

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号
特許第4535731号
(P4535731)

(45) 発行日 平成22年9月1日(2010.9.1)

(24) 登録日 平成22年6月25日(2010.6.25)

(51) Int.Cl.
C 2 2 C 21/10 (2006.01)

F I
C 2 2 C 21/10

請求項の数 19 (全 18 頁)

(21) 出願番号	特願2003-582320 (P2003-582320)	(73) 特許権者	500092697
(86) (22) 出願日	平成15年4月4日 (2003.4.4)		アルカン レナリュ
(65) 公表番号	特表2005-528521 (P2005-528521A)		フランス共和国, 7 5 1 1 6 パリ, プラ
(43) 公表日	平成17年9月22日 (2005.9.22)		ス デュ シャンスリエ アドゥノエ, 7
(86) 国際出願番号	PCT/FR2003/001062	(74) 代理人	100080447
(87) 国際公開番号	W02003/085145		弁理士 太田 恵一
(87) 国際公開日	平成15年10月16日 (2003.10.16)	(72) 発明者	ウアルネー, ティモティ
審査請求日	平成18年3月13日 (2006.3.13)		フランス共和国, エフ-3 8 3 4 0 ヴォ
(31) 優先権主張番号	02/04257		レップ, リュ ブヴァルディエール, 6 2
(32) 優先日	平成14年4月5日 (2002.4.5)	(72) 発明者	シグリ, クリストフ
(33) 優先権主張国	フランス (FR)		フランス共和国, エフ-3 8 0 0 0 グル
前置審査		(72) 発明者	ノーブル, リュ ビザネ, 4 4
		(72) 発明者	ベス, ベルナール
			フランス共和国, エフ-3 8 1 8 0 セサ
			ン, アヴニユ ルイ アルマン, 3 4
			最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 静的機械的特性／耐損傷性の調和が向上したAL-ZN-MG-CU合金製品

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

AL - Zn - Mg - Cu 合金製の圧延、引抜きまたは鍛造製品において、（質量パーセントで）：

a) Zn 8.3 - 14.0、Cu 0.3 - 4.0、Mg 0.5 - 4.5、Zr 0.03 - 0.15、Fe + Si < 0.25、Ti 0.017 - 0.15、Sc 0.02 - 0.5

b) 残りのアルミニウムと不可避の不純物、
から成り、

c) Mg / Cu < 2.4 と

d) (7.7 - 0.4 Zn) > (Cu + Mg) > (6.4 - 0.4 Zn)

の条件を満足することを特徴とする製品。

【請求項 2】

AL - Zn - Mg - Cu 合金製の圧延、引抜きまたは鍛造製品において、（質量パーセントで）：

a) Zn 9.5 - 14.0、Cu 0.3 - 4.0、Mg 0.5 - 4.5、Fe + Si < 0.25、Zr 0.03 - 0.15、Ti 0.017 - 0.15

b) 残りのアルミニウムと不可避の不純物、
から成り、

c) Mg / Cu < 2.4 と

$d) (7.7 - 0.4 Zn) > (Cu + Mg) > (6.4 - 0.4 Zn)$
 の条件を満足することを特徴とする製品。

【請求項 3】

比 Mg / Cu が 2.0 未満であることを特徴とする、請求項 1 または 2 に記載の製品。

【請求項 4】

比 Mg / Cu が 1.7 未満であることを特徴とする、請求項 3 に記載の製品。

【請求項 5】

$Zn > 9.0\%$ であることを特徴とする、請求項 1 に記載の製品。

【請求項 6】

Cu 含有率および Mg 含有率のどちらか一方または両方のそれぞれが 3.0% を超えないことを特徴とする、請求項 1 から 5 のいずれか一つに記載の製品。 10

【請求項 7】

Zn 含有率が 9.0 と 11.0% の間に含まれることを特徴とする、請求項 2 から 6 のいずれか一つに記載の製品。

【請求項 8】

マグネシウム、銅、亜鉛およびケイ素の含有率が
 $Mg > 1.95 + 0.5 (Cu - 2.3) + 0.16 (Zn - 6) + 1.9 (Si - 0.04)$
 となる様に選択されることを特徴とする、請求項 1 から 7 のいずれか一つに記載の製品。 20

【請求項 9】

弾性限界 $R_{p0.2}(L) > 630 MPa$ であることを特徴とする、請求項 1 から 8 のいずれか一つに記載の製品。

【請求項 10】

$K_{IC}(L - T) > 23 MPa \cdot m$ であることを特徴とする、請求項 1 から 9 のいずれか一つに記載の製品。

【請求項 11】

幅 $W = 4.06 mm$ の試験片上で中間厚みにおいて ASTM E 561 に従って測定した $K_{app}(L - T)$ 値が、少なくとも $70 MPa \cdot m$ に等しいことを特徴とする、請求項 1 から 10 のいずれか一つに記載の製品。

【請求項 12】

$K_{IC}(L - T) > 25 MPa \cdot m$ であることを特徴とする、請求項 11 に記載の製品。 30

【請求項 13】

破断伸び $A\%(L) > 8\%$ であることを特徴とする、請求項 1 から 12 のいずれか一つに記載の製品。

【請求項 14】

Al - Zn - Mg - Cu 合金製の圧延または引抜き製品を少なくとも一つ組み込んだ航空機建造のための構造要素において、前記圧延または引抜き製品が（質量パーセントで）
 :

a) $Zn \ 8.3 - 14.0$ 、 $Cu \ 0.3 - 4.0$ 、 $Mg \ 0.5 - 4.5$ 、 $Zr \ 0.03 - 0.15$ 、 $Fe + Si < 0.15$ 、 $Ti \ 0.017 - 0.15$ 、 $Sc \ 0.02 - 0.5$ 40

b) 残りのアルミニウムと不可避の不純物、
 から成り、

また、前記圧延または引抜き製品が

c) $Mg / Cu < 2.4$; と

d) $(7.7 - 0.4 Zn) > (Cu + Mg) > (6.4 - 0.4 Zn)$
 の条件を満足することを特徴とする製品。

【請求項 15】

上面が Al - Zn - Mg - Cu 合金製金属板から製造された、翼のボックス構造におい 50

て、前記金属板が（質量パーセントで）：

a) $Zn \ 8.3 - 14.0$ 、 $Cu \ 0.3 - 4.0$ 、 $Mg \ 0.5 - 4.5$ 、 $Zr \ 0.03 - 0.15$ 、 $Fe + Si < 0.15$ 、 $Ti \ 0.017 - 0.15$ 、 $Sc \ 0.02 - 0.5$

b) 残りのアルミニウムと不可避の不純物、
から成り、

また、前記金属板が

c) $Mg / Cu < 2.4$ ；と

d) $(7.7 - 0.4 Zn) > (Cu + Mg) > (6.4 - 0.4 Zn)$

の条件を満足することを特徴とする、翼のボックス構造。

10

【請求項 16】

前記上面が、厚みが 60 mm を超える金属板から一体加工によって製造されることを特徴とする、請求項 15 に記載の翼のボックス構造。

【請求項 17】

補剛材の少なくとも一つが $Al - Zn - Mg - Cu$ 合金製の引抜き製品から製造された翼のボックス構造において、前記引抜き製品が（質量パーセントで）：

a) $Zn \ 8.3 - 14.0$ 、 $Cu \ 0.3 - 4.0$ 、 $Mg \ 0.5 - 4.5$ 、 $Zr \ 0.03 - 0.15$ 、 $Fe + Si < 0.15$ 、 $Ti \ 0.017 - 0.15$ 、 $Sc \ 0.02 - 0.5$

b) 残りのアルミニウムと不可避の不純物、
から成り、

20

また前記引抜き製品が

c) $Mg / Cu < 2.4$

d) $(7.7 - 0.4 Zn) > (Cu + Mg) > (6.4 - 0.4 Zn)$

の条件を満足することを特徴とする、翼のボックス構造。

【請求項 18】

前記金属板または前記引抜き製品が冶金組織 T6 または T651 で使用されることを特徴とする、請求項 15 から 17 のいずれか一つに記載の翼のボックス構造。

【請求項 19】

前記金属板または前記引抜き製品が冶金組織 T7 で使用されることを特徴とする、請求項 15 から 17 のいずれか一つに記載の翼のボックス構造。

30

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

発明の技術的分野

本発明は、 Zn 含有率が 8.3 % を超える、静的機械的特性 / 耐損傷性の調和が向上した $Al - Zn - Mg - Cu$ 型の合金、ならびにこれらの合金から作成した熱間加工半製品を組み込んだ航空機建造のための構造要素に関するものである。

【背景技術】

【0002】

40

$Al - Zn - Mg - Cu$ 型合金（7xxx 合金族に属する）は航空機建造に、またとくに民間航空機の翼の建造に広く用いられている。翼の上面には、例えば、7150、7055、7449 合金製の強い金属板製の外被、また場合によっては 7150、7055、または 7449 合金製の型材製の補剛材が用いられる。当業者には周知のこれらの合金名称は、アルミニウム協会の名称に対応する。

【0003】

これらの合金のいくつかは数十年前から知られており、例えば、7075 および 7175（亜鉛含有率が質量で 5.1 と 6.1 % の間）、7050（亜鉛含有率が 5.7 と 6.7 % の間）、7150（亜鉛含有率が 5.9 と 6.9 % の間）および 7049（亜鉛含有率が 7.2 と 8.2 % の間）合金などが知られている。それらは高い弾性限界、ならびに

50

、優れた靱性、および優れた耐応力腐食性と耐剥離腐食性を示す。もっと最近では、特定の用途分野について、亜鉛含有率がもっと高い合金を使用すれば、弾性限界をさらに増加させることができるので利益があるかもしれないことが明らかになった。7349および7449合金は、7.5と8.7%の間の亜鉛を含有している。亜鉛含有率がもっと高い熱間加工合金は、文献には記載されているが、航空機建造に使用されているとは思われない。

【0004】

米国特許第5560789号明細書(Pechiney Recherche)は、組成がZn10.7%、Mg2.84%、Cu0.92%で、引抜きによって加工される合金を開示している。これらの合金は、静的機械的特性-靱性の調和のためにとくに最適化されてない。

10

【0005】

米国特許第5221377号明細書(Aluminum Company of America)は、亜鉛含有率が最大11.4%のAl-Zn-Mg-Cu型合金をいくつか開示している。これらの合金は、後述のごとく、やはり本発明の目的に答えていない。

【0006】

他方で、例えば圧搾ガスポンペなどの、高圧に耐えるための中空体の製造のために、亜鉛含有率の高いAl-Zn-Mg-Cu合金の使用が提案された。欧州特許出願公開第020282号明細書(Societe Metallurgique de Gerzatt)は、亜鉛含有率が7.6と9.5%の間に含まれる合金を開示している。欧州特許出願公開第081441号明細書(Societe Metallurgique de Gerzatt)は、かかるポンペを得るための方法を開示している。欧州特許出願公開第257167号明細書(Societe Metallurgique de Gerzatt)は、既知のAl-Zn-Mg-Cu型合金のどれも、この特定の用途分野によって課される苛酷な技術的要求条件を確実に再現可能な形で満たすことができないことを確認している；同出願は、もっと低い、すなわち6.25%と8.0%の間に含まれる、亜鉛含有率を指向することを提案している。

20

【0007】

これらの特許の教示は、とくに圧搾ガスポンペの破裂圧力の最大化に関して、これらのポンペの諸問題に固有であり、他の熱間加工製品に当てはめられない。

30

【特許文献1】米国特許第5560789号明細書

【特許文献2】米国特許第5221377号明細書

【0008】

一般的に、Al-Zn-Mg-Cu型合金において、優れた静的機械的特性(弾性限界、破断限界)を得るためには、亜鉛だけでなく、MgとCuの高い含有率が必要である。しかし、同じく周知の如く(例えば、米国特許第5221377号明細書参照)、7x族の合金内の亜鉛含有率を約7から8%を超えて増加させたとき、耐剥離腐食性および耐応力腐食性の不足に関連する問題に遭遇する。もっと一般的に、もっとも充填率の高いAl-Zn-Mg-Cu合金は腐食の問題が生じるおそれがあることがわかっている。これらの問題は、特定の熱処理または熱的な機械的処理を用いて、例えば、T7型の処理の際に、とくに焼き戻し処理をピークを越えて進めることによって一般的に解決される。しかし、これらの処理は、そのとき、静的機械的特性の低下を招く可能性がある。言い換えれば、対象とする耐食性最低レベルについて、Al-Zn-Mg-Cu型合金の最適化は、静的機械的特性(弾性限界 $R_{p0.2}$ 、破断限界 R_m 、破断伸び A)と耐損傷性(靱性、亀裂伝播速度など)の間の調和を模索しなければならない。対象とする耐食性最低レベルによって、静的機械的特性に有利に働く靱性- $R_{p0.2}$ の調和を一般的に提供する、焼き戻しピークに近い組織(組織T6)を使用するか、または、靱性に有利に働く調和を求めてピークを越えて(組織T7)焼き戻しが進められる。これらの冶金組織は規格EN515に定義されている。

40

【発明の開示】

50

【発明が解決しようとする課題】

【0009】

したがって、本発明が解決しようとする課題は、靱性と静的機械的特性（破断限界、弾性限界）の間の向上した調和を特徴とし、十分な耐食性と高い破断伸びを示し、航空機産業の高い要求条件と両立する信頼性条件で工業的に製造することのできる、8.3%を超える高い亜鉛含有率のAl-Zn-Mg-Cu型合金製の新規な熱間加工製品を提案することにある。

【課題を解決するための手段】

【0010】

出願人は、添加元素Zn、CuおよびMg、ならびに特定の不純物（とくにFeとSi）の濃度を微細に調節し、場合によっては他の元素を添加することによって課題を解決することができることを発見した。

【0011】

本発明の第一の対象は、Al-Zn-Mg-Cu合金製の圧延、引抜きまたは鍛造製品によって構成され、該製品は（質量パーセントで）：

a) Zn 8.3 - 14.0、Cu 0.3 - 4.0 また好適には0.3 - 3.0、Mg 0.5 - 4.5 また好適には0.5 - 3.0、Zr 0.03 - 0.15、Fe + Si < 0.25

b) Sc、Hf、La、Ti、Ce、Nd、Eu、Gd、Tb、Dy、Ho、Er、Y、Yb から成る群から選択された少なくとも一つの元素であって、選択された場合、前記元素のそれぞれの含有率は0.02と0.7%の間に含まれる、

c) 残りのアルミニウムと不可避の不純物、を含有し、

d) $Mg / Cu < 2.4$ と

e) $(7.7 - 0.4 Zn) > (Cu + Mg) > (6.4 - 0.4 Zn)$

の条件を満足することを特徴としている。

【0012】

本発明の第二の対象は、Al-Zn-Mg-Cu合金製の圧延、引抜きまたは鍛造製品によって構成され、該製品は（質量パーセントで）：

a) Zn 9.5 - 14.0、Cu 0.3 - 4.0 また好適には0.3 - 3.0、Mg 0.5 - 4.5 また好適には0.5 - 3.0、Fe + Si < 0.25

b) Zr、Sc、Hf、La、Ti、Ce、Nd、Eu、Gd、Tb、Dy、Ho、Er、Y、Yb、Cr、Mn から成る群から選択された少なくとも一つの元素であって、選択された場合、前記元素のそれぞれの含有率は0.02と0.7%の間に含まれる、

c) 残りのアルミニウムと不可避の不純物、を含有し、

d) $Mg / Cu < 2.4$ と

e) $(7.7 - 0.4 Zn) > (Cu + Mg) > (6.4 - 0.4 Zn)$

の条件を満足することを特徴としている。

【0013】

本発明の第三の対象は、前記製品のうちの一つを組み込んだ航空機建造のための構造要素であり、またとくに、翼の上面など、民間航空機の翼のボックス構造の建造に用いられる構造要素である。

【発明を実施するための最良の形態】

【0014】

図面の簡単な説明

図1は航空機の翼のボックス構造を模式的に示している。記号は次の通りである：

- 1、4 上面
- 2 下面
- 3 縦通材

10

20

30

40

50

5 補剛材

6 ボックス構造高さ

7 ボックス構造幅

【0015】

図2は、実施例3の合金について、 $R_{p0.2}$ - K_{app} グラフにおける機械的耐性 - 耐損傷性の調和を示している。

【0016】

図3は、実施例5の合金について $R_{p0.2}$ - K_{app} グラフにおける機械的耐性 - 耐損傷性の調和を示している。

【0017】

本発明の詳細な説明

特記事項なき限り、合金の化学組成に関するすべての記事は質量パーセントで表現する。結果として、数式において、「0.4 Zn」は、質量パーセントで表した、0.4倍の亜鉛含有率を意味する；これは、しかるべき所を変えれば他の化学元素にも適用される。合金の命名はアルミニウム協会の規則に従う。冶金組織は欧州規格 EN 515 に定義されている。特記事項なき限り、静的機械的特性、すなわち、破断限界 R_m 、弾性限界 $R_{p0.2}$ および破断伸び A は、規格 EN 10002-1 に従った引張試験によって決定される。圧縮における静的機械的特性は、規格 ASTM E9 に従って決定された。平面変形における靱性 K_{IC} は、規格 ASTM E399 に従って決定された。パラメータ K_{app} は、幅 W が 127 mm に等しい CT 型の試験片で規格 ASTM E561 に従って測定された。「引抜き製品」という用語には、「延伸」とよばれる製品、すなわち引抜きの後、延伸によって作製した製品も含まれる。

【0018】

本出願人は、いくつかの予備研究の過程で、かなり向上した調和を示す新規材料が、十分な、典型的には約 8.3% を超える亜鉛含有率をどんな場合でも示すであろうとの結論に達した。しかしながら、この条件は十分ではない。

【0019】

本発明によれば、この問題は、合金元素と特定の不純物の含有率の微調整を用いて、また合金組成に他の特定の元素を濃度を制御して添加することによって、解決される。

【0020】

本発明は、

Zn 8.3 - 14.0、Cu 0.3 - 4.0、Mg 0.5 - 4.5、
ならびに後述の他のいくつかの特有の元素を含有し、残りがアルミニウムとそれらに不可避の不純物である、Al - Zn - Mg - Cu 合金に適用される。

【0021】

本発明による合金は、少なくとも 0.5% のマグネシウムを含有しなければならないが、なぜなら、マグネシウム含有率がもっと低いときには十分な静的機械的特性を得ることができないからである。本出願人が確認したところでは、8.3% 未満の亜鉛含有率では、既知の合金で得られるものより優れた結果は得られない。好適には、亜鉛含有率は 9.0% を超え、さらに好適には 9.5% を超える。しかしながら、後述の如く、特定の元素の間の特定の関係を尊重する必要がある。別の有利な実施態様によれば、亜鉛含有率は 9.0 と 11.0% の間に含まれる。如何なる場合にも、約 14% を超える亜鉛含有率は望ましくないのだが、なぜなら、この値を超えると、マグネシウムと銅の含有率のいかなるを問わず、結果は満足できるものではないからである。

【0022】

少なくとも 0.3% の銅の添加は耐食性を向上させる。しかし、十分な溶解を保証するために、Cu 含有率は約 4% を超えてはならず、Mg 含有率は約 4.5% を超えてはならない；これら二つの元素のそれぞれについて、3.0% の最大含有率が好ましい。

【0023】

本出願人は、課題を解決するためには、Al - Zn - Mg - Cu 型合金において、いく

10

20

30

40

50

つかの技術的特性を考慮しなければならないことを発見した。

【0024】

まず、合金は、有益な静的機械的特性を示すことができるように、人工時効または焼き戻し処理の間に析出可能な添加元素を十分に加えられなければならない。そのためには、本出願人の確認したところでは、上記の亜鉛、マグネシウムおよび銅の含有率についての最低および最高限度にくわえて、これらの添加元素の含有率が、条件 $Mg + Cu > 6.4 - 0.4 Zn$ を満たさなければならない。

【0025】

他方で、本出願人は、十分な靱性レベルを得るためには、 $Mg / Cu < 2.4$ 、好適には < 2.0 またさらに好適には < 1.7 でなければならないことを確認した。

10

【0026】

この効果を高めるためには、十分な含有率のいわゆる再結晶化防止元素を添加しなければならない。より詳細には、亜鉛が 9.5% を超える合金については、元素 Zr 、 Sc 、 Hf 、 La 、 Ti 、 Y 、 Ce 、 Nd 、 Eu 、 Gd 、 Tb 、 Dy 、 Ho 、 Er 、 Yb 、 Cr 、 Mn を含む群から選択された少なくとも一つの元素を添加しなければならず、また、存在する元素のそれぞれについて、濃度は 0.02 と 0.7% の間に含まれていなければならない。前記群の元素全体の濃度は 1.5% を超えないことが好ましい。

【0027】

これらの再結晶化防止元素は、熱処理または熱的な機械的処理の際に形成された微細な析出物の形で、再結晶化を阻止する。しかしながら、出願人は、合金に加えられた亜鉛の量が多いとき ($Zn > 9.5\%$)、熱間加工製品の焼き入れの際にあまりに多量の析出を回避する必要があるだろうことを発見した。したがって、焼き入れの際の析出に影響する再結晶化防止元素の含有率に関しては調和を見いだす必要がある。

20

【0028】

本発明によれば、亜鉛含有率が 8.3% と 9.5% の間に含まれる合金については、0.03% と 0.15% の間に含まれる含有率のジルコニウムと、さらに、 Sc 、 Hf 、 La 、 Ti 、 Y 、 Ce 、 Nd 、 Eu 、 Gd 、 Tb 、 Dy 、 Ho 、 Er 、 Yb を含む群から選択された少なくとも一つの元素を添加しなければならず、また、存在するそれぞれの元素について、濃度は 0.02 と 0.7% の間に含まれなければならない。本出願人は、前記再結晶化防止元素について、亜鉛含有率のいかなるを問わず、下記の最大含有率を超えないことが有利であることを確認した： Cr 0.40； Mn 0.60； Sc 0.50； Zr 0.15； Hf 0.60； Ti 0.15； Ce 0.35 また好適には 0.30； Nd 0.35 また好適には 0.30； Eu 0.35 また好適には 0.30； Gd 0.35； Tb 0.35； Ho 0.40； Dy 0.40； Er 0.40； Yb 0.40； Y 0.20； La 0.35 また好適には 0.30。有利には、これらの元素の合計は 1.5% を超えない。

30

【0029】

もう一つの技術的特徴は、航空機産業の高い要求条件と適合する信頼性条件において、また満足のいく経済的条件において、熱間加工製品を工業的に製造することができる必要性に係る。したがって、板またはビレットの固化の際にクラックまたは割れ目の発生を最小にするような化学組成を選択する必要がある、前記クラックまたは割れ目は、前記板またはビレットの廃棄につながる致命的欠陥となる。本出願人が数多くの試験の際に確認したところによると、このようなクラックまたは割れ目の発生は、合金 7000 が 470 未満で固化を終えるときにはるかに確率が高かった。工業的に許容できるレベルまで、鑄造でのクラックまたは割れ目の発生確率を大幅に減らすために、次のような化学組成を選択する方がよい：

40

$Mg > 1.95 + 0.5 (Cu - 2.3) + 0.16 (Zn - 6) + 1.9 (Si - 0.04)$

【0030】

この基準を、本発明の枠内で「鑄造性基準」と呼ぶ。本発明のこの変型に従って製錬さ

50

れた合金は、473 と478 の間に含まれる温度でその固化を終え、航空機産業の高い要求条件と両立する金属製錬方法の工業的信頼性（すなわち、鑄造板の品質恒常性）に達することを可能にする。

【0031】

本発明のもう一つの技術的特徴は、均質化処理および溶解処理の後の不溶性析出物の量をできる限り最小にする必要性に関するものであるが、なぜなら、それが靱性を減じるからである；そのために、 $Mg + Cu < 7.7 - 0.4Zn$ となるように、Mg、CuおよびZnの含有率を選択する。前記析出物は、典型的に、S、MまたはT型の3元素または4元素相Al - Zn - Mg - Cuのものである。

【0032】

最後に、出願人が確認したごとく、Sn、Cd、Ag、Ge、Inから成る群から選択された一つまたは複数の元素を、元素当たり0.02と0.15%の間に含まれるように少量混入することによって、焼き戻し処理に対する合金の反応を向上させることが可能であり、製品の機械的耐性と耐食性に良い効果がある。0.05と0.10%の間に含まれる含有率が好ましい。これらの元素の中で、銀が好適な元素である。

【0033】

本発明による製品はとくに圧延または引抜き製品である。それらは航空機建造における構造要素の製造に有利に使用できる。本発明による製品の推奨用途分野は、翼のボックス構造における、とくに、まず最初に耐圧縮性で現寸決定されるその上部（上面）における、構造要素としての用途である。図1は、民間航空機の翼のボックス構造の断面図を模式的に示している。かかる翼のボックス構造は、典型的には10mと40mの間に含まれる長さ、2mと10mの間に含まれる幅を有する；その高さは翼における場所によって変動し、典型的には0.2mと2mの間に位置する。ボックス構造は、上面（1）と下面（2）で構成される。民間航空機の上面（1）は、納入時の典型的厚みが15mmと60mmの間に含まれる厚板と、補剛材（5）とで構成され、該補剛材は、型材を元にして製造し、機械的固定手段（リベットまたはボルトなど）を用いて、または溶接技術（アーク溶接、レーザービーム溶接、または摩擦溶接など）によって、外被に固定することが可能である。上面構造（外被 - 補剛材）は、アルミ合金製の他の半製品の組立によっても得られる。それはまた、厚板または型材の一体加工によっても、すなわち組立なしに、得ることもできる。

【0034】

一般的に、かかる構造の重量をできる限り減らすために、固定手段（リベット、ボルトなど）または溶接接合部の数を減らすことが望ましい。したがって、その寸法が完成した翼のボックス構造の寸法にできるだけ近い金属板または引抜き製品を用いることが望ましい。例えば、幅が0.5mと4mの間に含まれ、厚みが10mmと60mm、あるいはさらに100mmの間に含まれ、長さが6mと20m以上の間に含まれるきわめて大きな寸法の半製品を用いる必要があるので、使用可能な材料の選択が制限される。より詳細には、圧延製品の場合、満足できる工業的信頼性があり、きわめて大きな寸法の、これらの厚板を得ることができなければならない。きわめて大型の航空機の場合、航空機の翼の長さは、20m、さらには30mを超えることがあり、それには、長さが20mまたは30mを超える金属板または型材を使用して、構造要素の組立を最小にする必要がある。充填率の高いAl - Zn - Mg - Cu合金製の、かかる寸法の金属板または型材の製造には、鑄造、圧延ならびに熱処理および熱的な機械的処理の方法の優秀な制御が必要であり、本発明による化学組成の適用が必要である。

【0035】

注目すべきは、薄いあるいは幅の小さい型材にはさらに、当業者には周知のプレス効果のおかげで静的機械的特性が大幅に向上するという利益があるということである。この効果は厚い型材では認められない。

【0036】

本発明による製品は、航空機建造において、構造要素として使用可能である。上面とし

10

20

30

40

50

て適用するには、T 6 型の冶金組織、例えば、T 6 5 1 が好ましい。T 7 組織での使用も考えられる。

【0037】

既知の Al - Zn - Mg - Cu 合金と少なくとも同等のレベルで耐剥離腐食性および耐応力腐食性を維持しながら、とくに航空機建造のためにきわめて興味深い特性、すなわち、630 MPa を超える、さらには 640 MPa を超える弾性限界 $R_{p0.2}(L)$ 、23 MPa m を超える、さらには 25 MPa m を超える靱性 $K_{IC}(L-T)$ 、8 % を超える、さらには 10 % を超える破断伸び A %、の調和を呈する、圧延、引抜きまたは鍛造半製品を製造することができる。これらの製品は、幅 $W = 406 \text{ mm}$ の試験片で $T/2$ で ASTM E 561 に従って測定した $K_{app}(L-T)$ 値を、少なくとも 70 MPa m に等しく、また好適には少なくとも 75 MPa m に等しくすることができる。

10

【0038】

本発明による製品は、翼のボックス構造における、例えば上面または補剛材の形での構造要素としての使用にとくに適している。本発明による製品の長所は、きわめて大寸法の航空機、とりわけ民間航空機の構造要素として、またとりわけ圧延または引抜き製品の形で、それらを使用することをとくに可能にする。とくに有利な用途分野において、これらの構造要素は、60 mm を超える厚みの金属板から製造される。

【0039】

型材の場合、スカンジウムなどの一つまたは複数の再結晶化防止元素の添加がとくに有利である；かかる効果は厚板の場合にも認められる。添加された再結晶化防止元素がスカンジウムである場合、0.02 と 0.50 % の間に含まれる含有率が有利である。銀または Cd、Ge、In、Sn などの他の元素の少量の添加（0.05 から 0.10 % 程度）は、焼き戻しの効率を向上させ、製品の機械的耐性と応力腐食に対する性質とにプラスの効果がある。

20

【0040】

本発明は実施例によって一層良く理解できるものであるが、しかしながら、この実施例は制限的な特徴をもつものではない。

【実施例】

【0041】

実施例 1：

30

板の半連続鋳造によって複数の Al - Zn - Mg - Cu 合金を準備し、均質化過程と、それに続く熱間圧延、溶解過程と、それに続く焼き入れ、応力除去作業と、そして最後に T 6 5 1 組織への焼き戻しとを有する従来の一連の加工にかける。このようにして、T 6 5 1 組織で厚みが 20 mm の金属板を得た。

【0042】

この試験を構成する金属板の組成は表 1 に示した。

【0043】

【表 1】

表 1

40

合金	Zn	Mg	Cu	Fe	Si	Zr	Ti	Mn	Sc
A	8.40	2.11	1.83	0.09	0.06	0.11	0.017	0	0
B	10.27	3.2	0.71	0.08	0.03	0.11	0.017	0	0
C	10.08	2.69	0.95	0.08	0.03	0.11	0.014	0	0
D	9.97	2.14	1.32	0.09	0.03	0.11	0.017	0	0

50

【 0 0 4 4 】

合金 A は現状技術による 7 4 4 9 合金であり、合金 B と C は Z n 含有率の高い合金で、本発明の技術的特徴を満たしていないものであり、合金 D は本発明による合金である。

【 0 0 4 5 】

中間厚みで採取した試験片について、E N 1 0 0 0 2 - 1 による引張に対する静的機械的特性、A S T M E 9 による圧縮弾性限界 $R_{p0.2}^C$ (上面のための現寸決定特性)、および A S T M E 3 9 9 による平坦変形における靱性 K_{IC} を求めた。結果は表 2 に示した：

【 0 0 4 6 】

【表 2】

10

表 2

合金	長手方向引張			TL 方向引張			L 方向圧縮	L-T 靱性
	$R_{p0.2}$ MPa	R_m MPa	A %	$R_{p0.2}$ MPa	R_m MPa	A %	$R_{p0.2}^C$ MPa	K_{IC} MPa \sqrt{m}
A	627	665	14.7	566	623	13.6	618	31.9
B	716	726.5	6.5	640	696	5.2	703	21.1
C	700	717	9.2	629	676	8.1	675	21
D	665	685	12.2	608	649	11	656	26.8

20

【 0 0 4 7 】

以上から明らかなごとく、本発明による合金は、先行技術による合金 7 4 4 9 よりも静的特性 / 靱性の調和が優れており (引張と圧縮の $R_{p0.2}$ がより高く、 K_{IC} は同等である)、また、本発明の技術特性を尊重していない、亜鉛含有率が高い合金は、成績が悪い。

【 0 0 4 8 】

実施例 2：

30

表 3 に示す化学組成の 2 つの合金を鋳造し、実施例 1 のものと類似の一連の加工をそれらに加えたが、但し、得られた金属板の厚みは 6 mm である。

【 0 0 4 9 】

【表 3】

表 3

合金	Zn	Mg	Cu	Fe	Si	Zr	Ti	Mn	Sc
E	8.42	2.09	1.9	0.07	0.02	0.10	0.016	0	0
F	8.34	2.11	1.84	0.07	0.03	0.11	0.018	0	0.083

40

【 0 0 5 0 】

合金 E は合金 7 4 4 9 であり、また合金 F は、0 . 0 8 3 % のスカンジウムの添加を含有する、本発明による合金である。

【 0 0 5 1 】

組織 T 6 5 1 で得られた静的機械的特性を、下記の表 4 に示した。靱性は、当業者には周知であり、Materials Research & Standards の pp . 1 5 1 - 1 5 5 に 1 9 6 4 年に掲載された J . G . Kaufman et A . H . Knoll の論文 Kahn - Type Tear Tests and Crack

50

Toughness of Aluminum Sheet にとりわけ記載されているカーン指標を用いて特性化された。パラメータ K_{app} は、幅 W が127mmに等しいCT型の試験片で、ASTM E561規格に従って測定した。パラメータ K_{app} （「見かけ K 」）は、試験の間に測定された最大負荷と上述の規格に示された公式の初期亀裂長さ（前亀裂の終わり）を用いて計算された応力強度因子である。これらの指標は、平坦応力靱性の測定に従来用いられている。この試験の際に実施した靱性測定結果を、以下の表5に示した。

【0052】

【表4】

表 4

合金	長手方向引張			TL 方向引張		
	$R_{p0.2}$	R_m	A	$R_{p0.2}$	R_m	A
	MPa	MPa	%	MPa	MPa	%
E	615	649	13.7	588	646	13.3
F	648	688	12.5	605	652	15.0

【0053】

【表5】

表 5

合金	カーン指標 (L-T) MPa	カーン指標 (T-L) MPa	K_{app} (L-T) MPa \sqrt{m}	K_{app} (T-L) MPa \sqrt{m}
E	231	212	58	37
F	236	218	57	36

【0054】

表4と5の結果は、同様な靱性について、さらには、スカンジウムのない合金のものに比べて優れている靱性について、本発明の対象の合金の静的機械的特性が向上していることを明らかに示している。

【0055】

実施例3：

化学組成を表6に示した2つの合金を鋳造し、実施例1のものと類似の一連の加工をそれらに加えたが、但し、得られた金属板の厚みは25mmと10mmであり、二つの焼き戻し組織を作製した：引張に対する機械的耐性のピークと定義される組織T651（120で48時間処理）と、組織T7×51（24時間120 + 17時間150）。

【0056】

10

20

30

40

【表 6】

表 6

合金	Zn	Mg	Cu	Fe	Si	Zr	Ti	Mn	Sc
R	8.3	2.13	1.85	0.030	0.032	0.11	0.017	0	0
S	8.6	2.1	1.9	0.07	0.03	0.11	0.017	0	0.078

10

【0057】

合金Rは合金7449であり、また合金Sは、スカンジウム0.078%の添加を含む、本発明による合金である。

【0058】

組織T651およびT7951で得られ、中間厚みで測定された静的機械的特性を、下記の表7に示した。

【0059】

平坦変形靱性 K_{IC} は、中間厚みで、ASTM E399規格に従って決定した。平坦応力靱性は、幅Wが406mmに等しいCCCT型の試験片でASTM E561規格に従って測定したパラメータ K_{app} を用いて、中間厚みで特性化した。この試験の際に実施した

20

【0060】

【表 7】

表 7

合金 厚み	組織	長手方向引張			TL方向引張		
		$R_{p0.2}$ MPa	R_m MPa	A %	$R_{p0.2}$ MPa	R_m MPa	A %
S-10 mm	T651	632	655	7.9	612	649	9.6
	T7x51	598	619	8.6	601	622	7.5
S-25 mm	T651	647	681	12.8	606	649	13.2
	T7x51	611	644	12.4	588	622	11.9
R-25 mm	T651	601	637	10.4	584	620	10.2
	T7x51	584	622	10.9	565	597	10.8

30

【0061】

40

【表 8】

表 8

合金 厚み	組織	K_{IC} (L-T) MPa \sqrt{m}	K_{IC} (T-L) MPa \sqrt{m}	K_{app} (L-T) MPa \sqrt{m}
S - 10 mm	T651	測定せず		72.8
	T7x51			73.7
S - 25 mm	T651	24	24	81.6
	T7x51	25	22	72.6
R - 25 mm	T651	231	212	56.1
	T7x51	236	218	84.4

10

【0062】

図2では、実施例3の合金について、 $R_{p0.2} - K_{app}$ のグラフにおける機械的耐性 - 耐損傷性の調和を示した。ここでわかるように、符合「R」の合金は、通常の調和を示す（機械的耐性が増すと靱性が低下する）。逆に、また意外なことに、本発明による合金「S」は、機械的耐性が増加したときに、靱性がわずかしか低下しない（厚み10mm）か、さらには顕著な増加を示す（厚み25mm）。他方で、本発明による合金は、基準合金よりもはるかに高い機械的耐性レベルと、同等か、さらにはそれを上回る靱性を示す。

20

【0063】

実施例4：

組成を表9に示した複数の合金を、すべての合金についてSi含有率をおよそ0.04%に等しくして鋳造した。

【0064】

合金G1、G2、G3およびG4は本発明の範囲外であり、実施例1に記載した合金BとCもそうである。合金Dは、実施例1に記載した本発明による合金である。これら全ての合金は、試験の際に十分な鋳造性を示し、すなわち、工業的規模の鋳造試験の際に割れ目やクラックは認められなかった。

30

【0065】

合金G5、G6、G7およびG8は本発明の範囲外であり、合金G9は現状技術による合金7060である；これらの合金は、鋳造試験の際に割れ目が認められた。

【0066】

これらの合金の鋳造の際に現れる障害は、これらの板から得られる熱間加工製品を必ずしも使用に不適にはしないが、コスト増の元になる、なぜなら、その利用（すなわち、廃棄された板の量に直結するパラメータである、投入した金属量に対する販売可能な金属量）が、本発明の推奨分野に対応する合金についてよりも大きくなるからである。くわえて、これらの合金の、固化の際に割れ目を形成する傾向のために、方法の統計的制御による品質保証プログラムの枠内での、鋳造方法の信頼性管理が非常に困難になる。

40

【0067】

ここでわかるように、鋳造において割れ目またはクラックを形成する傾向が顕著な7×××合金はすべて、マグネシウム臨界含有率よりも低いマグネシウム含有率を有する；この臨界値は、鋳造性基準によって定義されたMgの限界値を計算することによって得られたものである。

【0068】

【表 9】

表 9

合金	Zn (%)	Mg (%)	Cu (%)	観察された クラッキング性	Mg 臨界 含有率 (%)	Mg > 臨界 Mg
G1	7.5	3	3	低	2.54	はい
G2	8.5	3	2.3	低	2.35	はい
G3	7.5	3	1.6	低	1.84	はい
G4	6.5	3	2.3	低	2.03	はい
B	10.27	3.2	0.71	低	1.82	はい
C	10.08	2.69	0.95	低	1.91	はい
D	9.97	2.14	1.32	低	2.08	はい
G5	8.5	2.3	3	高	2.7	いいえ
G6	6.5	2.3	3	高	2.38	いいえ
G7	8.5	1.6	2.3	高	2.35	いいえ
G8	7.5	1.6	1.6	高	1.84	いいえ
G9	7	1.65	2.1	高	2.01	いいえ

【 0 0 6 9 】

実施例 5 :

実施例 1 に記載のものに類似の方法によって圧延板を作製した。化学組成は表 10 に示した。実施例 1 に記載のものに類似の方法によって、厚みが 25 mm の金属板を熱間圧延で準備した。それらを 472 と 480 の間に含まれる温度（これらの温度は、当業者には古典的手順である、圧延粗板に対する熱量測定の予備試験で求めた）で 2 時間溶解し、水焼き入れし、1.5 と 2 % の間に含まれる永久伸びで引張を行った。つぎに、金属板を、135 の温度で、焼き戻し処理にかけた。

【 0 0 7 0 】

【表 10】

表 10

合金	Zn	Mg	Cu	Fe	Si	Zr	Ti	Mn	Sc	Mg/Cu
M	9.94	3.02	0.78	0.04	0.03	0.10	0.063	0	0	3.87
N	10.00	2.72	0.77	0.06	0.04	0.10	0.055	0	0.10	3.53
K	9.90	2.03	1.55	0.03	0.03	0.10	0.05	0	0.10	1.31

【 0 0 7 1 】

上述の実施例で指定したごとく、引張および圧縮における静的機械的特性、ならびに韌性 K_{app} を、中間厚みで測定した。

【 0 0 7 2 】

10

20

30

40

【表 1 1】

表 1 1

合金	焼き戻し 時間 h	$R_{p0.2}$ MPa	R_m MPa	A %	$R_{p0.2}^C$ MPa	K_{app} (L-T) MPa√m
		L方向引張			L方向圧縮	
N	14.5	692	699	9.7	669	52.7
N	35	657	672	11.2	634	61.9
M	14.5	676	690	10.0	658	33.4
M	35	648	658	9.9	635	47.0
K	12.5	測定せず			645	79.4
K	14.5	671	689	11.7	649	76.2
K	35	659	672	11.4	648	84.8
K	120	測定せず			567	115.0

【0073】

金属板N、MおよびKについて、14.5時間の焼き戻しで組織T651に到ることが確認された。大幅にもっと長い焼き戻しについて、パラメータ $R_{p0.2}$ 、 $R_{p0.2}^C$ および R_m は低下し、平坦応力靱性 K_{app} は増加する。

【0074】

実施例3のごとく、 $R_{p0.2} - K_{app}$ のグラフにおける機械的耐性 - 耐損傷性の調和を示した。このグラフは、実施例5の合金についての図3に示されている。

【0075】

亜鉛含有率が等しく、スカンジウム含有率が等しいとき、比Mg/Cuがより小さい金属板Kは、金属板Nよりもはるかに優れた靱性値を示す。

【0076】

実施例6：

組成を表12に示した本発明による合金で、直径291mmの引抜きピレットを縦型鑄造で準備した。

【0077】

【表 1 2】

表 1 2

合金	Zn	Mg	Cu	Cr	Mn	Si	Fe	Zr	Ti	Mg/Cu
T	9.43	1.96	1.67	-	0.01	0.05	0.07	0.12	0.03	1.17

【0078】

均質化(7時間460 + 23時間466)し表層を削ったピレットを押出成形したが、コンテナと器具の温度は400を超え、引抜き速度は0.50m/分未満である。型材の幾何は、底部(厚み15mm、幅152mm)、リブ(厚み15mm、高さ38mm)、および補強材(厚み23mm、幅76mm)を含む。

【0079】

溶解(平坦部で4時間472)、焼き入れ、制御された引張の後、型材をT7A511(6時間120 + 7時間135)およびT7B511(6時間120 + 28時間135)の焼き戻し処理にかけた；文字AとBは、ここではこれらの異なる焼き戻し条件を象徴している。

【 0 0 8 0 】

正確な組成が本発明には対応しないが、7449合金製の類似の幾何の形材も、組織 T79511で参考として作製した。

【 0 0 8 1 】

これらの形材の特性化の結果を下記の表13に示した(文字Xは、その製品について特性を決定しなかったことを示している)。

【 0 0 8 2 】

【表13】

表13

10

合金 (位置)	組織	L方向静的特性				靱性	
		引張			圧縮	K _{IC}	K _{IC}
		R _{p0.2}	R _m	A	R _{p0.2} ^C	(L-T)	(T-L)
		MPa	MPa	%	MPa	MPa√m	MPa√m
7449 (補強材)	T79511	625	650	13.0	645	30	20
T (補強材)	T7A511	694	707	11.5	712	46.8	20.4
T (底部)		669	689	12.3	665	34.2	22.1
T (リブ)		664	678	11.6	659	X	X
T (補強材)	T7B511	681	685	10.6	707	37.0	20.3
T (底部)		663	670	11.0	676	29.0	22.8
T (リブ)		661	666	10.2	666	X	X

20

【 0 0 8 3 】

明らかに、本発明による合金「T」は、機械的耐性 - 靱性の調和がはるかに優れている。

30

【図面の簡単な説明】

【 0 0 8 4 】

【図1】航空機の翼のボックス構造を模式的に示している。

【図2】実施例3の合金について、R_{p0.2} - K_{app}グラフにおける機械的耐性 - 耐損傷性の調和を示している。

【図3】実施例5の合金についてR_{p0.2} - K_{app}グラフにおける機械的耐性 - 耐損傷性の調和を示している。

【符号の説明】

【 0 0 8 5 】

40

1 上面

2 下面

【図 1】

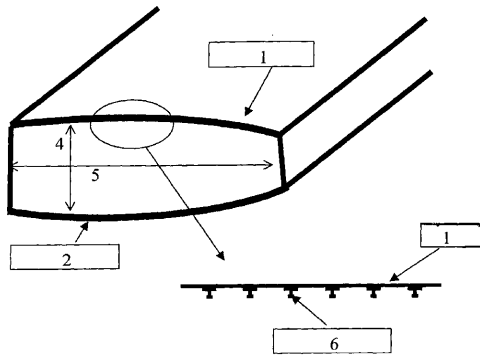


Figure 1

【図 2】

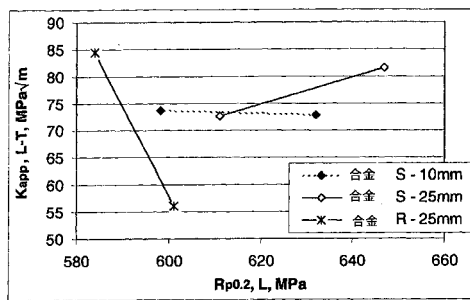


図 2

【図 3】

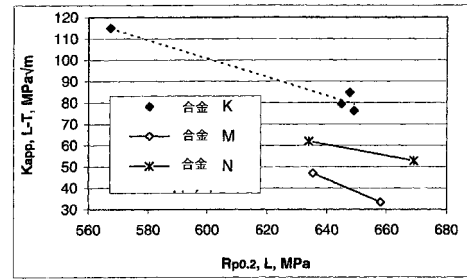


図 3

フロントページの続き

審査官 鈴木 毅

(56)参考文献 特開昭 6 2 - 0 4 4 5 5 0 (J P , A)
特開平 0 3 - 1 4 0 4 3 3 (J P , A)
米国特許第 0 5 5 6 0 7 8 9 (U S , A)
特表 2 0 0 0 - 5 0 4 0 6 8 (J P , A)
特開平 0 8 - 2 9 5 9 7 6 (J P , A)
特表 2 0 0 4 - 5 1 7 2 1 0 (J P , A)
特開昭 6 2 - 2 0 7 8 4 2 (J P , A)

(58)調査した分野(Int.Cl. , D B 名)
C22C 21/10 - 21/18
C22F 1/04 - 1/057