



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ,
ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ

(51) МПК
C22C 21/10 (2006.01)
C22F 1/053 (2006.01)

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21), (22) Заявка: 2005134849/02, 09.04.2004

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
09.04.2004

(30) Конвенционный приоритет:
10.04.2003 EP 03076048.2

(43) Дата публикации заявки: 27.06.2006

(45) Опубликовано: 27.04.2009 Бюл. № 12

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: WO 02052053 A, 04.07.2002. US 5560789 A, 01.10.1996. ГОСТ 4784-97, Алюминий и сплавы алюминиевые деформируемые, Минск: Издательство стандартов, 1999. SU 664570 A, 28.05.1979. SU 1625043 A1, 20.10.1995.

(85) Дата перевода заявки РСТ на национальную фазу: 10.11.2005

(86) Заявка РСТ:
EP 2004/003994 (09.04.2004)

(87) Публикация РСТ:
WO 2004/090185 (21.10.2004)

Адрес для переписки:
129090, 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 Йохим (DE),
ХАЙНЦ Альфред Людвиг (DE),
ТЕЛИАУИ Недиа (NL)

(73) Патентообладатель(и):

КОРУС АЛЮМИНИУМ
ВАЛЬЦПРОДУКТЕ ГМБХ (DE)

(54) СПЛАВ Al-Zn-Mg-Cu

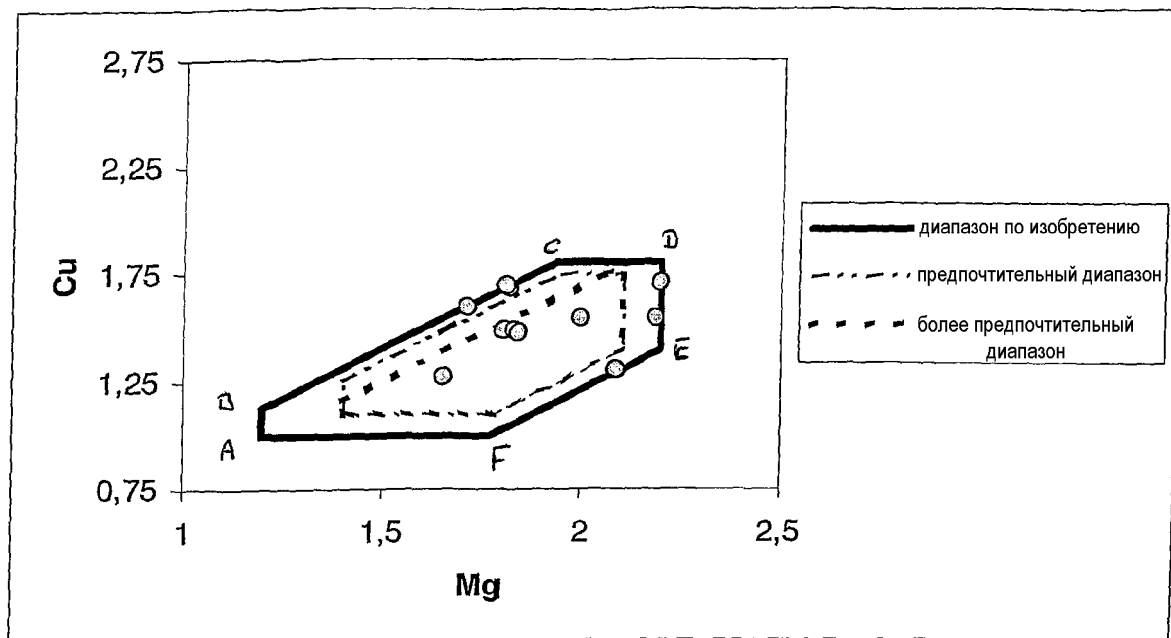
(57) Реферат:

Настоящее изобретение относится к изделию из алюминиевого сплава, содержащего, мас. %: цинк 6,5-9,5, магний 1,92-2,1%, медь 1,0-1,8, железо <0,14, кремний <0,20, предпочтительно <0,12, цирконий 0,04-0,3, необязательно, один или более из: скандия <0,7, хрома <0,4, гафния <0,3, марганца <0,8, титана <0,4, ванадия <0,4 и случайные примеси - <0,05 каждый и <0,15 все вместе, а

остальное составляет алюминий. Изделие производят способом, включающим литье слитка, его предварительный нагрев, горячую обработку давлением до получения предварительно деформированной заготовки одним или более способами, выбранными из группы, состоящей из прокатки, штамповки иковки, необязательный повторный нагрев предварительно деформированной заготовки, горячую обработку давлением до получения

формованной заготовки нужной формы, термообработку на твердый раствор упомянутой формованной заготовки при температуре и в течение времени, достаточных для перевода в твердый раствор по существу всех растворимых компонентов в сплаве, закалку подвергнутой термообработке на твердый раствор заготовки путем закалки оросительным охлаждением или закалки

погружением в воду или другую закалочную среду, необязательное растяжение или сжатие закаленной заготовки, искусственное старение закаленной и необязательно растянутой или сжатой заготовки до достижения желательного состояния. Получают изделие, обладающее высокой прочностью и вязкостью разрушения и хорошей коррозионной стойкостью. 4 н. и 46 з.п. ф-лы, 4 ил., 15 табл.



ФИГ.1



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY,
PATENTS AND TRADEMARKS

(51) Int. Cl.

C22C 21/10 (2006.01)**C22F 1/053** (2006.01)**(12) ABSTRACT OF INVENTION**(21), (22) Application: **2005134849/02, 09.04.2004**(24) Effective date for property rights:
09.04.2004(30) Priority:
10.04.2003 EP 03076048.2(43) Application published: **27.06.2006**(45) Date of publication: **27.04.2009 Bull. 12**(85) Commencement of national phase: **10.11.2005**(86) PCT application:
EP 2004/003994 (09.04.2004)(87) PCT publication:
WO 2004/090185 (21.10.2004)

Mail address:
**129090, 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),
TELAUI Nedja (NL)**

(73) Proprietor(s):

**KORUS ALJuMINIUM VAL'TsPRODUKTE
GMBKh (DE)**

(54) ALLOY Al-Zn-Mg-Cu

(57) Abstract:

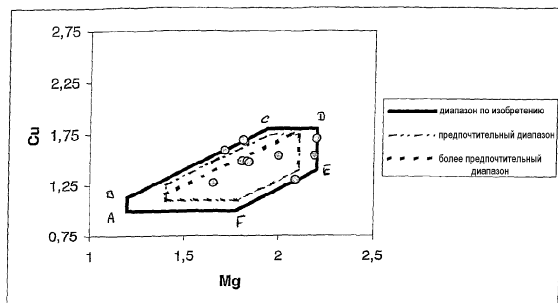
FIELD: metallurgy.

SUBSTANCE: current invention relates to product made of aluminium alloy containing wt %: zinc 6.5-9.5, magnesium 1.92-2.1%, copper 1.0-1.8, iron < 0.14, silicon < 0.20, preferentially < 0.12, zirconium 0.04-0.3, it is not necessary, one or more from: scandium < 0.7, chrome < 0.4, hafnium < 0.3, manganese < 0.8, titanium < 0.4, vanadium < 0.4 and unintentional impurity < 0.05 each and < 0.15 all together, and the rest is aluminium. Product is manufactured by method including ingot casting, its preheating, hot processing by pressure till receiving of preformed blank by one or more methods, chosen from the group containing of deform, punching and hammering, not necessary reheating of predeformed blank, hot treatment by pressure till the receiving of mould blank of

necessary form, thermal treatment to solid solution of mentioned mould blank at temperature and during the time, enough for transfer into solid solution to the point all soluble components in alloy, hardening of heat-treat to solid solution blanks by means of hardening by spray cooling or hardening by water immersion or different hardening compound, optional tension or pressing of hardened workpiece, artificial aging of hardened and optional stretch or compressed workpiece till achieving of desirable condition. IT is received product allowing high tensile and improved combination of viscosity and corrosion behavior.

EFFECT: receiving of product allowing high tensile and improved combination of viscosity and corrosion behavior.

50 cl, 4 dwg, 15 tbl, 8 ex



ФИГ.1

RU 2 3 5 3 6 9 3 C 2

RU 2 3 5 3 6 9 3 C 2

Область техники, к которой относится изобретение

Изобретение относится к деформируемому алюминиевому сплаву типа Al-Zn-Mg-Cu (или к алюминиевым сплавам серий 7000 или 7xxx, как их обозначает Алюминиевая Ассоциация). Более конкретно, настоящее изобретение относится к дисперсионно-твердеющему, высокопрочному, обладающему высокой вязкостью разрушения и высокой коррозионной стойкостью алюминиевому сплаву и изделиям (продукции), изготовленным(ой) из этого сплава. Продукция, изготовленная из этого сплава, очень подходит для применения в аэрокосмической промышленности, но не ограничивается этим. Сплав может быть обработан до изделий различных видов, например листа, толстой плиты, тонкой плиты, прессованных (штампованных) или кованных изделий.

При любом виде продукции, изготовленной из этого сплава, возможно достижение сочетаний свойств, превосходящих продукцию, изготовленную из известных в настоящее время сплавов. Благодаря настоящему изобретению и в области аэрокосмической промышленности также возможно теперь применение концепции единого сплава. Это приведет к значительному снижению затрат в аэрокосмической промышленности. Благодаря концепции единого сплава значительно проще становится утилизация алюминиевого лома, образующегося во время производства конструктивных деталей или же после окончания службы конструктивных деталей.

Уровень техники

В прошлом для изготовления разнообразных изделий, предназначенных для применения в конструкционных целях в аэрокосмической промышленности, использовали различные типы алюминиевых сплавов. Конструкторы и изготовители в аэрокосмической промышленности постоянно пытаются улучшить топливную экономичность, рабочие характеристики продукции и постоянно пытаются снизить затраты на производство и обслуживание. Предпочтительным способом достижения таких улучшений, наряду со снижением затрат, является концепция единого сплава, т.е. одного алюминиевого сплава, который способен обладать улучшенным балансом свойств в соответствующих видах продукции.

Применяемые в данном описании обозначения элементов сплава и их состояний соответствуют хорошо известным стандартам на продукцию из алюминиевых сплавов, установленным Алюминиевой Ассоциацией (Aluminum Association). Все процентные содержания даны в массовых процентах, за исключением особо оговоренных случаев.

В настоящее время из уровня техники известно применение обладающих высокой стойкостью к повреждениям сплавов AA2×24 (например, AA2524) или AA6×13 или AA7×75 для листа фюзеляжа, AA2324 или AA7×75 - для нижней поверхности крыла, AA7055 или AA7449 - для верхней поверхности крыла и AA7050, или AA7010, или AA7040 - для лонжеронов и нервюр крыла или других профилей, полученных механической обработкой из толстой плиты. Главная причина использования различных сплавов в каждом отдельном виде применения заключается в различии баланса свойств, необходимого для получения оптимальных рабочих характеристик всей конструктивной детали.

Для обшивки фюзеляжа очень важными считаются свойства стойкости к повреждениям при растягивающей нагрузке, то есть сочетание скорости роста усталостных трещин (FCGR, от английского «fatigue crack growth rate»), вязкости разрушения при плоском напряженном состоянии и коррозии. Исходя из этих требований к свойствам, предпочтительным выбором для изготовителей гражданских

самолетов будут обладающие высокой стойкостью к повреждениям сплавы AA2×24 в состоянии T351 (см., например, US-5213639 или EP-1026270-A1) или Cu-содержащие сплавы AA6xxx в состоянии T6 (см., например, US-4589932, US-5888320, US-2002/0039664-A1 или EP-1143027-A1).

Для обшивки нижней поверхности крыла требуется сходный баланс свойств, но допустимо некоторое пожертвование вязкостью с целью повышения прочности на разрыв. По этой причине AA2×24 в состоянии T39 или T8х рассматриваются как логичный выбор (см., например, US-5865914, US-5593516 или EP-1114877-A1), хотя иногда применяют также AA7×75 в том же состоянии.

В случае верхней поверхности крыла, где более важна сжимающая нагрузка, а не растягивающая нагрузка, наиболее важными свойствами являются прочность на сжатие, усталостная прочность (SN-усталостность или долговечность) и вязкость разрушения. В настоящее время предпочтительным выбором были бы AA7150, AA7055, AA7449 или AA7×75 (см., например, US-5221377, US-5865911, US-5560789 или US-5312498). Эти сплавы обладают высоким пределом текучести при сжатии с приемлемым в данный момент сопротивлением коррозии и вязкостью разрушения, хотя авиационные конструкторы приветствовали бы улучшения сочетаний этих свойств.

Для толстых профилей, имеющих толщину более 3 дюймов, или деталей, полученных механической обработкой из таких толстых профилей, важен одинаковый и надежный баланс свойств по толщине. В настоящее время для этих видов применения используют сплавы AA7050, или AA7010, или AA7040 (см. US-6027582), или C80A (см. US-2002/0150498-A1). Главным желанием производителей самолетов является снижение чувствительности к закалке, т.е. подверженность ухудшению свойств по толщине при снижении скорости закалки или увеличении толщины изделий. Особую озабоченность конструкторов и изготовителей конструктивных деталей вызывают свойства в направлении ST.

Улучшения характеристик самолета, т.е. уменьшения производственных затрат и уменьшения эксплуатационных затрат, можно добиться за счет улучшения баланса свойств алюминиевых сплавов, используемых в данной конструктивной детали, а предпочтительно - использования сплава только одного типа для снижения стоимости этого сплава и снижения стоимости переработки алюминиевого лома и отходов.

Соответственно, предполагается, что существует потребность в алюминиевом сплаве, способном обеспечить улучшенный баланс нужных свойств в продукции каждого подходящего вида.

Сущность изобретения

Настоящее изобретение направлено на создание алюминиевого сплава серии AA7xxx, обладающего способностью обеспечить баланс свойств в любом подходящем изделии, который лучше баланса свойств различных коммерческих алюминиевых сплавов (AA2xxx, AA6xxx, AA7xxx), применяемых в настоящее время в этих изделиях.

В предпочтительный состав сплава согласно настоящему изобретению входит или же сплав состоит по существу из, в массовых %, примерно от 6,5 до 9,5% цинка (Zn), примерно от 1,2 до 2,2% магния (Mg), примерно от 1,0 до 1,9% меди (Cu), примерно от 0 до 0,5% циркония (Zr), примерно от 0 до 0,7% скандия (Sc), примерно от 0 до 0,4% хрома (Cr), примерно от 0 до 0,3% гафния (Hf), примерно от 0 до 0,4% титана (Ti), примерно от 0 до 0,8% марганца (Mn), остальное приходится на долю алюминия (Al) и других случайных элементов. Предпочтительно $(0,9\text{Mg}-0,6)\leq\text{Cu}\leq(0,9\text{Mg}+0,05)$.

Более предпочтительный состав сплава согласно настоящему изобретению состоит по существу из, в массовых %, примерно от 6,5 до 7,9% Zn, примерно от 1,4 до 2,10% Mg, примерно от 1,2 до 1,80% Cu и при этом предпочтительно $(0,9\text{Mg}-0,5)\leq\text{Cu}\leq 0,9\text{Mg}$,
 5 примерно от 0 до 0,5% Zr, примерно от 0 до 0,7% Sc, примерно от 0 до 0,4% Cr, примерно от 0 до 0,3% Hf, примерно от 0 до 0,4% Ti, примерно от 0 до 0,8% Mn, причем остальное приходится на долю алюминия (Al) и других случайных элементов.

Более предпочтительный состав сплава согласно настоящему изобретению состоит по существу из, в массовых %, примерно от 6,5 до 7,9% Zn, примерно от 1,4 до 1,95%
 10 Mg, примерно от 1,2 до 1,75% Cu и при этом предпочтительно $(0,9\text{Mg}-0,5)\leq\text{Cu}\leq(0,9\text{Mg}-0,1)$, примерно от 0 до 0,5% Zr, примерно от 0 до 0,7% Sc, примерно от 0 до 0,4% Cr, примерно от 0 до 0,3% Hf, примерно от 0 до 0,4% Ti, примерно от 0 до 0,8% Mn, причем остальное приходится на долю алюминия (Al) и других случайных элементов.

В более предпочтительном варианте реализации нижний предел содержания Zn
 15 составляет 6,7%, а более предпочтительно - 6,9%.

В более предпочтительном варианте реализации нижний предел содержания Mg составляет 1,90%, а более предпочтительно - 1,92%. Этот нижний предел
 20 содержания Mg особенно предпочтителен, когда полученный сплав используется для изготовления листового изделия, например листа фюзеляжа, и когда он используется для профилей, изготовленных из толстой плиты.

Упомянутые выше алюминиевые сплавы могут содержать примеси или случайные или преднамеренно внесенные добавки, такие как, например, вплоть до 0,3% Fe, предпочтительно - вплоть до 0,14% Fe, вплоть до 0,2% кремния (Si), а
 25 предпочтительно - вплоть до 0,12% Si, вплоть до 1% серебра (Ag), вплоть до 1% германия (Ge), вплоть до 0,4% ванадия (V). Другие добавки обычно ограничены диапазонами 0,05-0,15 мас.%, как установлено Алюминиевой Ассоциацией, так что любая неизбежная примесь имеет содержание в диапазоне $<0,05\%$, а общее количество
 30 примесей составляет $<0,15\%$.

Содержания железа и кремния должны поддерживаться на низком уровне, например, не превышающем примерно 0,08% Fe и примерно 0,07% Si или менее. В
 35 любом случае, можно допустить несколько более высокие уровни содержания обеих примесей, вплоть до примерно 0,14% Fe и вплоть до примерно 0,12% Si, хотя это и является в настоящем изобретении менее предпочтительным. В частности, для вариантов реализации в виде плит пресс-форм или инструментальных плит допустимыми являются даже еще более высокие уровни содержания вплоть до 0,3% Fe
 40 и вплоть до 0,2% Si или менее.

Для регулирования зернистой структуры и чувствительности к закалке добавляют элементы, образующие дисперсоиды, такие как Zr, Sc, Hf, Cr и Mn. Оптимальные
 45 уровни содержания дисперсоидообразователей зависят от технологической обработки, но при выборе одного единственного состава по основным элементам (Zn, Cu и Mg) в пределах предпочтительного интервала («окна») и при использовании такого химического состава для всех подходящих видов продукции уровни содержания Zr
 50 предпочтительно составляют менее 0,11%.

Предпочтительное максимальное содержание Zr не должно превышать 0,15%. Подходящий диапазон содержания Zr находится в пределах от 0,04 до 0,15%. Более
 55 предпочтительным верхним предельным уровнем добавления Zr является 0,13%, а даже более предпочтительно - не более 0,11%.

Добавление Sc предпочтительно не превышает 0,3%, а предпочтительно - не более 0,18%. При комбинировании со Sc суммарное содержание Sc+Zr должно составлять

менее 0,3%, предпочтительно - менее 0,2%, а более предпочтительно - максимум 0,17%, в частности, когда соотношение Zr и Sc составляет между 0,7 и 1,4.

Другим дисперсоидообразователем, который может быть добавлен в отдельности или вместе с другими дисперсоидообразователями, является Cr. Содержания Cr предпочтительно должны быть ниже 0,3%, а более предпочтительно - максимум 0,20% и даже более предпочтительно - 0,15%. При комбинировании с Zr суммарное содержание Zr+Cr не должно превышать 0,20%, а предпочтительно - не более 0,17%.

Предпочтительное суммарное содержание Sc+Zr+Cr не должно превышать 0,4%, а более предпочтительно - не более 0,27%.

Возможно также добавление Mn в отдельности или вместе с другими дисперсоидообразователями. Предпочтительный максимум добавления Mn составляет 0,4%. Подходящим диапазоном добавления Mn является диапазон от 0,05 до 0,40%, предпочтительно - диапазон от 0,05 до 0,30% и даже более предпочтительно - от 0,12 до 0,30%. Предпочтительным нижним пределом добавления Mn является 0,12%, а более предпочтительно - 0,15%. При комбинировании с Zr суммарное содержание Mn+Zr должно быть менее 0,4%, предпочтительно - менее 0,32%, а подходящий минимум составляет 0,14%.

В другом варианте реализации изделия из алюминиевого сплава согласно настоящему изобретению сплав не содержит Mn, и на практике это будет означать, что содержание Mn составляет <0,02%, а предпочтительно - <0,01%, а более предпочтительно - сплав практически свободен или по существу свободен от Mn. Под выражениями «практически свободен» и «по существу свободен» мы подразумеваем, что целенаправленного добавления этого легирующего элемента в состав не было, однако из-за примесей и/или «выщелачивания» при контакте с производственным оборудованием следовые количества этого элемента могут, тем не менее, попасть в конечное изделие из такого сплава.

В конкретном варианте реализации изделия из деформируемого сплава согласно настоящему изобретению сплав состоит по существу из, в массовых процентах:

Zn от 7,2 до 7,7, а обычно примерно 7,43

Mg от 1,79 до 1,92, а обычно примерно 1,83

Cu от 1,43 до 1,52, а обычно примерно 1,48

Zr или Cr от 0,04 до 0,15, предпочтительно от 0,06 до 0,10, а обычно 0,08

Mn необязательно в диапазоне от 0,05 до 0,19, а предпочтительно от 0,09 до 0,19, или в альтернативном варианте реализации <0,02, предпочтительно <0,01

Si <0,07, а обычно примерно 0,04

Fe <0,08, а обычно примерно 0,05

Ti <0,05, а обычно примерно 0,01

остальное приходится на алюминий и неизбежные примеси, каждая <0,05, а все вместе <0,15.

В другом варианте реализации изделия из деформируемого сплава согласно настоящему изобретению сплав состоит по существу из, в массовых процентах:

Zn от 7,2 до 7,7, а обычно примерно 7,43

Mg от 1,90 до 1,97, предпочтительно от 1,92 до 1,97, а обычно примерно 1,94

Cu от 1,43 до 1,52, а обычно примерно 1,48

Zr или Cr от 0,04 до 0,15, предпочтительно 0,06 до 0,10, а обычно 0,08

Mn необязательно в диапазоне от 0,05 до 0,19, а предпочтительно от 0,09 до 0,19, или в альтернативном варианте реализации <0,02, предпочтительно <0,01

Si <0,07, а обычно примерно 0,05

Fe <0,08, а обычно примерно 0,06

Ti <0,05, а обычно примерно 0,01

остальное приходится на алюминий и неизбежные примеси, каждая <0,05, а все вместе <0,15.

5 Готовый сплав согласно настоящему изобретению может быть получен путем обычно плавления и может быть разлит (бесслитковое литье, DC) в виде слитков. Возможно также использование добавок, измельчающих зерно, таких как борид титана или карбид титана. После удаления поверхностного слоя и возможной
10 гомогенизации слитки подвергают дальнейшей обработке, например, путем прессования (штамповки) иликовки или горячей прокатки, в одну или более стадий. Эта обработка может прерываться промежуточным отжигом. Дальнейшая обработка может представлять собой холодную обработку, которой может быть холодная
15 прокатка или растяжение. Изделие подвергают термообработке на твердый раствор и закалке путем погружения или орошения холодной водой или быстрого охлаждения до температуры менее 95°C. Изделие может быть далее обработано, например, путем прокатки или растяжения, например, вплоть до 8%, или же может быть подвергнуто снятию напряжений путем растяжения или сжатия вплоть до примерно 8%, например,
20 от примерно 1 до 3%, и/или подвергнуто старению до конечного или промежуточного состояния. Изделие может быть подвергнуто формовке или механической обработке до конечной или промежуточной конструкции перед окончательным старением или после него или даже перед термообработкой на твердый раствор.

Подробное описание изобретения

25 Конструкция коммерческого (гражданского) воздушного летательного аппарата (самолета) требует различных наборов свойств для различных конструктивных деталей. Сплав, будучи переработанным в изделия различных видов (т.е. лист, плиту, толстую плиту, поковку или штампованный профиль и т.д.) и предназначенный для
30 использования в самых разных конструктивных деталях с различными последовательностями нагрузок в течение срока службы и, следовательно, сталкивающийся с различными требованиями к материалу в изделиях всех этих видов, должен быть беспрецедентно универсальным.

35 Важными свойствами материала для изделия в виде листа фюзеляжа являются свойства стойкости к повреждениям при растягивающих нагрузках (т.е. FCGR, вязкость разрушения и коррозионная стойкость).

Важные свойства материала для обшивки нижней поверхности крыла коммерческого реактивного самолета большой вместимости подобны тем, которые
40 требуются для листа фюзеляжа, но обычно производителям самолетов требуется более высокая прочность на разрыв. Кроме того, главным свойством материала становится усталостная долговечность.

Поскольку самолет летает на большой высоте в условиях холода, предметом озабоченности в новых конструкциях коммерческих самолетов является вязкость
45 разрушения при температуре минус 65°F. Дополнительными желательными признаками являются формуемость при старении, при которой материал может быть подвергнут ормовке во время искусственного старения, наряду с хорошими коррозионными характеристиками в отношении сопротивления коррозионному
50 растрескиванию под напряжением и сопротивления коррозионному расслаиванию.

Важными свойствами материала для изделия в виде обшивки верхней поверхности крыла являются свойства под сжимающими нагрузками, т.е. предел текучести при сжатии, усталостная долговечность и коррозионная стойкость.

Важные свойства материала для деталей, полученных механической обработкой из толстой плиты, зависят от самой полученной механической обработкой детали. Однако в общем случае градиент свойств материала по толщине должен быть очень небольшим, а такие свойства материала, как прочность, вязкость разрушения, усталостная прочность и коррозионная стойкость, должны быть на высоком уровне.

Настоящее изобретение направлено на создание такого сплава, который, будучи переработанным в изделия разнообразных видов, такие как, но не ограничиваясь ими, лист, плита, толстая плита и т.д., по своим свойствам будет соответствовать упомянутым выше желательным свойствам материалов или превосходить их. Баланс свойств изделия будет превосходить баланс свойств изделия, изготовленного из применяемых в настоящее время в промышленности сплавов.

Совершенно неожиданно в не исследовавшемся ранее интервале химических составов сплавов серии AA7000 было обнаружено «окно» по химическому составу, которое обеспечивает достижение этой уникальной способности.

Настоящее изобретение получено в результате изучения влияния уровней содержания Cu, Mg и Zn в сочетании с различными уровнями содержания и видами дисперсоидообразователей (например, Zr, Cr, Sc, Mn) на те фазы, которые образуются в процессе обработки. Некоторые из этих сплавов перерабатывали до листа и плиты и испытывали на растяжение, вязкость на надрыв по Кану (от английского «Kahn-tear toughness») и коррозионную стойкость. Интерпретация этих результатов привела к поразительному пониманию того, что алюминиевый сплав с химическим составом в пределах конкретного окна будет демонстрировать превосходные свойства как в виде листа, так и в виде плиты, и в виде толстой плиты, и в виде штамповок, и в виде поковок.

В другом аспекте изобретения предлагается способ производства изделия из алюминиевого сплава согласно настоящему изобретению. Способ производства высокопрочного, обладающего высокой вязкостью изделия из алюминиевого сплава серии AA7000, имеющего хорошую коррозионную стойкость, включает в себя производственные стадии:

- a) литья слитка, имеющего химический состав согласно настоящему изобретению;
- b) гомогенизации и/или предварительного нагрева слитка после литья;
- c) горячей обработки слитка давлением с получением предварительно деформированной заготовки одним или более способами, выбранными из группы, состоящей из прокатки, штамповки иковки;
- d) необязательного повторного нагрева предварительно деформированной заготовки и тому подобного;
- e) горячей и/или холодной обработки давлением до получения формованной заготовки желательной формы;
- f) термообработки на твердый раствор (SHT, от английского «solution heat treating») упомянутой формованной заготовки при температуре и в течение времени, достаточных для перевода в твердый раствор по существу всех растворимых компонентов в сплаве;
- g) закалки подвергнутой термообработке на твердый раствор заготовки путем закалки оросительным охлаждением или закалки погружением в воду или другую закалочную среду;
- h) необязательного растяжения или сжатия закаленной заготовки или холодной обработки иным образом для снятия напряжений, например, правка листовых изделий;
- i) искусственное старение закаленной и необязательно растянутой или сжатой

заготовки для достижения желательного состояния, например, состояний, выбранных из группы, состоящей из: T6, T74, T76, T751, T7451, T7651, T77 и T79.

Изделия из алюминиевого сплава согласно настоящему изобретению обычно получают плавлением, и они могут быть подвергнуты бесслитковому литью (D.C.), литью в слитки или другим подходящим приемам разливки. Гомогенизирующую обработку обычно осуществляют в одну или более стадий, причем каждая стадия имеет температуру предпочтительно в диапазоне от 460 до 490°C. Обработка предварительным нагревом предполагает нагрев прокатываемого слитка до температуры входа в стан горячей прокатки, которая обычно находится в диапазоне температур от 400 до 460°C. Горячая обработка давлением изделия из сплава может быть выполнена одним или более способами, выбранными из группы, состоящей из прокатки, прессования (штамповки) иковки. Для предложенного в настоящем изобретении сплава предпочтительной является горячая прокатка. Термообработку на твердый раствор обычно осуществляют в том же температурном диапазоне, который используется для гомогенизации, хотя времена выдержки могут быть выбраны несколько более короткими.

В одном из вариантов реализации способа согласно настоящему изобретению стадия i) искусственного старения включает в себя первый этап старения при температуре в диапазоне от 105°C до 135°C, предпочтительно - в течение 2 до 20 часов, и второй этап старения при температуре в диапазоне от 135°C до 210°C, предпочтительно - в течение 4 до 20 часов. В еще одном варианте реализации может быть использован третий этап старения при температуре в диапазоне от 105°C до 135°C и предпочтительно в течение 20 до 30 часов.

Поразительно превосходный баланс свойств получается при производстве изделия любой толщины. В диапазоне толщин листовых изделий, составляющем вплоть до 1,5 дюйма, свойства будут превосходными для листа фюзеляжа, и предпочтительно толщина составляет вплоть до 1 дюйма. В диапазоне толщин тонких плит, составляющем от 0,7 до 3 дюймов, свойства будут превосходными для обшивки крыла, например обшивки нижней поверхности крыла. Диапазон толщин тонких плит может также быть использован для изготовления стрингеров или для формирования цельной консоли крыла и стрингера для использования в конструкции крыла самолета. Более состаренный до максимальной твердости материал позволит получить превосходную плиту для обшивки верхней поверхности крыла, в то время как несколько большее перестаривание даст превосходные свойства для обшивки нижней поверхности крыла. При производстве более толстых изделий с толщиной более 2,5 дюйма и вплоть до примерно 11 дюймов или более превосходные свойства будут получены для цельных деталей, полученных путем механической обработки из плит, или при формировании цельного лонжерона, предназначенного для использования в конструкции крыла самолета, или в виде нервюры, предназначенной для использования в конструкции крыла самолета. Изделия большей толщины могут также использоваться в качестве инструментальной плиты или плиты пресс-формы, например пресс-форм для изготовления формованных изделий из пластмассы, например, путем литья под давлением или инжекционного формования. При указании вышеупомянутых диапазонов толщин специалисту в данной области техники сразу же станет очевидно, что указанная толщина относится к обладающей наибольшей толщиной точке поперечного сечения изделия из сплава, изготовленного из такого(ой) листа, тонкой плиты или толстой плиты. Изделия из сплава согласно изобретению могут также быть представлены в виде ступенчатого прессованного профиля или в

виде прессованного лонжерона, предназначенного для использования в конструкции самолета, или в виде кованого лонжерона, предназначенного для использования в конструкции самолета. Как ни поразительно, но все эти изделия с превосходными свойствами могут быть получены из одного сплава с одним химическим составом.

В том варианте реализации изобретения, в котором конструктивные элементы, например нервюры, изготовлены из изделия из алюминиевого сплава согласно настоящему изобретению, имеющего толщину в 2,5 дюйма или более, такой элемент обладает повышенным относительным удлинением по сравнению с аналогичным элементом из алюминиевого сплава AA7050. В частности, относительное удлинение (или A50) при испытании в направлении ST составляет 5% или более, а при лучших результатах - 5,5% или более.

Кроме того, в том варианте реализации, в котором конструктивные элементы изготовлены из изделия из алюминиевого сплава согласно настоящему изобретению, имеющего толщину в 2,5 дюйма или более, такой элемент имеет вязкость разрушения

K_{app} при испытании в направлении L-T при комнатной температуре окружающей среды, измеренную при S/4 согласно ASTM E561 с использованием 16-дюймовой панели с трещиной по центру (M(T) или CC(T)), демонстрирующую улучшение на по меньшей мере 20% по сравнению с аналогичным элементов из алюминиевого сплава AA7050, а в наилучших примерах обнаруживается улучшение на 25% или более.

В том варианте реализации, в котором изделие из алюминиевого сплава было получено прессованием, предпочтительно такие изделия из алюминиевого сплава были выпрессованы в профили, имеющие в самом толстом месте поперечного сечения толщину в диапазоне вплоть до 10 мм, а предпочтительно - в диапазоне от 1 до 7 мм. Однако прессованное изделие из алюминиевого сплава может также заменить толстолистовой материал, который обычно механически обрабатывают с помощью технологий высокоскоростной механической обработки или фрезерования, получая имеющий заданную форму конструктивный элемент. В этом варианте реализации прессованное изделие из алюминиевого сплава предпочтительно имеет в точке наиболее толстого поперечного сечения толщину в диапазоне 2 до 6 дюймов.

Краткое описание чертежей

На фиг.1 показана диаграмма Mg-Cu, представляющая диапазоны содержания Cu-Mg в сплаве согласно настоящему изобретению, наряду с более узкими предпочтительными диапазонами;

на фиг.2 показана диаграмма, на которой сравниваются зависимости вязкости разрушения от предела текучести при растяжении для изделия из алюминиевого сплава согласно изобретению по сравнению с несколькими контрольными образцами;

на фиг.3 показана диаграмма, на которой сравниваются зависимости вязкости разрушения от предела текучести при растяжении для изделия из алюминиевого сплава согласно изобретению при толщине 30 мм по сравнению с двумя контрольными образцами;

на фиг.4 показана диаграмма, на которой сравниваются зависимости вязкости разрушения при плоском напряженном состоянии от предела текучести при растяжении для изделий из алюминиевого сплава согласно изобретению при использовании различных процедур обработки.

На фиг.1 схематически показаны диапазоны содержания Cu и Mg в алюминиевом сплаве согласно настоящему изобретению в их предпочтительных вариантах, изложенных в зависимых пунктах 2-4 формулы. Показаны также два более узких и более предпочтительных диапазона. Эти диапазоны могут быть также

идентифицированы с использованием угловых точек А, В, С, D, Е и F шестиугольной рамки. Предпочтительные диапазоны обозначены точками А'-F', а более предпочтительные диапазоны - точками А''-F''. Координаты этих точек перечислены в Таблице 1. На фиг.1 в виде отдельных точек также проиллюстрированы составы сплава согласно настоящему изобретению, упомянутые в приведенных далее примерах.

Таблица 1

Координаты (в мас.%) угловых точек предпочтительных диапазонов содержания Cu-Mg в изделии из алюминиевого сплава согласно изобретению

Угловая точка	Широкий диапазон содержания Cu, Mg	Угловая точка	Предпочтительный диапазон содержания Cu, Mg	Угловая точка	Более предпочтительный диапазон содержания Cu, Mg
А	1,20; 1,00	А'	1,40; 1,10	А''	1,40; 1,10
В	1,20; 1,13	В'	1,40; 1,26	В''	1,40; 1,16
С	2,05; 1,90	С'	2,05; 1,80	С''	2,05; 1,75
Д	2,20; 1,90	Д'	2,10; 1,80	Д''	2,10; 1,75
Е	2,20; 1,40	Е'	2,10; 1,40	Е''	2,10; 1,40
F	1,77; 1,00	F'	1,78; 1,10	F''	1,87; 1,10

ПРИМЕРЫ

Пример 1

Выполняли литье сплавов в лабораторном масштабе с целью проверки принципов настоящего изобретения и обрабатывали их до листа толщиной 4,0 мм и плиты толщиной 30 мм. Химические составы сплавов перечислены в Таблице 2, причем для всех слитков Fe<0,06, Si<0,04, Ti 0,01, остальное - алюминий. Блоки для прокатки размерами приблизительно 80 на 80 на 100 мм (высота × ширина × длина) выпиливали из круглых лабораторных литых слитков массой примерно 12 кг. Слитки подвергали гомогенизации при температуре 460±5°C в течение примерно 12 часов, а затем при температуре 475±5°C в течение примерно 24 часов, с последующим медленным охлаждением на воздухе, чтобы имитировать промышленный процесс гомогенизации. Слитки для прокатки подвергали предварительному нагреву в течение примерно 6 часов при температуре 410±5°C. При промежуточной толщине в диапазоне примерно от 40 до 50 мм блоки повторно нагревали при температуре 410±5°C. Некоторые блоки подвергали горячей прокатке до конечной толщины 30 мм, а другие подвергали горячей прокатке до конечной толщины 4,0 мм. Во время всего процесса горячей прокатки старались имитировать горячую прокатку в промышленных масштабах. Горячекатаные изделия подвергли термообработке на твердый раствор и закалке. Большинство из них закачивали в воде, но некоторые закачивали в масле для того, чтобы имитировать скорость охлаждения при закалке на половине и четверти толщины 6-дюймовой толстой плиты. Изделия подвергли холодному растяжению на примерно 1,5% для снятия остаточных механических напряжений. Исследовали поведение сплавов при старении. Конечные изделия были перестарены почти до максимальной прочности (например, состояния T76 или T77).

Свойства на растяжение испытывали согласно EN10.002. Образцами для испытаний на растяжение из толстого листа толщиной 4 мм были плоские образцы EURO-NORM толщиной 4 мм. Образцами для испытаний на растяжение из плиты толщиной 30 мм были образцы круглого сечения для испытаний на растяжение, взятые на середине толщины. Результаты испытаний на растяжение, приведенные в таблице 1, получены для направления L. Вязкость при испытании на надрыв по Кану определяли согласно ASTM B871-96. Направлением испытаний в случае результатов, приведенных

в таблице 2, является направление T-L. Так называемая ударная вязкость (в образце с надрезом) может быть получена путем деления прочности на разрыв, полученной при испытании на надрыв по Кану, на предел текучести при растяжении (TS/R_p). В технике известно, что этот типичный результат испытания на надрыв по Кану является

хорошим показателем действительной вязкости разрушения. Удельная энергия распространения трещины (UPE, от английского «unit propagation energy»), также полученная в ходе испытания на надрыв по Кану, является энергией, требующейся для развития трещины. Полагают, что чем выше UPE, тем более затруднен рост трещины, что является желательным признаком материала.

Для признания хорошими коррозионных характеристик необходимо, чтобы сопротивление коррозионному расслаиванию (EXCO), измеренное согласно ASTM G34-97, было на уровне по меньшей мере «ЕА» или лучше. Межкристаллитная коррозия (IGC), измеренная согласно MIL-H-6088, предпочтительно отсутствует. Приемлема некоторая питтинговая (точечная) коррозия, но предпочтительно она также должна отсутствовать.

Для того чтобы иметь многообещающий сплав-кандидат, пригодный для получения разнообразных изделий, он должен удовлетворять в лабораторном масштабе следующим требованиям: предел текучести при растяжении (R_p или TYS, от английского «tensile yield strength») - по меньшей мере 510 МПа, предел прочности при растяжении (R_m или UTS, от английского «ultimate tensile strength») - по меньшей мере 560 МПа, ударная вязкость - по меньшей мере 1,5, а UPE - по меньшей мере 200 кДж/м². Результаты для различных сплавов в зависимости от обработки также приведены в таблице 2.

Для получения всех этих желательных свойств материала требуется тщательно сбалансировать химический состав сплава. Согласно полученным в настоящем изобретении результатам было обнаружено, что слишком высокие уровни содержания Cu, Mg и Zn отрицательно влияют на вязкость и коррозионную стойкость. В то же время обнаружено, что слишком низкие уровни их содержания отрицательно влияют на уровни высокой прочности.

Таблица 2								
Номер образца	Сплав по изобретению (да/нет)	Толщина (мм)	Состояние	Mg, мас. %	Cu, мас. %	Zn, мас. %	Zr, мас. %	Прочие, мас. %
1	да	30	T77	1,84	1,47	7,4	0,10	-
2	да	30	T76	1,66	1,27	8,1	0,09	-
3	да	4	T76	2,00	1,54	6,8	0,11	-
4	нет	4	T76	2,00	1,52	5,6	0,01	0,16 Cr
5	нет	4	T76	2,00	1,53	5,6	0,06	0,08 Cr
6	да	4	T76	1,82	1,68	7,4	0,10	-
7	да	30	T76	2,09	1,30	8,2	0,09	-
8	да	4	T77	2,20	1,70	8,7	0,11	-
9	да	4	T77	1,81	1,69	8,7	0,10	-
10	нет	4	T76	2,10	1,54	5,6	0,07	-
11	нет	4	T76	2,20	1,90	6,7	0,10	-
12	нет	4	T76	1,98	1,90	6,8	0,09	-
13	нет	4	T77	2,10	2,10	8,6	0,10	-
14	нет	4	T77	2,50	1,70	8,7	0,10	-
15	нет	4	T77	1,70	2,10	8,6	0,12	-
16	нет	4	T77	1,70	2,40	8,6	0,11	-
17	нет	4	T76	2,40	1,54	5,6	0,01	-
18	нет	4	T76	2,30	1,54	5,6	0,07	-

19	нет	4	T76	2,30	1,52	5,5	0,14	-
20	да	4	T76	2,19	1,54	6,7	0,11	0,16 Mn
21	нет	4	T76	2,12	1,51	5,6	0,12	-

5

10

15

20

25

Таблица 2 (продолжение)					
Номер образца	Сплав по изобретению (да/нет)	R _p (МПа)	R _m (МПа)	UPE (кДж/м ²)	Ts/R _p
1	да	587	627	312	1,53
2	да	530	556	259	1,76
3	да	517	563	297	1,62
4	нет	473	528	232	1,45
5	нет	464	529	212	1,59
6	да	594	617	224	1,44
7	да	562	590	304	1,64
8	да	614	626	115	1,38
9	да	574	594	200	1,47
10	нет	490	535	245	1,53
11	нет	563	608	-	1,07
12	нет	559	592	-	1,32
13	нет	623	639	159	1,31
14	нет	627	643	117	1,33
15	нет	584	605	139	1,44
16	нет	598	619	151	1,42
17	нет	476	530	64	1,42
18	нет	488	542	52	1,54
19	нет	496	543	155	1,66
20	да	521	571	241	1,65
21	нет	471	516	178	1,42

Однако очень удивительно, что более высокий уровень содержания Zn способствует
повышению вязкости и сопротивления росту трещин. Поэтому желательно
использовать более высокий уровень содержания Zn в сочетании с более низкими
уровнями содержания Mg и Cu. Обнаружено, что содержание Zn не должно быть
ниже 6,5%, а предпочтительно - не ниже 6,7%, а еще более предпочтительно - не ниже
6,9%.

Mg требуется для достижения приемлемых уровней прочности. Было обнаружено,
что отношение Mg/Zn в примерно 0,27 или ниже обеспечивает, похоже, наилучшее
сочетание прочности и вязкости. Однако уровни содержания Mg не должны
превышать 2,2%, а предпочтительно - не превышают 2,1%, и даже более
предпочтительно - не превышают 1,97%, при еще более предпочтительном верхнем
пределе в 1,95%. Этот верхний предел является более низким, чем в обычных
АА-окнах или диапазонах составов, применяемых в настоящее время в
аэрокосмической промышленности сплавов, таких как АА7050, АА7010 и АА7075.

Для достижения нужного очень высокого сопротивления росту трещин (или UPE)
нужно очень тщательно сбалансировать уровни содержания Mg, и предпочтительно
они должны быть того же порядка или несколько выше, чем уровни содержания Cu, и
предпочтительно $(0,9 \times \text{Mg} - 0,6) \leq \text{Cu} \leq (0,9 \times \text{Mg} + 0,05)$. Содержание Cu не должно быть
слишком большим. Обнаружено, что содержание Cu не должно превышать 1,9%, а
предпочтительно - не должно превышать 1,80%, и еще более предпочтительно - не
должно превышать 1,75%.

Дисперсоидообразователями, используемыми в сплавах серий АА7xxx, обычно
являются Cr, как, например, в АА7×75, или Zr, как, например, в АА7×50 и АА7×10.

Обычно полагают, что Mn оказывает отрицательное влияние на вязкость, но, к большому нашему удивлению, сочетание Mn и Zr демонстрирует все же очень хороший баланс прочности и вязкости.

Пример 2

Путем бесслиткового литья в промышленном масштабе была изготовлена партия полноразмерных слитков для прокатки с толщиной 440 мм, имеющих химический состав (в масс.%): 7,43% Zn, 1,83% Mg, 1,48% Cu, 0,08% Zr, 0,02% Si и 0,04% Fe, остальное - алюминий и неизбежные примеси. С одного из этих слитков удалили поверхностный слой, гомогенизировали в течение 12 часов при 470°C + в течение 24 часов при 475°C + охлаждение на воздухе до температуры окружающей среды. Этот слиток подвергли предварительному нагреву в течение 8 часов при температуре 410°C и последующей горячей прокатке до толщины примерно 65 мм. Затем прокатную заготовку повернули на 90 градусов и подвергли дальнейшей горячей прокатке до толщины примерно 10 мм. В заключение прокатную заготовку подвергли холодной прокатке до толщины 5,0 мм. Полученный лист подвергли термообработке на твердый раствор при 475°C в течение примерно 40 минут, с последующей закалкой оросительным охлаждением водой. Полученные в результате листы подвергли снятию напряжений путем операции холодного растяжения на примерно 1,8%. Были применены два варианта старения: вариант А - в течение 5 часов при 120°C + 9 часов при 155°C и вариант В - в течение 5 часов при 120°C + 9 часов при 165°C.

Свойства на растяжение были измерены согласно EN10.002. Предел текучести при сжатии (CYS, от английского «compression yield strength») был измерен согласно ASTM E9-89a. Прочность на сдвиг была измерена согласно ASTM B831-93. Вязкость разрушения, K_{app} была измерена согласно ASTM E561-98 с использованием 16-дюймовой панели с рещиной по центру [M(T) или CC(T)]. Величина K_{app} была измерена при комнатной температуре (RT, от английского «room temperature») окружающей среды и при -65°F. Также был испытан контрольный материал AA2x24-T351 с высокой стойкостью к повреждению (HDT, от английского «high damage tolerant»). Полученные результаты приведены в таблице 3.

Таблица 3							
	Старение	L-TYS (МПа)	LT-TYS (МПа)	L-UTS (МПа)	LT-UTS (МПа)	L-T CYS (МПа)	T-L CYS (МПа)
Изобретение	Вариант А	544	534	562	559	554	553
Изобретение	Вариант В	489	472	526	512	492	500
HDT-2x24	T351	360	332	471	452	329	339
	Старение	L-T сдвиг, (МПа)	T-L сдвиг, (МПа)	RT L-T K_{app} МПа·м	RT T-L K_{app} МПа·м ^{0,5}	-65°F L-T K_{app} МПа·м ^{0,5}	-65°F T-L K_{app} МПа·м ^{0,5}
Изобретение	Вариант А	372	373	103	100	-	-
Изобретение	Вариант В	340	338	132	127	102	103
HDT-2x24	T351	328	312	-	101	-	103

Сопротивление коррозионному расслаиванию было измерено согласно ASTM G34-97. Оба варианта А и В продемонстрировали уровень ЕА.

Межкристаллитная коррозия, измеренная согласно MIL-H-6088 для варианта А, составила примерно 70 мкм, а для варианта В - примерно 45 мкм. Оба эти значения значительно ниже, чем типичное значение в 200 мкм, измеренное для контрольного образца AA2x24-T351.

Из таблицы 3 можно видеть, что в случае сплава согласно изобретению имеет место значительное улучшение: значительное повышение прочности при сопоставимых или

даже более высоких уровнях вязкости разрушения. Кроме того, сплав согласно изобретению при низкой температуре минус 65°F превосходит применяемый в настоящее время для фюзеляжей стандартный сплав с высокой стойкостью к разрушению AA2×24-T351. Заметим, что коррозионная стойкость предложенного в изобретении сплава значительно лучше, чем у AA2×24-T351.

Скорость роста усталостных трещин (FCGR) была измерена согласно ASTM E647-99 на компактных растяжных панелях [C(T)] шириной 4 дюйма при отношении R, равном 0,1. В таблице 3 «da/dn» на цикл при размахе напряжений $\Delta K = 27,5 \text{ ksi} \cdot \text{дюйм}^{0,5}$ (= примерно 30 МПа·м^{0,5}) предложенного в изобретении сплава было приведено в сравнении с обладающим высокой стойкостью к разрушению контрольным образцом AA2×24-T351.

Из результатов, приведенных в Таблице 4, можно ясно видеть, что показатель роста трещин у предложенного в изобретении сплава лучше, чем у обладающего высокой стойкостью к разрушению контрольного образца AA2×24-T351.

Таблица 4 Рост трещин за цикл при размахе напряжений $\Delta K=27,5 \text{ ksi} \cdot \text{дюйм}^{0,5}$			
Изобретение	Вариант А	L-T	96%
Изобретение	Вариант А	T-L	84%
Изобретение	Вариант В	L-T	73%
Изобретение	Вариант В	T-L	74%
HDT-2×24	T351	L-T	100%

Пример 3

Другой полномасштабный слиток, отобранный из полученной бесслитковым литьем партии из примера 2, обработали в плиту толщиной 6 дюймов. И с этого слитка удалили поверхностный слой, гомогенизировали в течение 12 часов при 470°C + в течение 24 часов при 475°C + охлаждение на воздухе до температуры окружающей среды. Этот слиток подвергли предварительному нагреву в течение 8 часов при 410°C и последующей горячей прокатке до толщины примерно 152 мм. Полученную горячекатаную плиту подвергли термообработке на твердый раствор при 475°C в течение примерно 7 часов, с последующей закалкой оросительным охлаждением водой. Плиты подвергли снятию напряжений путем операции холодного растяжения на примерно 2,0%. Было использовано несколько различных двухступенчатых процессов старения.

Свойства на растяжение были измерены согласно EN10.002. Образцы были отобраны из положения на 1/4-й толщины (T/4). Вязкость разрушения при плоском напряженном состоянии, K_{Ic} , была измерена согласно ASTM E399-90. При обеспечении требований к достоверности, приведенных в ASTM E399-90, эти значения K_{Ic} являются реальным свойством материала и называются K_{Ic} . Величина K_{Ic} была измерена при комнатной температуре (RT) окружающей среды. Сопротивление коррозионному расслаиванию было измерено согласно ASTM G34-97. Результаты перечислены в таблице 5. Все варианты старения, показанные в таблице 5, продемонстрировали уровень «ЕА».

На фиг.2 приведено сравнение с результатами, представленными в публикации заявки на патент США № US-2002/0150498-A1, таблица 2, включенной в настоящее описание посредством данной ссылки. В этой заявке на патент США приведен пример (пример 1) сходного изделия, но с отличающимся химическим составом, который, как утверждается, оптимизирован по чувствительности к закалке. В нашем

предложенном сплаве нами получен баланс свойств на растяжение и вязкости, сходный с этой заявкой на патент США. Однако предложенный нами сплав демонстрирует, по меньшей мере, более высокое сопротивление расслаивающей коррозии EXCO.

Кроме того, и относительное удлинение предложенного нами сплава выше, чем у сплава, описанного в US-2002/0150498-A1, таблица 2. Общий баланс свойств сплава согласно настоящему изобретению при его переработке в толстую плиту толщиной 6 дюймов лучше, чем раскрыто в US-2002/0150498-A1. На фиг.2 также показаны документально подтвержденные данные для изделий большой толщины от 75 до 220 мм для сплава AA7050/7010 (см. AIMS 03-02-022, декабрь 2001 г.), сплава AA7050/7040 (см. AIMS 03-02-019, сентябрь 2001 г.) и сплава AA7085 (см. AIMS 03-02-025, сентябрь 2002 г.).

Таблица 5

Процесс старения	L-TYS (МПа)	L-UTS (МПа)	L-A50 (%)	L-T K _{1C} (МПа·м ^{0,5})	EXCO
5 часов при 120°C + 11 часов при 165°C	453	497	9,9	-	EA
5 часов при 120°C + 13 часов при 165°C	444	492	12,5	44,4	EA
5 часов при 120°C + 15 часов при 165°C	434	485	13,0	45,0	EA
5 часов при 120°C + 12 часов при 160°C	494	523	10,5	39,1	EA
5 часов при 120°C + 14 часов при 160°C	479	213	8,3	-	EA

Пример 4

Другой полномасштабный слиток, отобранный из полученной бесслитковым литьем партии из примера 2, переработали в плиты толщиной соответственно 63,5 мм и 30 мм. С литого слитка удалили поверхностный слой, гомогенизировали в течение 12 часов при 470°C + в течение 24 часов при 475°C + охлаждение на воздухе до температуры окружающей среды. Этот слиток подвергли предварительному нагреву в течение 8 часов при 410°C и последующей горячей прокатке до толщин соответственно 63,5 мм и 30 мм. Полученные горячекатаные плиты подвергли термообработке на твердый раствор (SHT) при 475°C в течение примерно от 2 до 4 часов, с последующей закалкой оросительным охлаждением водой. Плиты подвергли снятию напряжений путем операции холодного растяжения соответственно на 1,7% и 2,1% для плит толщиной 63,5 мм и 30 мм. Было использовано несколько различных двухступенчатых процессов старения.

Свойства на растяжение были измерены согласно EN10.002. Вязкость разрушения при плоском напряженном состоянии, K_q, была измерена согласно ASTM E399-90 на образцах СТ. При обеспечении требований к достоверности, приведенных в ASTM E399-90, эти значения K_q являются реальным свойством материала и называются K_{1C}. Величина K_{1C} была измерена при комнатной температуре (RT) окружающей среды. Сопротивление коррозионному расслаиванию было измерено согласно ASTM G34-97. Результаты перечислены в таблице 6. Все варианты старения, показанные в таблице 6, продемонстрировали уровень «EA».

Таблица 6

Толщина (мм)	Старение (°C-часы)	TYS (МПа)	UTS (МПа)	A50 (%)	L-T K _{1C} МПа·√м	TYS (МПа)	UTS (МПа)	A50 (%)	T-L K _{1C} МПа·м ^{0,5}
		направление L				направление LT			
63,5	120-5/150-12	566	594	10,7	42,4	532	572	9,8	32,8
63,5	120-5/155-12	566	599	11,9	40,7	521	561	11,2	33,0
63,5	120-5/160-12	528	569	13,0	51,6	497	516	11,6	40,2

30	120-5/150-12	565	590	14,2	46,9	558	582	13,9	36,3
30	120-5/155-12	557	589	14,4	51,0	547	572	13,6	39,2
30	120-5/160-12	501	548	15,1	65,0	493	539	14,3	46,8

В таблице 7 приведены показатели для выпускаемых в настоящее время промышленностью сплавов для обшивки верхней поверхности крыла, типичные данные согласно поставщику этого материала (плита из сплав 7150-T7751 и прессованные профили из сплава 7150-T77511, Alcoa Mill products, Inc., ACRP-069-B).

Таблица 7

Типичные значения из технической спецификации ALCOA по AA7150-T77 и AA7055-T77, в обоих случаях плиты толщиной 25 мм

Толщина (мм)	Старение	TYS (МПа)	UTS (МПа)	A50 (%)	L-T K _{1C} (МПа·м ^{0,5})	TYS (МПа)	UTS (МПа)	A50 (%)	T-L K _{1C} (МПа·м ^{0,5})
		направление L				направление LT			
25	7150-T77	572	607	12,0	29,7	565	607	11,0	26,4
25	7055-T77	614	634	11,0	28,6	614	641	10,0	26,4

На фиг.3 приведено сравнение предложенного в изобретении сплава со сплавами AA7150-T77 и AA7055-T77. На фиг.3 ясно видно, что баланс свойств на растяжение и вязкости предложенного в данном изобретении сплава выше, чем у поставляемого промышленностью AA7150-T77, а также AA7055-T77.

Пример 5

Другой полномасштабный слиток, отобранный из полученной бесслитковым литьем партии из примера 2 (здесь и далее в примере 5 - «Сплав А») переработали в плиты толщиной 20 мм. Кроме того, была выполнена еще одна отливка (обозначенная в этом примере как «Сплав В») с химическим составом (в мас.%): 7,39% Zn, 1,66% Mg, 1,59% Cu, 0,08% Zr, 0,03% Si и 0,04% Fe, остальное - алюминий и неизбежные примеси. С этих слитков удалили поверхностный слой, гомогенизировали в течение 12 часов при 470°C + в течение 24 часов при 475°C + охлаждение на воздухе до температуры окружающей среды. Для дальнейшей обработки использовали три различных технологических маршрута.

Маршрут 1: Слиток из сплава А и В предварительно нагревали в течение 6 часов при 420°C, а затем прокатывали в горячем состоянии до толщины примерно 20 мм.

Маршрут 2: Слиток из сплава А предварительно нагревали в течение 6 часов при 460°C, а затем прокатывали в горячем состоянии до толщины примерно 20 мм.

Маршрут 3: Слиток из сплава В предварительно нагревали в течение 6 часов при 420°C, а затем прокатывали в горячем состоянии до толщины примерно 24 мм, с последующей холодной прокаткой этих плит до толщины 20 мм.

Таким образом, были получены четыре варианта, которые обозначили как А1, А2, В1 и В3. Полученные в результате плиты подвергли термообработке на твердый раствор при 475°C в течение примерно от 2 до 4 часов, с последующей закалкой оросительным охлаждением водой. Плиты подвергли снятию напряжений путем операции холодного растяжения на примерно 2,1%. Было использовано несколько различных двухступенчатых процессов старения, причем, например, «120-5/150-10» означает 5 часов при 120°C с последующими 10 часами при 150°C.

Свойства на растяжение были измерены согласно EN10.002. Вязкость разрушения при плоском напряженном состоянии, K_q, была измерена согласно ASTM E399-90 на образцах СТ. При обеспечении требований к достоверности, приведенных в ASTM E399-90, эти значения K_q являются реальным свойством материала и называются K_{1C}.

или K_{IC} . Заметим, что большинство результатов измерения вязкости разрушения в этом примере не смогли удовлетворить критерию достоверности по толщине образца. Сообщенные значения K_q являются умеренными по сравнению с K_{IC} , иными словами, сообщенные значения K_q фактически являются в общем более низкими, чем стандартные значения K_{IC} , которые получаются в том случае, когда удовлетворяется связанный с размером образца критерий достоверности по ASTM E399-90. Соппротивление коррозионному расслаиванию было измерено согласно ASTM G34-97. Результаты перечислены в Таблице 8. Все варианты старения, показанные в таблице 8, продемонстрировали уровень «ЕА» согласно испытанию EXCO.

Приведенные в таблице 8 результаты показаны графически на фиг.4. На фиг.4 через точки полученных данных были проведены линии, позволяющие представить различия между A1, A2, B1 и B3. Этот график ясно показывает, что сплавы А и В, при сравнении A1 и B1, имеют сходное поведение зависимости прочности от вязкости. Наилучшая зависимость прочности от вязкости может быть получена либо в случае варианта B3 (т.е. холодной прокатки до конечной толщины), или варианта A2 (т.е. предварительного нагрева до более высокой температуры). Заметим также, что результаты в таблице 8 показывают значительно лучший баланс прочности и вязкости, чем перечисленные в таблице 7 AA7150-T77 и AA7055-T77.

Таблица 8								
Толщина (мм)	Старение (°C-час)	TYS (МПа)	UTS (МПа)	A50 (%)	TYS (МПа)	UTS (МПа)	A50 (%)	T-L K_{IC} (МПа·м ^{0,5})
		направление L			направление LT			
B3	120-5/150-10	563	586	13,7	548	581	12,5	38,4
B3	120-5/155-12	558	581	14,4	538	575	13,1	38,7
B3	120-5/160-10	529	563	14,6	517	537	13,7	40,3
B1	120-5/150-10	571	595	13,4	549	581	13,4	36,5
B1	120-5/155-12	552	582	14,3	528	568	13,9	37,1
B1	120-5/160-12	510	552	15,1	493	542	14,5	39,4
A1	120-5/150-10	574	597	13,7	555	590	14,0	33,7
A1	120-5/155-12	562	594	14,4	548	586	13,9	37,1
A1	120-5/160-12	511	556	15,0	502	550	14,3	37,6
A2	120-5/150-10	574	600	14,0	555	595	13,9	36,7
A2	120-5/155-12	552	584	14,3	541	582	13,1	38,0
A2	120-5/160-12	532	572	14,8	527	545	12,4	39,8

Пример 6

Два сплава были разлиты в промышленном масштабе посредством бесслиткового литья при толщине 440 мм и обработаны в листовой прокат толщиной 4 мм. Химические составы сплавов приведены в таблице 9, причем сплав В представляет состав сплава согласно предпочтительному варианту реализации изобретения, когда изделие из алюминиевого сплава имеет вид листового проката.

Со слитков удалили поверхностный слой, гомогенизировали в течение 12 часов при 470°C + в течение 24 часов при 475°C, с последующей горячей прокаткой до промежуточной толщины 65 мм и завершающей горячей прокаткой до толщины примерно 9 мм. В заключение, горячекатаные промежуточные продукты подвергли холодной прокатке до толщины 4 мм. Полученный листовой прокат подвергли термообработке на твердый раствор при 475°C в течение примерно 20 минут, с последующей закалкой оросительным охлаждением водой. Полученные листы подвергли снятию напряжений путем операции холодного растяжения на

примерно 2%. Затем растянутые листы подвергли старению в течение 5 часов при 120°C + 8 часов при 165°C. Механические свойства определяли аналогично примеру 1, а результаты перечислены в таблице 10.

Результаты этого полномасштабного испытания подтверждают результаты примера 1 о том, что позитивное добавление Mn в определенном диапазоне значительно улучшает вязкость (и UPE, и Ts/R_p) листового проката, в результате чего получается очень хороший и желательный баланс прочности и вязкости.

Таблица 9 Химический состав испытанных сплавов, остальное - примеси и алюминий								
Сплав	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Ti	Zr
A	0,03	0,08	1,61	-	1,86	7,4	0,03	0,08
B	0,03	0,06	1,59	0,07	1,96	7,36	0,03	0,09

Таблица 10 Механические свойства изделий из испытанных сплавов, полученные в двух направлениях испытаний												
Сплав	Направление L						Направление LT					
	R _p МПа	R _m МПа	A50 (%)	TS	UPE	Ts/R _p	R _p МПа	R _m МПа	A50 (%)	TS	UPE	Ts/R _p
A	497	534	11,0	694	90	1,40	479	526	12,0	712	134	1,49
B	480	527	12,9	756	152	1,58	477	525	12,8	712	145	1,49

Пример 7

Два сплава были разлиты в промышленном масштабе посредством бесслиткового литья при толщине 440 мм и обработаны в листовой прокат толщиной 152 мм. Химические составы сплавов приведены в таблице 11, причем сплав С представляет типичный сплав, попадающий в диапазон составов серии AA7050, а сплав D представляет состав сплава согласно предпочтительному варианту реализации изобретения, когда изделие из алюминиевого сплава имеет вид плиты, например толстой плиты.

Со слитков удалили поверхностный слой, гомогенизировали в двухступенчатом цикле 12 часов при 470°C + 24 часов при 475°C и охладили на воздухе до температуры окружающей среды. Слиток подвергли предварительному нагреву в течение 8 часов при 410°C, с последующей горячей прокаткой до окончательной толщины. Полученный прокат в виде плит подвергли термообработке на твердый раствор при 475°C в течение примерно 6 часов, с последующей закалкой оросительным охлаждением водой. Полученные плиты подвергли снятию напряжений путем операции холодного растяжения на примерно 2%. Затем растянутые плиты подвергли процедуре двухступенчатого старения сначала в течение 5 часов при 120°C, а затем 12 часов при 165°C. Механические свойства определяли аналогично примеру 3 в трех направлениях испытаний, а результаты перечислены в таблицах 12 и 13. Образцы отбирали из плиты в положении S/4 для направлений испытаний L и LT и в положении S/2 - для направления испытания ST. Величина

K_{app} была измерена в местах S/2 и S/4 в направлении L-T с использованием панелей шириной 160 мм с трещиной по центру и имеющих после фрезерования толщину 6,3 мм. Эти измерения K_{app} были выполнены при комнатной температуре согласно ASTM E561. Обозначение «ок» для испытания на коррозионное растрескивание под напряжением (SCC, от английского «stress-corrosion cracking») означает отсутствие отказов при 180 МПа в течение 45 суток.

Результаты, приведенные в таблицах 12 и 13, показывают, что сплав согласно

изобретению обладает в сравнении с АА7050 сходными коррозионными характеристиками, прочностные свойства (предел текучести и предел прочности) сопоставимы или несколько лучше, чем у АА7050, в особенности - в направлении ST. Но более важно то, что сплав согласно настоящему изобретению продемонстрировал

значительно лучшие результаты по относительному удлинению (или А50) в направлении ST. Относительное удлинение (или А50), в частности относительное удлинение в направлении ST, является важным конструкционным параметром при проектировании, среди прочего, нервюр, предназначенных для использования в конструкции крыла самолета. Изделие из алюминиевого сплава согласно настоящему изобретению дополнительно демонстрирует значительное улучшение вязкости разрушения (как K_{IC} , так и K_{app}).

Таблица 11
Химический состав испытанных сплавов, остальное - примеси и алюминий

Сплав	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Ti	Zr
C	0,02	0,04	2,14	-	2,04	6,12	0,02	0,09
D	0,03	0,05	1,58	0,07	1,96	7,35	0,03	0,09

Таблица 12

Результаты испытаний на растяжение изделий в виде плит для трех направлений испытаний

Сплав	TYS (МПа)	TYS (МПа)	TYS (МПа)	UTS (МПа)	UTS (МПа)	UTS (МПа)	Удл. (%)	Удл. (%)	Удл. (%)
	L	LT	ST	L	LT	ST	L	LT	ST
C	483	472	440	528	537	513	9,0	7,3	3,3
D	496	486	460	531	542	526	9,2	8,0	5,8

Таблица 13

Дополнительные свойства испытанных изделий в виде плит

Таблица 13							
Дополнительные свойства испытанных изделий в виде плит							
Сплав	L-T K_{IC} (МПа·м ^{0,5})	T-L K_{IC} (МПа·м ^{0,5})	S-L K_{IC} (МПа·м ^{0,5})	L-T K_{app} (МПа·м ^{0,5})		EXCO	SCC
C	27,8	26,3	26,2	45,8 (s/4)	52 (s/2)	EA	ok
D	30,3	29,4	29,1	62,6 (s/4)	78,1 (s/2)	EA	ok

Пример 8

Два сплава были разлиты в промышленном масштабе посредством бесслиткового литья при толщине 440 мм и обработаны до изделия в виде плиты толщиной 63,5 мм. Химические составы сплавов приведены в таблице 14, причем сплав F представляет состав сплава согласно предпочтительному варианту реализации изобретения, когда изделие из алюминиевого сплава имеет вид плиты для крыльев.

Со слитков удалили поверхностный слой, гомогенизировали в двухступенчатом цикле в течение 12 часов при 470°C + в течение 24 часов при 475°C и охлаждали на воздухе до температуры окружающей среды. Слиток подвергли предварительному нагреву в течение 8 часов при 410°C, с последующей горячей прокаткой до окончательной толщины. Полученные изделия в виде плит подвергли термообработке на твердый раствор при 475°C в течение примерно 4 часов, с последующей закалкой оросительным охлаждением водой. Полученные в результате плиты растягивали путем операции холодного растяжения на примерно 2%. Затем растянутые плиты были состарены с использованием процедуры двухступенчатого старения сначала в течение 5 часов при 120°C, а затем 10 часов при 155°C.

Механические свойства были определены аналогично примеру 3 в трех направлениях испытаний и перечислены в таблице 15. Образцы отбирали в положении

Т/2. Оба сплава имели результат испытания по ЕХСО, соответствующий «ЕВ».

Результаты, приведенные в таблице 15, показывают, что позитивное давление Мп ведет к увеличению свойств на растяжение. Однако наиболее важно то, что значительно улучшаются свойства и особенно относительное удлинение (или А50) в направлении ST. Относительное удлинение (или А50) в направлении ST является важным конструкционным параметром при проектировании конструктивных деталей самолета, например листового материала крыла.

Таблица 14
Химический состав испытанных сплавов,
остальное - примеси и алюминий

Сплав	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Ti	Zr
Е	0,02	0,04	1,49	-	1,81	7,4	0,03	0,08
F	0,03	0,05	1,58	0,07	1,95	7,4	0,03	0,09

Таблица 15
Механические свойства испытанных изделий для трех направлений испытаний

Сплав	Направление L			Направление LT			Направление ST		
	TYS (МПа)	UTS (МПа)	Удл. (%)	TYS (МПа)	UTS (МПа)	Удл. (%)	TYS (МПа)	UTS (МПа)	Удл. (%)
Е	566	599	12	521	561	11	493	565	5,3
F	569	602	13	536	573	9,5	520	586	8,1

На основании вышеприведенного полного описания изобретения специалисту в данной области техники будет очевидна возможность внесения многочисленных изменений и модификаций без отступления от существа и объема изобретения, изложенного сразу после этого.

Формула изобретения

1. Изделие из алюминиевого сплава с высокими прочностью и вязкостью разрушения и хорошей коррозионной стойкостью, причем упомянутый сплав, по существу, содержит, мас. %:

Zn	от 6,5 до 9,5
Mg	от 1,92 до 2,1
Cu	от 1,0 до 1,8
Fe	<0,14
Si	<0,20, предпочтительно <0,12
Zr	от 0,04 до 0,3

необязательно, один или более из:

Sc	<0,7
Cr	<0,4
Hf	<0,3
Mn	<0,8
Ti	<0,4
V	<0,4,

и случайные примеси <0,05 каждый и <0,15 все вместе, а остальное составляет алюминий.

2. Изделие из алюминиевого сплава по п.1, в котором $[(0,9 \cdot \text{Mg}) - 0,6] \leq \text{Cu} \leq [(0,9 \cdot \text{Mg}) + 0,05]$.

3. Изделие из алюминиевого сплава по п.1, в котором $[(0,9 \cdot \text{Mg}) - 0,5] \leq \text{Cu} \leq [0,9 \cdot \text{Mg}]$.

4. Изделие из алюминиевого сплава по п.1, в котором $[(0,9 \cdot \text{Mg}) - 0,5] \leq \text{Cu} \leq [(0,9 \cdot \text{Mg}) - 0,1]$.

5. Изделие из алюминиевого сплава по п.1, в котором

5	Zn	6,5-7,9
	Mg	1,92-2,1
	Cu	1,2-1,80

6. Изделие из алюминиевого сплава по п.5, в котором

10	Zn	6,5-7,9
	Mg	1,92-1,95
	Cu	1,2-1,75

15 7. Изделие из алюминиевого сплава по п.1, в котором нижний предел содержания Zn составляет 6,7%.

8. Изделие из алюминиевого сплава по п.1, в котором нижний предел содержания Zn составляет 6,9%.

20 9. Изделие из алюминиевого сплава по п.1, в котором содержание Zr находится в диапазоне от 0,04 до 0,15%.

10. Изделие из алюминиевого сплава по п.1, в котором содержание Zr находится в диапазоне от 0,04 до 0,11%.

11. Изделие из алюминиевого сплава по п.1, в котором содержание Cr находится в диапазоне вплоть до 0,3%.

25 12. Изделие из алюминиевого сплава по п.1, в котором содержание Cr находится в диапазоне вплоть до 0,15%.

13. Изделие из алюминиевого сплава по п.12, в котором содержание Cr находится в диапазоне от 0,04 до 0,15%.

30 14. Изделие из алюминиевого сплава по п.1, в котором содержание Mn находится в диапазоне вплоть до 0,02%.

15. Изделие из алюминиевого сплава по п.1, в котором содержание Mn находится в диапазоне вплоть до 0,01%.

35 16. Изделие из алюминиевого сплава по п.1, в котором содержание Mn находится в диапазоне от 0,05 до 0,30%.

17. Изделие из алюминиевого сплава по п.1, в котором сплав состоит, по существу, из, мас. %:

40	Zn	от 7,2 до 7,7
	Mg	1,92
	Cu	от 1,43 до 1,52
	Zr или Cr	от 0,04 до 0,15
	Mn	<0,02
	Si	<0,07
45	Fe	<0,08
	Ti	<0,05

примеси <0,05 каждая, а все вместе <0,15, остальное - алюминий.

50 18. Изделие из алюминиевого сплава по п.17, в котором содержание Zr или Cr находится в диапазоне от 0,06 до 0,10.

19. Изделие из алюминиевого сплава по п.1, в котором сплав состоит, по существу, из, мас. %:

	Zn	от 7,2 до 7,7
	Mg	1,92
	Cu	от 1,43 до 1,52
	Zr или Cr	от 0,04 до 0,15
5	Mn	от 0,05 до 0,19
	Si	<0,07
	Fe	<0,08
	Ti	<0,05

примеси <0,05 каждая, а все вместе <0,15, остальное - алюминий.

10 20. Изделие из алюминиевого сплава по п.19, в котором содержание Zr или Cr находится в диапазоне от 0,06 до 0,10.

21. Изделие из алюминиевого сплава по п.19, в котором содержание Mn находится в диапазоне от 0,09 до 0,19.

15 22. Изделие из алюминиевого сплава по п.1, в котором сплав состоит, по существу, из, мас. %:

	Zn	от 7,2 до 7,7
	Mg	от 1,92 до 1,97
	Cu	от 1,43 до 1,52
20	Zr или Cr	от 0,04 до 0,15
	Mn	<0,02
	Si	<0,07
	Fe	<0,08
	Ti	<0,05

25 примеси <0,05 каждая, а все вместе <0,15, остальное - алюминий.

23. Изделие из алюминиевого сплава по п.22, в котором содержание Zr или Cr находится в диапазоне от 0,06 до 0,10.

30 24. Изделие из алюминиевого сплава по п.22, в котором содержание Mn <0,01.

25. Изделие из алюминиевого сплава по п.1, в котором сплав состоит, по существу, из, мас. %:

	Zn	от 7,2 до 7,7
	Mg	от 1,92 до 1,97
35	Cu	от 1,43 до 1,52
	Zr или Cr	от 0,04 до 0,15
	Mn	от 0,05 до 0,19
	Si	<0,07
	Fe	<0,08
40	Ti	<0,05

примеси <0,05 каждая, а все вместе <0,15, остальное - алюминий.

26. Изделие из алюминиевого сплава по п.25, в котором содержание Zr или Cr находится в диапазоне от 0,06 до 0,10.

45 27. Изделие из алюминиевого сплава по п.25, в котором содержание Mn находится в диапазоне от 0,09 до 0,19.

28. Изделие из алюминиевого сплава по п.1, причем изделие обладает сопротивлением коррозионному расслаиванию по EXCO на уровне «ЕВ» или лучше.

50 29. Изделие из алюминиевого сплава по п.1, причем изделие обладает сопротивлением коррозионному расслаиванию по EXCO на уровне «ЕА» или лучше.

30. Изделие из алюминиевого сплава по п.1, причем изделие имеет вид, выбранный из группы, состоящей из листа, плиты, поковки и штамповки.

31. Изделие из алюминиевого сплава по п.1, причем изделие имеет вид, выбранный из группы, состоящей из листа, плиты, поковки или штамповки как части конструктивной детали воздушного летательного аппарата.

32. Изделие из алюминиевого сплава по п.1, причем изделие выбрано из группы, состоящей из листа фюзеляжа, плиты верхней поверхности крыла, плиты нижней поверхности крыла, толстой плиты для получаемых механической обработкой деталей, поковки и тонкого листа для стрингеров.

33. Изделие из алюминиевого сплава по п.1, причем изделие имеет наибольшую толщину в поперечном сечении в диапазоне от 0,7 до 3 дюймов.

34. Изделие из алюминиевого сплава по п.1, причем изделие имеет толщину менее 1,5 дюйма.

35. Изделие из алюминиевого сплава по п.1, причем изделие имеет толщину менее 1,0 дюйма.

36. Изделие из алюминиевого сплава по п.1, причем изделие имеет толщину более 2,5 дюйма.

37. Изделие из алюминиевого сплава по п.1, причем изделие имеет толщину в диапазоне от 2,5 до 11 дюймов.

38. Конструктивный элемент из алюминиевого сплава для коммерческого реактивного самолета, причем этот конструктивный элемент изготовлен из изделия из алюминиевого сплава по п.1.

39. Плита пресс-формы, изготовленная из изделия из алюминиевого сплава в виде толстой плиты по п.36.

40. Способ производства изделия из алюминиевого сплава по п.1 с высокими прочностью и вязкостью разрушения и хорошей коррозионной стойкостью, включающий в себя производственные стадии:

- а) литья слитка, имеющего химический состав по любому из пп.1-24;
- б) предварительного нагрева слитка;
- в) горячей обработки слитка давлением до получения предварительно деформированной заготовки одним или более способами, выбранными из группы, состоящей из прокатки, штамповки иковки;
- г) необязательного повторного нагрева предварительно деформированной заготовки;
- д) горячей обработки давлением до получения формованной заготовки нужной формы;
- е) термообработки на твердый раствор упомянутой формованной заготовки при температуре и в течение времени, достаточных для перевода в твердый раствор, по существу, всех растворимых компонентов в сплаве;
- ж) закалки подвергнутой термообработке на твердый раствор заготовки путем закалки оросительным охлаждением или закалки погружением в воду или другую закалочную среду;
- з) необязательного растяжения или сжатия закаленной заготовки;
- и) искусственного старения закаленной и необязательно растянутой или сжатой заготовки до достижения желательного состояния.

41. Способ производства по п.40, в котором на стадии б) слиток гомогенизируют и предварительно нагревают.

42. Способ производства по п.40, в котором на стадии д) предварительно деформированную заготовку подвергают горячей обработке давлением, а далее холодной обработке давлением до получения формованной заготовки нужной формы.

43. Способ производства по п.40, в котором изделие из алюминиевого сплава было обработано до листа фюзеляжа.

44. Способ производства по п.40, в котором изделие из алюминиевого сплава было обработано до листа фюзеляжа с толщиной менее 1,5 дюйма.

5 45. Способ производства по п.40, в котором изделие из алюминиевого сплава было обработано до плиты нижней поверхности крыла.

46. Способ производства по п.40, в котором изделие из алюминиевого сплава было обработано до плиты верхней поверхности крыла.

10 47. Способ производства по п.40, в котором изделие из алюминиевого сплава было обработано штамповкой.

48. Способ производства по п.40, в котором изделие из алюминиевого сплава было обработано ковкой.

15 49. Способ производства по п.40, в котором изделие из алюминиевого сплава было обработано до тонкой плиты с толщиной в диапазоне от 0,7 до 3 дюймов.

50. Способ производства по п.40, в котором изделие из алюминиевого сплава было обработано до толстой плиты с толщиной вплоть до 11 дюймов.

20

25

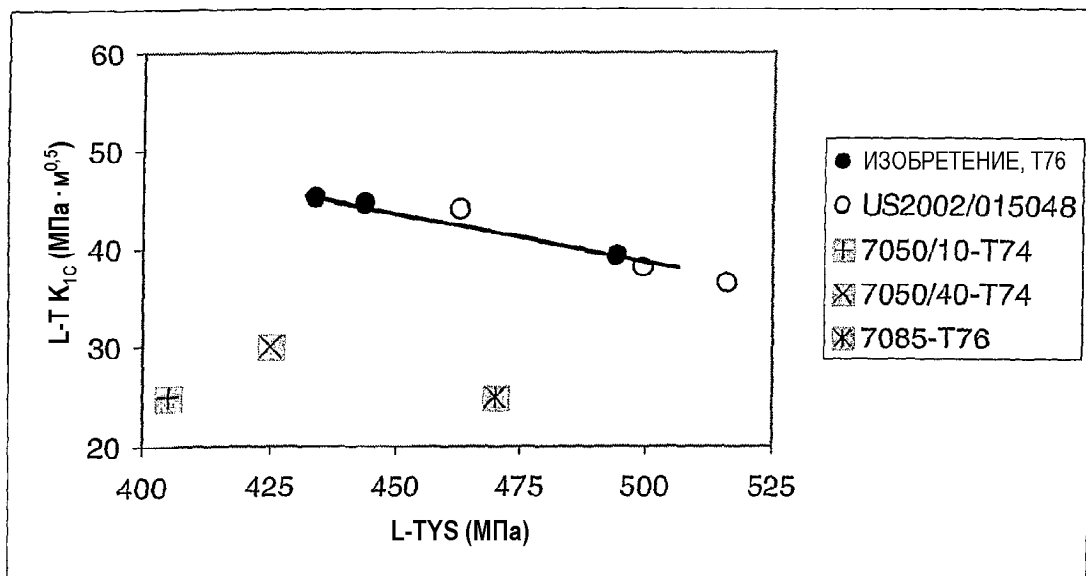
30

35

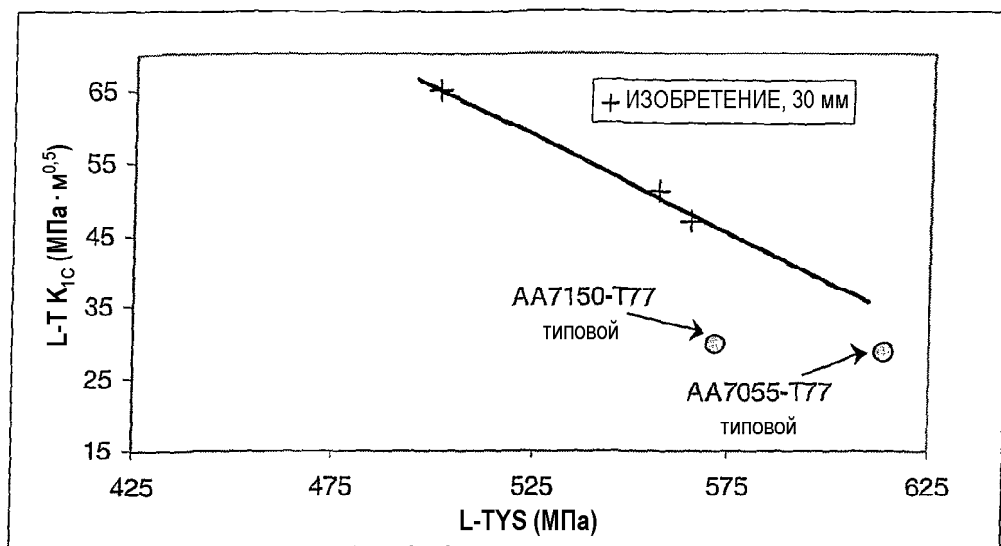
40

45

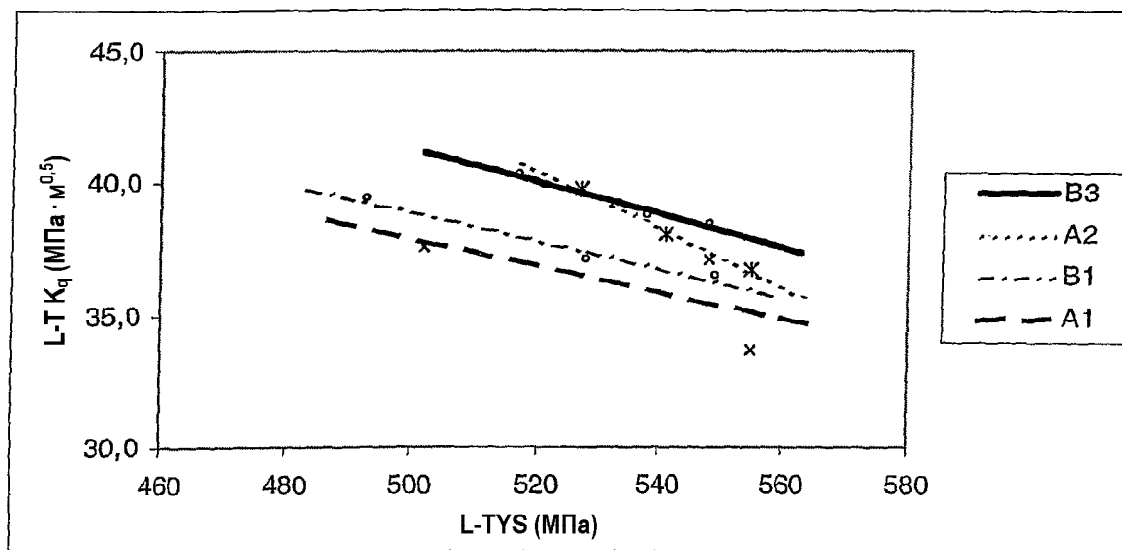
50



ФИГ.2



ФИГ.3



ФИГ.4