мм и термообработаны в течение 20 мин при 550°С, после этого закалены и состарены до состояния Т6 в течение 4 часов при 190°С.

Маршрут 2. Слитки с составами обычных сплавов АА6013 и АА6056 были лабораторно отлиты и распилены до размеров 80×80×100 мм. Эти блоки были гомогенизированы, подогреты и подвергнуты горячей прокатке до толщины 4,5 мм. Имитация свертывания в рулон в горячем состоянии в промышленном масштабе была введена путем придания горячекатаному изделию такой же термической истории, какую имел бы рулон в полномасштабном серийном производстве. Другие технологические стадии были соблюдены такими же, как в Маршруте 1. После холодной прокатки холоднокатаное изделие было термообработано при 550°С в течение 20 мин, закалено и впоследствии состарено до состояния Т6 при 190°С в течение 4 часов. Результаты представлены в Таблице 1.

№	Сплав	Маршрут	Температура выхода из горячей прокатки (°С)	R _p (МПа)	R _m (МПа)	TS/R _p	Глубина IGP (мкм)	Тип IGP
1	6013	2	490	354	390	1,75	101	P(i)
2		1	490	344	381	1,72	118	I
3		2	450	345	385	1,73	97	I
4		1	450	337	377	1,63	108	I
5	6056	2	490	347	386	1,85	112	I
6		1	490	349	388	1,79	177	I+
7		2	450	328	372	1,75	103	P(i)
8		1	450	331	375	1,70	143	I

Из Таблицы 1 можно видеть, что катаные изделия демонстрировали лучшую ударную вязкость образца с надрезом при более высоких температурах выхода из горячей прокатки при сохранении хороших уровней предела текучести при растяжении и предела прочности при растяжении. К тому же, имеется улучшение по межкристаллитной коррозии, так что было проведено дополнительное испытание в отношении сопротивления росту усталостных трещин (Таблица 2).

Сплав	Маршрут	Температура выхода из горячей прокатки (°С)	FCGR ΔK=30 МПа √м	FCGR ΔK=40 МПа √м
6013	2	490	1,83E-03	5,26E-03
	1	490	1,84E-03	8,88E-03
6056	2	490	1,62E-03	3,32E-03
	1	490	1,66E-03	4,89E-03

Хотя сопротивление росту усталостных трещин, произведенных согласно изобретению изделий, является почти идентичным сопротивлению росту усталостных трещин изделия, произведенного в соответствии со стандартным технологическим маршрутом, при более низких значениях ΔK, сопротивление росту усталостных трещин является улучшенным при более высоких значениях ΔK.

В соответствии с другим предпочтительным вариантом осуществления настоящего изобретения был произведен высокоустойчивый к повреждениям сплав с низким содержанием меди состава серии АА6000 в условиях полномасштабного опытного производства. Состав представлен в Таблице 3.

Таблица 3.					
Состав высокоустойчивого к повреждениям тонколистового изделия из сплава серии AA6000 в мас.%, остальное - алюминий и неизбежные примеси.					
Si	Fe	Cu	Mg	Mn	Zn
1,14	0,18	0,32	0,70	0,71	0,08

5

Сплав был обработан до тонколистового изделия с толщиной после горячей прокатки в 4,5 мм. Затем были применены следующие три варианта обработки:

Маршрут 1. Стандартный технологический маршрут (После горячей прокатки нет стадии свертывания в рулон).

10

Маршрут 2. Предложенный в изобретении технологический маршрут со свертыванием в рулон после горячей прокатки и горячей и холодной прокаткой в одном и том же направлении.

Маршрут 3. Предложенный в изобретении технологический маршрут со сворачиванием в рулон после горячей прокатки и горячей и холодной прокаткой в отличающихся

15

направлениях (поперечная прокатка).

Все три вышеуказанных варианта обработки были применены к следующему общему технологическому маршруту:

a. Бесслитковое литье слитков из сплава состава в соответствии с Таблицей 3.

b. Гомогенизация отлитых слитков.

20

c. Подогрев гомогенизированных слитков в течение 6 часов при 510°C и потом горячая прокатка подогретых слитков, приводящая к тому, что температура выхода составляет примерно 450°C при толщине 4,5 мм.

d1. Нет свертывания в рулон (=Маршрут 1).

d2. Свертывание в рулон, охлаждение и разрезание на толстые листы (пластины) (=

25

Маршрут 2).

d3. Свертывание в рулон, охлаждение и разрезание на пластины (=Маршрут 3).

e1. Холодная прокатка до окончательной толщины в 2 мм (Маршрут 1).

e2. Холодная прокатка в том же направлении, что и горячая прокатка, до

окончательной толщины в 2 мм (Маршрут 2).

30

e3. Холодная прокатка в направлении, отличающемся от горячей прокатки (поперечная прокатка), до окончательной толщины в 2 мм (Маршрут 3).

f. Термическая обработка в течение 2 часов при 550°C.

g. Растяжение холоднокатаного изделия на 1,5-2,5%.

h. Старение до состояния T6 при 190°C в течение 4 часов.

35

Таблица 4.						
Обзор прочности (R_p , R_m) с использованием малого европейского стандарта, ударной вязкости образца с надрезом (TS/Rp), межкристаллитной коррозии (IGC) готового изделия из алюминиевого сплава в соответствии с Таблицей 3 с использованием трех описанных выше технологических маршрутов 1, 2 и 3.						
Маршрут	R_p (МПа)	R_m (МПа)	R_p (МПа)	R_m (МПа)	TS/Rp -	Глубина IGC (мкм)
	Продольное направление		Поперечное направление		Поперечно-продольное направление	
1	334	346	322	344	1,51	62
2	329	344	321	341	1,60	48
3	333	344	326	347	1,58	49

40

Наряду с тем, что уровни прочности смогли быть сохранены, катаные изделия, которые были произведены в соответствии с технологическими маршрутами 2 и 3, показали лучшую ударную вязкость образца с надрезом и лучшие характеристики межкристаллитной коррозии. Также было измерено сопротивление росту усталостных трещин и представлено в Таблицах 5 и 6.

45

50

Таблица 5.			
Сопротивление росту усталостных трещин в мм/цикл для 5 различных значений ΔK для изделий, произведенных в соответствии с описанными выше технологическими маршрутами 1, 2 и 3.			
ΔK (МПа $\sqrt{м}$)	Маршрут 1	Маршрут 2	Маршрут 3
10	1,52E-04	1,71E-04	1,78E-04
20	1,43E-03	8,58E-04	1,26E-03

30	6,14E-03	3,38E-03	5,17E-03
40	1,70E-02	9,54E-03	--
50	3,73E-02	1,85E-02	--

5

ΔK (МПа√м)	Маршрут 1	Маршрут 2	Маршрут 3
10	100%	113%	117%
20	100%	60%	88%
30	100%	55%	84%
40	100%	56%	--
50	100%	50%	--

10

Приведенные выше примеры показывают, что свойства устойчивости к повреждениям у тонколистовых или толстолистовых изделий могут быть улучшены путем использования предложенного в настоящем изобретении способа, и что сопротивление росту усталостных трещин может быть особенно улучшено для более высоких значений ΔK.

15

Пример 2

Фигура 1 показывает типичную кривую непрерывного охлаждения для алюминиевого сплава AA7050 при охлаждении от температуры выхода из стана горячей прокатки в 440°C до температуры ниже 150°C, при этом металлический лист имеет толщину 4,5 мм и сматывается в рулон непосредственно при покидании стана горячей прокатки в соответствии с одним вариантом осуществления способа по этому изобретению. Ширина рулона была 1,4 метра. Температуры рулона как функция от времени также приведены в Таблице 7 для самой горячей точки рулона (находится в центре и указана на фигуре 1 как «Самая горячая точка» (hottest spot)) и самой холодной точки (находится на краю рулона и указана как «Самая холодная точка» (coldest spot) на Фигуре 1). В Таблице 7 приведены также температуры в случае рулона шириной 2,8 метра. В случае показанной на Фигуре 1 кривой охлаждения α составляет примерно -0,084 час⁻¹.

20

25

В случае, когда тонкому листу с толщиной примерно от 4,0 до 4,5 мм давали возможность охладиться от температуры выхода из стана горячей прокатки до температуры ниже 150°C, используя обычную практику охлаждения, а именно оставляя лист охлаждаться в нормальном неподвижном воздухе после выхода из стана горячей прокатки без какой-либо операции свертывания в рулон или т.п., α был обычно в пределах от -0,5 до -2 час⁻¹, при этом получающийся в таком случае лист охлаждался от температуры выхода из стана горячей прокатки до температуры 150°C или менее за период времени менее 3 часов.

30

35

Регулируемый цикл охлаждения следует уравнению, приведенному выше и в формуле изобретения, и при этом средняя скорость охлаждения от 440°C до 150°C изделия в свернутой в рулон форме находится в пределах диапазона от 12 до 20°C/час.

40

Время (часы)	Ширина рулона 1,4 метра		Ширина рулона 2,8 метра	
	Самая холодная точка (°C)	Самая горячая точка (°C)	Самая холодная точка (°C)	Самая горячая точка (°C)
0	431	440	431	440
2	344	372	349	385
6	249	266	262	287
10	187	199	204	222
12	165	175	182	197
14	146	150	163	176
16	130	137	148	159
18	117	123	134	144

45

50

Имея теперь полное описание изобретения, специалистам в этой области техники будет очевидно, что в него может быть внесено множество изменений и модификаций без

отклонения от объема или сущности описанного здесь изобретения.

Формула изобретения

1. Способ производства катаного изделия из сплава на основе алюминия, включающий в себя стадии
- литья слитка, имеющего состав, выбранный из группы, состоящей из сплавов серий AA2000, AA5000, AA6000 и AA7000;
 - гомогенизации и/или подогрева слитка после литья;
 - горячей прокатки слитка в горячекатаное изделие и, необязательно, холодной прокатки горячекатаного изделия в холоднокатаное изделие, отличающийся тем, что после горячей прокатки горячекатаное изделие охлаждают от температуры выхода из стана горячей прокатки ($T_{\text{вых}}$) до 150°C или ниже с регулируемой скоростью охлаждения, понижающейся в пределах заданного диапазона в соответствии с кривой непрерывного охлаждения, определяемой по следующему выражению:

$$T(t) = 50 - (50 - T_{\text{вых}}) e^{\alpha \cdot t},$$
 где $T(t)$ - температура охлаждения ($^{\circ}\text{C}$) как функция от времени охлаждения, ч , t - время охлаждения, α - параметр, определяющий скорость охлаждения и находящийся в диапазоне $0,09 \pm 0,05 \text{ ч}^{-1}$.
2. Способ по п.1, отличающийся тем, что α находится в диапазоне $- 0,09 \pm 0,03 \text{ ч}^{-1}$.
3. Способ по п.1 или 2, отличающийся тем, что регулируемую скорость охлаждения горячекатаного изделия обеспечивают поддержанием повышенной температуры в течение заданного времени.
4. Способ по п.1, отличающийся тем, что регулируемую скорость охлаждения горячекатаного изделия обеспечивают свертыванием горячекатаного изделия в рулон после горячей прокатки.
5. Способ по п.1, отличающийся тем, что регулируемую скорость охлаждения горячекатаного изделия обеспечивают непрерывным его перемещением после горячей прокатки через печь, в которой регулируют подвод тепла к изделию во время его прохождения к месту холодной прокатки или месту свертывания в рулон.
6. Способ по п.1, отличающийся тем, что регулируемую скорость охлаждения горячекатаного изделия обеспечивают свертыванием его в рулон после горячей прокатки в печи, в которой управляют скоростью охлаждения изделия при свертывании.
7. Способ по п.1, отличающийся тем, что горячекатаное изделие имеет толщину менее 12 мм при выходе из стана горячей прокатки.
8. Способ по п.7, отличающийся тем, что горячекатаное изделие имеет толщину в диапазоне от 1 до 10 мм, а предпочтительно в диапазоне от 4 до 8 мм.
9. Способ по п.1, отличающийся тем, что он дополнительно включает одну или более следующих технологических стадий:
- термическая обработка на твердый раствор горячекатаного изделия после охлаждения или холоднокатаного изделия;
 - закалка термообработанного на твердый раствор изделия;
 - необязательное растяжение или сжатие закаленного изделия;
 - необязательное старение закаленного и необязательно растянутого или сжатого изделия до достижения желательного состояния.
10. Способ по п.9, отличающийся тем, что средняя скорость охлаждения горячекатаного изделия находится в диапазоне от 12 до $20^{\circ}\text{C}/\text{ч}$.
11. Способ по п.9, отличающийся тем, что слиток имеет следующий состав, мас. %:
- Si 0,6-1,3
Cu 0,04-1,1
Mn 0,1-0,9
Mg 0,4-1,3
Fe 0,01-0,3
Zr < 0,25

Cr<0,25

Zn<0,6

Ti<0,15

V<0,25

5 Hf<0,25

случайные элементы и примеси менее 0,05 каждого и менее 0,20 в сумме, остальное - алюминий.

12. Способ по п.9, отличающийся тем, что слиток отливают в пределах диапазона состава сплава AA6013 или AA6056.

10 13. Способ по п.9, отличающийся тем, что слиток имеет следующий состав, мас. %:

Cu 3,8-5,2

Mg 0,2-1,6

Cr<0,25

Zr<0,25, а предпочтительно 0,06-0,18

15 Mn \leq 0,50 и Mn:>0, а предпочтительно >0,15

Fe \leq 0,15

Si \leq 0,15

случайные элементы и примеси менее 0,05 каждого и менее 0,15 в сумме, остальное - алюминий.

20 14. Способ по п.9, отличающийся тем, что слиток имеет следующий состав, мас. %:

Zn 5,0-9,5

Си 1,0-3,0

Mg 1,0-3,0

Mn<0,35

25 Zr<0,25, а предпочтительно 0,06-0,16

Cr<0,25

Fe<0,25

Si<0,25

Sc<0,35

30 Ti<0,10

Hf и/или V<0,25,

случайные элементы и примеси менее 0,05 каждого и менее 0,15 в сумме, остальное - алюминий.

35 15. Способ по п.9, отличающийся тем, что слиток отливают в пределах диапазона состава сплава, выбранного из группы AA7040, AA7050 и AA7x75.

16. Тонколистовое или толстолистовое катаное изделие из сплава на основе алюминия, отличающееся тем, что оно получено согласно способу по любому из пп.1-15.

17. Изделие по п.16, отличающееся тем, что оно представляет собой конструктивный элемент воздушного летательного аппарата или автомобиля.

40 18. Изделие по п.16 или 17, отличающееся тем, что оно представляет собой обшивку фюзеляжа воздушного летательного аппарата или комплектующую деталь транспортного средства.

19. Изделие из сплава по п.16 или 17, отличающееся тем, что оно имеет окончательную толщину в диапазоне от 2 до 7 мм.

45

50