



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 603 00 004 T2 2005.01.20**

(12) **Übersetzung der europäischen Patentschrift**

(97) **EP 1 382 698 B1**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **603 00 004.5**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **03 356 108.5**

(96) Europäischer Anmeldetag: **09.07.2003**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **21.01.2004**

(97) Veröffentlichungstag

der Patenterteilung beim EPA: **26.05.2004**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **20.01.2005**

(51) Int Cl.7: **C22C 21/12**

C22C 21/16, C22C 21/18

(30) Unionspriorität:

0208737 11.07.2002 FR

(73) Patentinhaber:

Pechiney Rhenalu, Paris, FR

(74) Vertreter:

BEETZ & PARTNER Patentanwälte, 80538 München

(84) Benannte Vertragsstaaten:

AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LI, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI

(72) Erfinder:

Warner, Timothy, Ravenswood, US; Dif, Ronan, 38590 Saint Etienne de Saint Geoirs, FR; Bes, Bernard, 38180 Seyssins, FR; Ribes, Herve, 63500 Issoire, FR

(54) Bezeichnung: **Knetprodukt aus Al-Cu-Mg-Legierung für das Strukturbauteil eines Flugzeugs**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99 (1) Europäisches Patentübereinkommen).

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patent- und Markenamt inhaltlich nicht geprüft.

Beschreibung

Gebiet der Erfindung

[0001] Die Erfindung betrifft Flugzeugstrukturbauteile, insbesondere Bleche für das Rumpfwerk kommerzieller Großraumflugzeuge, die aus lösungsgeglühten, abgeschreckten und kaltumgeformten Walz-, Strangpress- oder Schmiedeprodukten aus AlCuMg-Legierung hergestellt werden und im Verhältnis zu Produkten älterer Technik für die gleiche Anwendung einen verbesserten Kompromiss zwischen den einzelnen geforderten Gebrauchseigenschaften aufweisen.

Stand der Technik

[0002] Der Rumpf kommerzieller Großraumflugzeuge besteht typischerweise aus einer Blechaußenhaut aus AlCuMg-Legierung sowie Längsversteifungen und umfangsseitig angeordneten Rahmen. Es wird zumeist eine Legierung vom Typ 2024 eingesetzt, die nach der Bezeichnung der Aluminium Association oder der Norm EN 573-3 folgende chemische Zusammensetzung (Gew.-%) hat:

Si < 0,5 Fe < 0,5 Cu: 3,8 - 4,9 Mg: 1,2 - 1,8 Mn: 0,3 - 0,9
Cr < 0,10 Zn < 0,25 Ti < 0,15.

[0003] Es werden auch Varianten dieser Legierung eingesetzt. Man verlangt von diesen Strukturelementen einen Kompromiss zwischen mehreren Eigenschaften: mechanische Festigkeit (d.h. statische Festigkeitseigenschaften), Schadentoleranz (Bruchzähigkeit und Rissbildungsgeschwindigkeit bei Ermüdung), Ermüdungsfestigkeit (insbesondere oligozyklische Ermüdungsfestigkeit), Beständigkeit gegen die verschiedenen Korrosionsformen, Formbarkeit. In bestimmten Fällen und besonders bei Überschallflugzeugen kann die Kriechfestigkeit kritisch sein.

[0004] Zur Verbesserung des Kompromisses zwischen den einzelnen geforderten Eigenschaften, insbesondere mechanische Festigkeit und Bruchzähigkeit, wurden verschiedene alternative Lösungen vorgeschlagen. Boeing entwickelte die Legierung 2034 mit der Zusammensetzung:

Si < 0,10 Fe < 0,12 Cu: 4,2 - 4,8 Mg: 1,3 - 1,9
Mn: 0,8 - 1,3 Cr < 0,05 Zn < 0,20 Ti < 0,15 Zr: 0,08 - 0,15.

Diese Legierung ist Gegenstand der Patentschrift EP 0 031 605 (= US 4 336 075). Sie besitzt im Vergleich zur Legierung 2024 im Zustand T351 eine bessere spezifische Dehngrenze, die auf den erhöhten Mangangehalt und den Zusatz eines weiteren rekristallisationshemmenden Legierungselementes (Zr) zurückzuführen ist, sowie eine verbesserte Bruchzähigkeit und Ermüdungsfestigkeit.

[0005] US 5 652 063 (Alcoa) betrifft ein Flugzeugstrukturelement aus einer Legierung mit folgender Zusammensetzung (Gew.-%):

Cu: 4,85 - 5,3 Mg: 0,51 - 1,0 Mn: 0,4 - 0,8 Ag: 0,2 - 0,8
Si < 0,1 Fe < 0,1 Zr < 0,25 mit Cu/Mg zwischen 5 und 9.

[0006] Das Blech aus dieser Legierung im Zustand T8 weist eine Dehngrenze > 77 ksi (531 MPa) auf. Die Legierung ist vor allem für Überschallflugzeuge bestimmt.

[0007] EP 0 473 122 (=US 5 213 639) von Alcoa beschreibt eine bei der Aluminium Association unter 2524 registrierte Legierung mit der Zusammensetzung:

Si < 0,10 Fe < 0,12 Cu: 3,8 - 4,5 Mg: 1,2 - 1,8 Mn: 0,3 - 0,9, die eventuell ein weiteres, rekristallisationshemmendes Legierungselement (Zr, V, Hf, Cr, Ag oder Sc) enthalten kann. Diese Legierung ist vor allem für dünne Rumpfbleche bestimmt und weist im Vergleich zur Legierung 2024 eine verbesserte Bruchzähigkeit und ein verbessertes Rissausbreitungsverhalten auf.

[0008] Die Patentanmeldung EP 0 731 185 der Anmelderin betrifft eine später unter der Nummer 2024A registrierte Legierung mit der Zusammensetzung:

Si < 0,25 Fe < 0,25 Cu: 3,5 - 5 Mg: 1 - 2 Mn < 0,55 mit der Beziehung $0 < \text{Mn} - 2\text{Fe} < 0,2$. Die dicken Bleche aus dieser Legierung weisen unter Beibehaltung ihrer anderen Eigenschaften sowohl eine verbesserte Bruch-

zähigkeit als auch weniger Restspannungen auf.

[0009] Das Patent US 5 593 516 (Reynolds) betrifft eine Legierung für luftfahrttechnische Anwendungen mit 2,5 bis 5,5 % Cu und 0,1 bis 2,3 % Mg, bei der die Cu- und Mg-Gehalte unter ihrer Löslichkeitsgrenze in Aluminium gehalten und durch folgende Gleichungen gebunden sind: $Cu_{\max} = 5,59 - 0,91 Mg$ und $Cu_{\min} = 4,59 - 0,91 Mg$. Die Legierung kann zusätzlich enthalten:
 $Zr < 0,20\%$ $V < 0,20\%$ $Mn < 0,80\%$ $Ti < 0,05\%$ $Fe < 0,15\%$
 $Si < 0,10\%$.

[0010] Die Patente US 5 376 192 und US 5 512 112, die aus der gleichen Erstanmeldung hervorgehen, betreffen Legierungen dieser Art mit 0,1 bis 1 % Silber. Es sei angemerkt, dass der Einsatz von Silber bei dieser Legierungsart zu einer Erhöhung der Herstellungskosten und zu Problemen beim Recyceln des Herstellungsfalles führt.

[0011] In der Patentanmeldung EP 1 170 394 A2 (Alcoa) sind vier AlCu-Legierungen mit jeweils folgender Zusammensetzung beschrieben:

Cu 4,08 , Mn 0,29 , Mg 1,36 , Zr 0,12 , Fe 0,02 , Si 0,01

Cu 4,33 , Mn 0,30 , Mg 1,38 , Zr 0,10 , Fe 0,01 , Si 0,00

Cu 4,09 , Mn 0,58 , Mg 1,35 , Zr 0,11 , Fe 0,02 , Si 0,01 und

Cu 4,22 , Mn 0,66 , Mg 1,32 , Zr 0,10 , Fe 0,01 , Si 0,01.

[0012] Das Patent lehrt, wie diese Produkte zu Blechen verarbeitet werden, die ein Gefüge mit länglichen Körnern besitzen, in dem die Körner ein Verhältnis von Länge zu Dicke größer als 4 aufweisen. Dieses Erzeugnis hat aufgrund seines sehr spezifischen Mikrogefüges und seiner ebensolchen Textur gute Festigkeits- und Schadentoleranzeigenschaften. Ein Nachteil dieser Legierungen besteht darin, dass sie auf hochreinem Aluminium basieren (sehr geringer Silizium- und Eisengehalt), das teuer ist. Ein anderes Patent des gleichen Anmelders, US 5,630,889, offenbart ein Blech im Zustand T6 oder T8 aus AlCuMg-Legierung mit:
 $Cu 4,66$, $Mg 0,81$, $Mn 0,62$, $Fe 0,06$, $Si 0,04$, $Zn 0,36\%$.

[0013] Eine Beimischung von Silber verbessert die Eigenschaften dieser Legierung. Allerdings ist Silber ein teures Element, das auch die Möglichkeiten zum Recyceln der so erhaltenen Erzeugnisse und der bei ihrer Herstellung anfallenden Abfälle begrenzt, wodurch sich die Herstellungskosten noch mehr erhöhen.

[0014] Ziel der vorliegenden Erfindung ist es, Flugzeugstrukturelemente und insbesondere Rumpfelemente aus AlCuMg-Legierung herzustellen, die im Vergleich zur älteren Technik eine verbesserte Schadentoleranz, eine zumindest gleichgute mechanische Festigkeit und eine verbesserte Korrosionsbeständigkeit aufweisen, und zwar ohne dabei auf Legierungselemente zurückzugreifen, die teuer sind und beim Recyceln störend wirken.

Gegenstand der Erfindung

[0015] Die Erfindung betrifft ein Knetprodukt, insbesondere ein Walz-, Strangpress- oder Schmiedeprodukt aus AlCuMg-Legierung der Zusammensetzung (Gew.%):

$Cu 3,80 - 4,30$, $Mg 1,25 - 1,45$, $Mn 0,20 - 0,50$, $Zn 0,40 - 1,30$, $Zr \leq 0,05$,

$Fe < 0,15$, $Si < 0,15$, $Ag < 0,01$,

weitere Elemente jeweils $< 0,05$ und insgesamt $< 0,15$, Rest Al, wobei dieses Produkt lösungsgeglüht, abgeschreckt und kaltumgeformt werden kann mit einer bleibenden Verformung von 0,5 bis 15 %, bevorzugt 1 bis 5 % und besonders bevorzugt 1,5 bis 3,5 %. Die Kaltumformung kann durch kontrolliertes Recken und/oder Kaltbearbeitung wie Walzen oder Ziehen erfolgen.

[0016] Die Erfindung betrifft auch ein Strukturelement für den Flugzeugbau, insbesondere ein Rumpfbauteil für Luftfahrzeuge, das aus einem solchen Knetprodukt und insbesondere aus einem solchen Walzprodukt hergestellt wird.

Beschreibung der Erfindung

[0017] Soweit nicht anders angegeben, sind alle Angaben zur chemischen Zusammensetzung der Legierung-

gen in Masseprozent ausgedrückt. In einem mathematischen Ausdruck bedeutet folglich "0,4 Zn": 0,4-facher Zinkgehalt, ausgedrückt in Masseprozent; dies gilt entsprechend auch für die anderen chemischen Elemente. Die Bezeichnung der Legierungen entspricht den Regeln der Aluminium Association. Die Werkstoffzustände sind in der europäischen Norm EN 515 definiert. Soweit nicht anders angegeben, werden die statischen Festigkeitseigenschaften, d.h. Bruchfestigkeit R_m , Elastizitätsgrenze $R_{p0,2}$ und Bruchdehnung A, durch einen Zugversuch gemäß EN-Norm 10002-1 bestimmt. Der Begriff "Strangpressprodukt" schließt die sog. "Ziehprodukte" mit ein, d.h. die durch Strangpressen und anschließendes Ziehen hergestellten Produkte.

[0018] Bei den AlCuMg-Legierungen älterer Technik, die bei der Herstellung von Strukturbauteilen für Flugzeugrümpfe die besten Leistungen zeigen, wird ein gutes Bruchzähigkeitsniveau durch Festlegung sehr niedriger Eisen- und Siliziumanteile sowie durch niedrig gehaltene Kupfer- und Magnesiumgehalte erreicht, um das Inlösengehen grober intermetallischer Partikel zu erleichtern. Um ein ausreichendes Festigkeitsniveau zu erzielen, neigt der Fachmann dazu, einen hohen Gehalt an Mangan zu bewahren, da Mangan zur Härtung der Legierung beiträgt. Fast alle Legierungen der Serie 2xxx enthalten nicht mehr als 0,25 % Zink.

[0019] Der Kupfergehalt der erfindungsgemäßen Legierung beträgt 3,80 bis 4,30 und vorzugsweise 4,05 bis 4,30 %; er liegt demnach in der unteren Hälfte des Zusammensetzungsbereichs der Legierung 2024, um den Restvolumenanteil an groben Kupferpartikeln niedrig zu halten. Aus dem gleichen Grund ist auch der Magnesiumgehalt, der zwischen 1,25 und 1,45 % und vorzugsweise zwischen 1,28 und 1,42 % liegen muss, im Vergleich zu dem der Legierung 2024 nach unten verschoben. Der Mangangehalt wird zwischen 0,20 und 0,50 %, bevorzugt zwischen 0,30 und 0,50 % und besonders bevorzugt zwischen 0,35 und 0,48 % gehalten. Zur Umsetzung der Erfindung braucht nicht mehr als 0,05 % Zirkon beigemischt werden.

[0020] Die vorliegende Erfindung erfordert eine sorgfältige Kontrolle des Zinkgehaltes, da die Legierung wenig Kupfer, Magnesium und Mangan enthält. Der Zinkgehalt muss zwischen 0,40 und 1,30 %, bevorzugt zwischen 0,50 und 1,10 und besonders bevorzugt zwischen 0,50 und 0,70 % liegen. Bei einer vorteilhaften Ausführungsart sollte bei einem Kupfer-, Magnesium- und Mangangehalt von weniger als 4,20 bzw. 1,38 bzw. 0,42 % der Zinkgehalt mindestens gleich $(1,2Cu - 0,3Mn + 0,3Mn - 3,75)$ sein.

[0021] Den Feststellungen der Anmelderin zufolge führt dieser geringe Gehalt an Kupfer, Magnesium und Mangan und der Zusatz einer exakt kontrollierten Menge von Zink unter Verwendung geeigneter Umsetzungsverfahren zu Blechen, die in etwa die gleiche mechanische Festigkeit, jedoch eine bessere Schadentoleranz verglichen mit Blechen ohne diesen Zinkzusatz haben, sowie zu einer zumindest Bleichguten Formbarkeit und einer besseren Korrosionsbeständigkeit.

[0022] Die Silizium- und Eisengehalte werden im Hinblick auf eine gute Bruchzähigkeit jeweils unter 0,15 %, vorzugsweise unter 0,10 % gehalten. Dem Fachmann ist bekannt, dass die Verminderung des Eisen- und Siliziumgehaltes die Schadentoleranz der im Flugzeugbau eingesetzten AlCuMg- und AlZnMgCu-Legierungen verbessert (cf. Artikel von J.T. Staley, "Microstructure and Toughness of High Strength Aluminium Alloys", erschienen in "Properties Related to Fracture Toughness", ASTM STP605, ASTM, 1976, S. 71-103). Allerdings erweist sich der Schadentoleranzgewinn aufgrund der Verwendung eines Aluminiums mit weniger als 0,06 % Eisen und Silizium nur in ganz besonderen Fällen (je nach Legierungsart und vorgesehener Anwendung) als hoch genug, um valorisiert werden zu können. Für die Umsetzung der vorliegenden Erfindung ist es nicht erforderlich, dass der Eisen- und Siliziumgehalt jeweils unter 0,06 % liegt, denn in dem gewählten Zusammensetzungsbereich ist die Schadentoleranz sehr gut.

[0023] Schließlich enthält die Legierung im Gegensatz zu den in den Patenten US 5 376 192, US 5 512 112 und US 5 593 516 beschriebenen Legierungen keinen Silberzusatz und auch kein anderes Element, das die Produktionskosten der Legierung erhöhen und die anderen, am gleichen Ort hergestellten Legierungen durch Recyceln der Herstellungsabfälle verschmutzen könnte.

[0024] Das bevorzugte Herstellungsverfahren umfasst das Gießen von Platten, falls das herzustellende Produkt ein Walzblech ist, oder von Pressbarren, falls es sich um ein Strangpressprodukt oder ein Schmiedestück handelt. Die Platte bzw. der Barren wird gefräst und bei 450 bis 500°C homogenisiert. Dann erfolgt die Warmbearbeitung durch Walzen, Strangpressen oder Schmieden, an die sich eventuell zusätzlich eine Kaltbearbeitung anschließt. Das Walz-, Strangpress- oder Schmiedeprodukt wird danach bei 480 bis 505°C lösungsgelüht, und zwar so vollständig wie möglich, d.h. so, dass möglichst viele potentiell lösliche Phasen, insbesondere die Al_2Cu - und Al_2CuMg -Ausscheidungen tatsächlich in Lösung gehen. Die Qualität der Lösungsglühung kann durch enthalpische Differentialanalyse (AED) bewertet werden, indem die spezifische Energie mit Hilfe der Peakfläche auf dem Thermogramm gemessen wird. Diese spezifische Energie sollte vorzugsweise weni-

ger als 2 J/g betragen.

[0025] Danach wird mit kaltem Wasser abgeschreckt und dann eine Kaltumformung vorgenommen, die zu einer bleibenden Dehnung von 0,5 bis 15 % führt. Diese Kaltumformung kann ein kontrolliertes Recken mit einer bleibenden Dehnung von 1 bis 5 % sein, wodurch das Produkt den Zustand T351 annimmt. Bevorzugt wird ein kontrolliertes Recken mit einer bleibenden Verlängerung von 1,5 bis 3,5 %. Es kann auch eine Kaltbearbeitung sein, durch Walzen im Falle von Blechen bzw. Ziehen bei Profilen, mit einer bleibenden Dehnung von bis zu 15 %, wodurch das Produkt den Zustand T39 oder den Zustand T3951 annimmt, wenn man Walzen oder Ziehen mit Recken kombiniert. Das Produkt wird schließlich bei Raumtemperatur ausgelagert. Das sich zum Schluss ergebende Mikrogefüge ist generell weitgehend rekristallisiert und weist relativ feine, globulitische Körner auf.

[0026] Das Produkt gemäß der vorliegenden Erfindung eignet sich gut für die Verwendung als Strukturbauteil für Luftfahrzeuge, zum Beispiel als Bauteil für die Außenhaut von Flugzeugrümpfen und insbesondere als Bauteil für die aus Blechen bestehende Deckschicht (Außenhaut) von Flugzeugrümpfen. Diese vorzugsweise plattierten Bleche sind 1 bis 16 mm dick und gut beständig gegen interkristalline Korrosion und Korrosion in Nietverbindungen. Sie haben eine Bruchfestigkeit in Längsrichtung und/oder Quer-Längsrichtung größer als 430 MPa und bevorzugt größer als 440 MPa sowie eine Elastizitätsgrenze in Längsrichtung und/oder Quer-Längsrichtung größer als 300 MPa und bevorzugt größer als 320 MPa. Sie besitzen eine gute Formbarkeit (Bruchdehnung in Längsrichtung und/oder Quer-Längsrichtung größer als 19 % und bevorzugt größer als 20 %) und eine Schadentoleranz K_r , berechnet aus einer nach ASTM E 561 bei einem Wert Δa_{eff} von 60 mm erhaltenen R-Kurve, größer als $165 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$ in Quer-Längsrichtung und Längs-Querrichtung und größer als $180 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$ in Längs-Querrichtung, sowie eine Rissausbreitungsgeschwindigkeit da/dN , ermittelt nach der Norm ASTM E 647 in Quer-Längsrichtung oder Längs-Querrichtung bei einem Wert ΔK von $50 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$, kleiner als $2,5 \cdot 10^{-2} \text{ mm} / \text{Zyklus}$ (und bevorzugt kleiner als $2,0 \cdot 10^{-2} \text{ mm} / \text{Zyklus}$) und ein Lastverhältnis $R = 0,1$. Diese Art von Kompromiss eignet sich besonders gut für die Rumpfbeschichtung. Das erfindungsgemäße Blech kann ein Blech sein, das zumindest einseitig mit einer Legierung der Serie 1 xxx und vorzugsweise mit einer Legierung aus der Gruppe der Legierungen 1050, 1070, 1300 und 1145 plattiert ist.

[0027] Aufgrund der Tatsache, dass die Nietung die gebräuchlichste Verbindungsart für Rumpfhäute ist, werden für die Anwendung als Rumpfbeschichtung erfindungsgemäße plattierte Bleche bevorzugt, die besonders beständig gegen galvanische Korrosion in Nietverbindungen sind. Besonders bevorzugt sind plattierte Bleche mit einem galvanischen Korrosionsstrom $< 4 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ und vorzugsweise $< 2,5 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ bei einer Expositionszeit von bis zu 200 Stunden während Korrosionsprüfungen in einer Nietverbindung, bei denen die Kernlegierung in eine nicht entlüftete Lösung mit 0,06 M NaCl und die Plattierungslegierung in eine durch Stickstoffspülung entlüftete Lösung mit 0,02 M AlCl_3 eingebracht wird.

[0028] In den nachfolgenden Beispielen werden zur Erläuterung vorteilhafte Ausführungsarten der Erfindung beschrieben.

Beispiele

Beispiel 1

[0029] Es wurden vier Legierungen NO, N1, N2 und N3 mit erfindungsgemäßen chemischen Zusammensetzungen hergestellt. Das flüssige Metall wurde zunächst im Warmhalteofen durch Einblasen von Gas mit einem unter dem Markennamen IRMA bekannten Rotor und dann in einer Pfanne der Marke Alpur behandelt. Die Raffination erfolgte in-line, d.h. zwischen Warmhalteofen und Alpur-Pfanne, unter Verwendung von AT5B-Draht (0,7 kg/t für NO, N1 et N3, 0,3 kg/t für N2). Es wurden 3 m lange Platten mit dem Querschnittsformat $1450 \text{ mm} \times 377 \text{ mm}$ gegossen (außer N3: $1450 \times 446 \text{ mm}$). Sie wurden während 10h bei 350°C entspannt.

[0030] Es wurden auch Platten aus der Legierung 2024 älterer Technik (Legierungen E und F) nach dem gleichen Verfahren hergestellt.

[0031] Die chemischen Zusammensetzungen der Legierungen NO, N1, N2, N3, E und F, die spektrometrisch an einer dem Gießkanal entnommenen Butze bestimmt wurden, sind in Tabelle 1 zusammengestellt:

Tabelle 1: Chemische Zusammensetzung

Legierung	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Cr
N0	0,03	0,08	4,16	0,41	1,35	0,59*	0,001
N1	0,03	0,08	4,00	0,40	1,22	0,63	
N2	0,03	0,07	3,98	0,39	1,32	0,59	
N3	0,06	0,07	4,14	0,43	1,26	1,28*	
E	0,06	0,19	4,14	0,51	1,36	0,11	0,007
F	0,06	0,16	4,15	0,51	1,38	0,12	0,014
Plattierung 1050	0,14	0,25	0,003	0,029	0,001	0,017	
*an Lösungen durchgeführte chemische Analyse							

[0032] In allen Fällen macht die Plattierung aus der Legierung 1050 etwa 2 % der Gesamtdicke aus.

[0033] Bei den Legierungen älterer Technik (Legierungen E und F) wurden die Platten auf etwa 450°C erwärmt und dann im Reversierwalzwerk bis auf eine Dicke von ca. 20 mm warmgewalzt. Die so erhaltenen Bänder wurden dann in einem dreigerüstigen Tandemwalzwerk bis auf eine Enddicke von etwa 5 mm flachgewalzt und dann gehaspelt (bei Temperaturen von 320°C bzw. 260°C für die Legierungen F bzw. E). Im Falle der Legierung F wurde das so erhaltene Band bis auf 3,2 mm kaltgewalzt. Es wurden Bleche ausgeschnitten, im Salzbadofen bei einer Temperatur von 498,5°C für eine Dauer von 30 min (Blech E von 5 mm Dicke) bzw. 25 min (Blech F von 3,2 mm Dicke) lösungsgeglüht und dann fertigtbearbeitet (Glätten und anschließendes kontrolliertes Recken mit einer bleibenden Dehnung von 1,5 bis 3 %).

[0034] Was die erfindungsgemäßen Legierungen betrifft, wurde die Platte NO folgendem Homogenisierungsvorgang unterworfen:
8h bei 495°C + 12h bei 500°C (Nominalwerte), während die Legierungen N1, N2 und N3 12h bei 500°C homogenisiert wurden..

[0035] Nach Erwärmung (ca. 18h bei 425 bis 445°C) wurden die Platten bis auf eine Dicke von etwa 90 mm warmgewalzt (Eingangstemperatur: 413°C). Das so erhaltene Band NO wurde dann quer zur Walzrichtung geteilt. Es entstanden folglich zwei Bänder mit der Bezeichnung N01 und N02. Diese Bänder wurden in einem dreigerüstigen Tandem-Warmwalzwerk bis auf eine Enddicke von 6 mm flachgewalzt (Haspeltemperatur ca. 320 – 325°C).

[0036] Eine Platte aus der Legierung N1 und N3 und eine Platte aus der Legierung N3 wurden auf 5,5 mm warmgewalzt und dann auf 3,2 mm Enddicke kaltgewalzt ; eine weitere Platte aus der Legierung N1 wurde auf 4,5 mm warmgewalzt und auf 1,6 mm Enddicke kaltgewalzt.

[0037] Eine Platte aus der Legierung N2 wurde auf eine Enddicke von 6 mm warmgewalzt (Haspeltemperatur in Tandem 270°C).

[0038] Das Band N01 wurde nicht nachgewalzt, während das Band N02 auf eine Enddicke von 3,2 mm kalt-nachgewalzt wurde.

[0039] Die Bleche wurden nach dem Zuschneiden in einem Salzbadofen lösungsgeglüht (Dicke 6 mm: 60 Minuten bei 500°C, Dicke 3,2 mm: 40 Minuten bei 500°C, Dicke 1,6 mm: 30 Minuten bei 500°C) und anschließend mit 23°C warmem Wasser abgeschreckt. Nach dem Abschrecken wurden die Bleche geglättet und mit einer kumulierten bleibenden Dehnung von 1,5 bis 3,5 % gereckt. Die Wartezeit zwischen Abschrecken und Glätten betrug maximal 6 Stunden.

[0040] Mit einem Zugversuch nach EN 10002-1 wurden die Bruchfestigkeit R_m (in MPa), die Dehngrenze bei nicht proportionaler Verlängerung $R_{p0,2}$ (in MPa) und die Bruchdehnung A (in %) gemessen.

[0041] Die Messergebnisse zu diesen statischen Festigkeitseigenschaften im Zustand T351 sind in Tabelle 2 dargestellt.

Tabelle 2: Statische Festigkeitseigenschaften

Blech	Dicke [mm]	Längsrichtung			Quer-Längsrichtung		
		R _m [MPa]	R _{p0,2} [MPa]	A [%]	R _m [MPa]	R _{p0,2} [MPa]	A [%]
N01	6,0	442	336	22,8	442	323	23,5
N02	3,2	456	353	20,3	449	318	24,7
N1	1,6	455	359	20,2	434	298	21,8
N1	3,2	460	360	19,3	438	308	22,3
N2	6	471	384	19,8	462	343	19,9
N3	3,2	453	360	21,3	443	317	24,2
E	5,0	Nicht gemessen			456	341	17,7
F	3,2				454	318	19,2

[0042] Die Formbarkeit, die durch die Plastizität beim Recken gekennzeichnet ist (Wert der Dehnung A), scheint bei der erfindungsgemäßen Legierung besser zu sein, und zwar für die beiden betrachteten Dicken. Die Formbarkeit der Bleche in Dicken ab 4 mm aufwärts wurde auch mit Hilfe der LDH-Prüfung (Limit Dome Height) an Querschnittsformaten 500 mm × 500 mm im Zustand T351 bestimmt. Dabei wurden folgende Ergebnisse erhalten:

Blech N01 (Dicke 6 mm):

LDH = 81 mm

Blech E (Dicke 5 mm):

LDH = 75 mm.

[0043] Dies bestätigt die bessere Formbarkeit der erfindungsgemäßen Legierung.

[0044] Die Schadentoleranz wurde nach mehreren Methoden bestimmt. Die R-Kurve wurde gemäß ASTM E 561 an CCT-Proben gemessen, Breite $W = 760$ mm, $2a_0 = 253$ mm, $e =$ Blechdicke, mit Steuerung der Kolbenbewegung und einer Reckgeschwindigkeit von 1 mm/min unter Verwendung einer verformungsverhindernden Vorrichtung aus Stahl. Die Proben waren in Quer-Längsrichtung und längs-Querrichtung entnommen worden. Der K_r Wert [MPa \sqrt{m}] wurde für verschiedene Δa_{eff} -Werte [mm] ermittelt. Die Ergebnisse sind in Tabelle 3 aufgeführt.

Tabelle 3 : Ergebnisse der R-Kurve-Prüfung

Blech	Dicke [mm]	Richtung	K _r [MPa√m] bei einem Δa _{eff} -Wert von					
			10 mm	20 mm	30 mm	40 mm	50 mm	60 mm
N02	3,2	Q-L	81	108	129	148	164	180
N01	6,0	Q-L	77	105	127	144	159	173
N1	1,6	Q-L	102	123	138	152	164	175
N1	3,2	Q-L	85	110	130	147	161	175
N2	6	Q-L	89	117	137	153	167	179
N3	3,2	Q-L	91	119	139	155	168	181
F	3,2	Q-L	82	107	125	139	151	162
E	5,0	Q-L	83	105	120	132	142	151
N2	3,2	L-Q	84	119	145	166	184	199
N1	6,0	L-Q	90	122	145	163	179	193
N1	1,6	L-Q	92	118	138	157	174	191
N1	3,2	L-Q	88	119	142	162	179	196
N2	6	L-Q	87	121	145	164	180	194
N3	3,3	L-Q	93	125	148	168	184	199
E	5,0	L-Q	104	126	141	154	165	174

[0045] Es stellt sich heraus, dass das erfindungsgemäße Produkt bei hohen Δa_{eff}-Werten über dem Standardprodukt aus der Legierung 2024 liegt.

[0046] Das erfindungsgemäße Produkt weist somit im Falle einer rissigen Platte eine bessere Bruchfestigkeit auf.

[0047] Die Rissausbreitungsgeschwindigkeit da/dN (in mm / Zyklus) für verschiedene ΔK-Werte (ausgedrückt in MPa√m) wurde gemäß ASTM E 647 an in Quer-Längsrichtung und längs-Querrichtung entnommenen CCT-Proben bestimmt, Breite W = 400 mm, 2a₀ = 4 mm, e = Blechdicke, bei R = 0,1 und mit einer Höchstzugspannung von 120 MPa und einer verformungsverhindernden Vorrichtung für die weniger als 3,2 mm dicken Proben. Die Ergebnisse sind in Tabelle 4 angegeben.

Tabelle 4: Ergebnisse der Rissausbreitungsgeschwindigkeit

Blech	Dicke [mm]	Richtg.	da/dN [mm / Zyklus] bei ΔK [MPa \sqrt{m}] von				
			10	20	30	40	50
N02	3,2	Q-L	$1,5 \cdot 10^{-4}$	$6,5 \cdot 10^{-4}$	$1,5 \cdot 10^{-3}$	$0,4 \cdot 10^{-2}$	$1,0 \cdot 10^{-2}$
N01	6,0	Q-L	$1,5 \cdot 10^{-4}$	$9,3 \cdot 10^{-4}$	$1,8 \cdot 10^{-3}$	$0,6 \cdot 10^{-2}$	$1,4 \cdot 10^{-2}$
N1	1,6	Q-L	$1,6 \cdot 10^{-4}$	$4,6 \cdot 10^{-4}$	$1,4 \cdot 10^{-3}$	$0,4 \cdot 10^{-2}$	$1,0 \cdot 10^{-2}$
N1	3,2	Q-L	$1,8 \cdot 10^{-4}$	$7,2 \cdot 10^{-4}$	$1,6 \cdot 10^{-3}$	$0,4 \cdot 10^{-2}$	$1,0 \cdot 10^{-2}$
N2	6	Q-L	$2,1 \cdot 10^{-4}$	$8,7 \cdot 10^{-4}$	$2,3 \cdot 10^{-3}$	$0,6 \cdot 10^{-2}$	$1,6 \cdot 10^{-2}$
N3	3,2	Q-L	$1,6 \cdot 10^{-4}$	$7,0 \cdot 10^{-4}$	$1,4 \cdot 10^{-3}$	$0,4 \cdot 10^{-2}$	$0,8 \cdot 10^{-2}$
F	3,2	Q-L	$1,4 \cdot 10^{-4}$	$8,2 \cdot 10^{-4}$	$3,2 \cdot 10^{-3}$	$1,0 \cdot 10^{-2}$	$2,9 \cdot 10^{-2}$
E	5,0	Q-L	$1,9 \cdot 10^{-4}$	$14,0 \cdot 10^{-4}$	$6,1 \cdot 10^{-3}$	$1,9 \cdot 10^{-2}$	$4,4 \cdot 10^{-2}$
N02	3,2	L-Q	$1,5 \cdot 10^{-4}$	$5,4 \cdot 10^{-4}$	$1,8 \cdot 10^{-3}$	$0,5 \cdot 10^{-2}$	$1,4 \cdot 10^{-2}$
N01	6,0	L-Q	$1,8 \cdot 10^{-4}$	$8,8 \cdot 10^{-4}$	$1,4 \cdot 10^{-3}$	$0,5 \cdot 10^{-2}$	$1,1 \cdot 10^{-2}$
N1	1,6	L-Q	$1,2 \cdot 10^{-4}$	$4,42 \cdot 10^{-4}$	$1,2 \cdot 10^{-3}$	$0,3 \cdot 10^{-2}$	$0,8 \cdot 10^{-2}$
N1	3,2	L-Q	$1,7 \cdot 10^{-4}$	$4,9 \cdot 10^{-4}$	$1,8 \cdot 10^{-3}$	$0,6 \cdot 10^{-2}$	$1,6 \cdot 10^{-2}$
N2	6	L-Q	$1,9 \cdot 10^{-4}$	$10,4 \cdot 10^{-4}$	$2,5 \cdot 10^{-3}$	$0,7 \cdot 10^{-2}$	$1,3 \cdot 10^{-2}$
N3	3,3	L-Q	$1,66 \cdot 10^{-4}$	$5,1 \cdot 10^{-4}$	$1,6 \cdot 10^{-3}$	$0,4 \cdot 10^{-2}$	$1,0 \cdot 10^{-2}$
E	5,0	L-Q	$1,5 \cdot 10^{-4}$	$7,6 \cdot 10^{-4}$	$2,4 \cdot 10^{-3}$	$0,8 \cdot 10^{-2}$	$2,2 \cdot 10^{-2}$

[0048] Es wird festgestellt, dass die Bleche aus 2024 insbesondere bei $\Delta K \geq 20$ MPa \sqrt{m} eine zwei- oder dreimal höhere Rissausbreitungsgeschwindigkeit als das erfindungsgemäße Produkt aufweisen. Letzteres gestattet folglich längere Inspektionsintervalle (bei gegebener Strukturmasse) oder leichtere Strukturen bei festgelegtem Inspektionsintervall.

[0049] Was die R-Kurven und die ΔK -Werte betrifft, ist anzumerken, dass die bezeichnendsten Werte für das Verhalten einer reellen Struktur eines Luftfahrzeugs im Bereich zwischen 15 und 60 MPa \sqrt{m} liegen.

[0050] Denn die Ermüdungsspannungen in einer Rumpfaußenhaut betragen generell etwa 50 bis 100 MPa bei detektierbaren Fehlern von 20 bis 50 mm, da $K = \sigma \sqrt{(\pi a)}$ ist, wobei σ die Spannung und der Parameter a die Größe des Fehlers ist.

[0051] Bei einem Abstand zwischen den Versteifungen von mehr als 100 mm sind die K-Werte bei Bruch bei einer Höchstlast von über 200 MPa für die beschriebenen R-Kurven höher als etwa 120 MPa \sqrt{m} , mit scheinbaren K-Werten (K_r) oberhalb 110 MPa \sqrt{m} . Dies bedeutet, dass der dimensionierende Teil der R-Kurve aus Punkten besteht, die einer statischen Rissausbreitung Δa_{eff} von über 20 mm entsprechen.

[0052] Es wurde auch die Korrosionsbeständigkeit der Bleche bestimmt. Demnach weist die erfindungsgemäße Legierung in sich, d.h. nach Entfernen der Plattierung durch Bearbeitung, eine gemäß ASTM G 110 ermittelte interkristalline Korrosionsbeständigkeit auf, die weitgehend der Referenzlegierung 2024 entspricht.

[0053] Bei plattierten Blechen führte die nach ASTM G 69 durchgeführte Messung des Korrosionspotentials in Kern und Plattierung zu den in der nachfolgenden Tabelle 5 angegebenen Ergebnissen. Diese Ergebnisse unterscheiden sich nicht wesentlich, was den Potentialunterschied zwischen Kern und Plattierung betrifft (Merkmal des kathodischen Schutzvermögens einer Plattierung). Dies ist insofern überraschend, als in Übereinstimmung mit den veröffentlichten Informationen (siehe insbesondere "ASM Handbook", 9. Auflage, Bd. 13, "Corrosion", Seite 584, Fig. 5) der Zusatz von Zink in einer Aluminiumlegierung das Korrosionspotential deut-

lich herabsetzt, was zur Folge hätte haben müssen, dass der Potentialunterschied zwischen Kern und Plattierung aus der erfindungsgemäßen Legierung vermindert wird.

Tabelle 5: Potentiale [mV / ECS] und Potentialunterschiede [mV]

Blech	Dicke [mm]	Potential Kern [mV / ECS]	Potential Plattierung [mV / ECS]	Potentialunterschied [mV]
N02	3.2	-620	-768	148
N01	6.0	-611	-801	190
N1	1.6	-634	-772	138
N1	3.2	-632	-775	143
N2	6	-636	-770	134
N3	3.2	-636	-755	119
E.	5.0	-609	-755	166

[0054] sDagegen wird überraschenderweise festgestellt, dass sich das erfindungsgemäße Produkt bei einer Korrosionsprüfung mittels galvanischer Kopplung in einer Nietverbindung bedeutend besser verhält. Den Feststellungen der Anmelderin zufolge ist diese Prüfung, die zum Beispiel in der Patentschrift EP 0 623 462 B1 beschrieben wurde, besonders relevant, wenn die Eignung plattierter Bleche für den Einsatz im Flugzeugbau bewertet werden soll. Bei der Prüfung wird der sich auf natürliche Weise zwischen der Anode (Plattierungslegierung in einer Zelle mit AlCl_3 -Lösung (0,02 M, entlüftet durch Stickstoffspülung)) und der Kathode (Kernlegierung in einer Zelle mit NaCl -Lösung (0,06 M, belüftet)) aufbauende Strom gemessen, wobei eine Salzbrücke für den elektrolytischen Kontakt zwischen den beiden Zellen sorgt. Die beiden Elemente (Plattierung und Kern) haben die gleiche Fläche ($2,54 \text{ cm}^2$). Die Kopplungsstromdichten werden während der gesamten Prüfungsdauer registriert. Dabei stellt sich heraus, dass der Strom nach ca. 55 Stunden einen Höchstwert erreicht und sich während der gesamten Prüfungsdauer (200 h oder 14 Tage, je nach Probe) praktisch nicht mehr verändert. Die Ergebnisse sind in Tabelle 6 zusammengestellt.

Tabelle 6: Elektrochemische Simulation der Verbindung

	Blech N2	Blech N1	Blech F	Blech E
Höchststrom nach 55 Std. [$\mu\text{A}/\text{cm}^2$]	1,6	1,2	2,8	2,4
Gemessener Masseverlust [mg/cm^3] nach 5 Versuchstagen	1,06	0,79	1,57	nicht gemessen

[0055] Zum Vergleich geben die in der Patentschrift EP 0 623 462 B1 beschriebenen Beispiele für die mit einer Legierung 1070 plattierte Standardlegierung 2024 einen Höchststrom von $3,1 \text{ uA}/\text{cm}^2$ an.

[0056] Es wird festgestellt, dass das erfindungsgemäße Produkt (N1 und N2) einen wesentlich geringeren Korrosionsstrom und Masseverlust als das Standardprodukt älterer Technik aufweist. Dies verschafft bei bestimmten Anwendungen, zum Beispiel Flugzeugstrukturelementen, einen wesentlichen Vorteil im Hinblick auf die Lebensdauer.

Beispiel 2

[0057] Aus warm- und eventuell kaltgewalzten Blechen (Zustand F) aus der erfindungsgemäßen Legierung (siehe Beispiel 1) wurden weitere Werkstoffzustände in Form von Querschnittsformaten mit den Dimensionen 600 mm (Längsrichtung) × 160 mm (Quer-Längsrichtung) × Dicke hergestellt. Die Walzbleche von 3,2 mm (kaltgewalzt) bzw. 6,0 mm Dicke (warmgewalzt) wurden lösungsgeglüht, abgeschreckt, kaltausgelagert und kontrolliert gereckt, wie in Tabelle 7 angegeben.

Tabelle 7: Herstellungsbedingungen für die Bleche des Beispiels 2

Blech	Dicke [mm]	Dauer der Lösungsgeglühtung bei 500°C [min]	Dauer der Kaltauslagerung	Kontrolliertes Recken
N0A	3,2	30	< 2 h	2 %
N0B	3,2	30	< 2 h	4 %
N0C	3,2	30	< 2 h	6 %
N0D	3,2	30	24h	2 %
N0E	3,2	30	24h	6 %
N0F	6,0	40	< 2 h	2 %
N0G	6,0	40	< 2 h	4 %
N0H	6,0	40	< 2 h	6 %
N0I	6,0	40	24 h	2 %
NoJ	6,0	40	24 h	6 %

[0058] Die Blechbezeichnungen, die mit A, D, F und I enden, entsprechen den Zuständen T351. Die verschiedenen Proben wurden durch Zugversuche (längs- und Quer-Längsrichtung) sowie durch Bruchzähigkeitsversuche charakterisiert.

[0059] Die Bruchzähigkeit wurde zunächst mit Hilfe der Höchstzugspannung R_e (in MPa) und der Fließenergie E_{ec} nach dem Kahn-Test bewertet. Die Kahnsche Spannung entspricht dem Verhältniswert der Höchstzugspannung F_{max} , die die Probe auf dem Probenquerschnitt aushalten kann (Produkt aus Dicke B mal Breite W). Die Fließenergie wird als Fläche unter der Kraft-Verschiebungskurve bis zur von der Probe ausgehaltenen Höchstzugspannung F_{max} bestimmt. Die Prüfung ist im Artikel "Kahn-Type Tear Test and Crack Toughness of Aluminium Alloy Sheet", erschienen in der Fachzeitschrift Materials Research & Standards, April 1964, S. 151-155 beschrieben. Die für die Kahnsche Bruchzähigkeitsprüfung eingesetzte Probe ist zum Beispiel in "Metals Handbook", 8. Auflage, Bd. 1, American Society for Metals, S. 241-242 beschrieben.

[0060] Die Bruchzähigkeit wurde auch für 6 mm dicke Bleche mit Hilfe einer R-Kurve-Prüfung in Quer-Längsrichtung bestimmt, allerdings an kleiner dimensionierten Proben als im Beispiel 1. Es wurden CT-Proben eingesetzt, Breite $W = 127$ mm, $a_0 = 38,5$ mm, $e =$ Blechdicke, mit Steuerung der Kolbenbewegung und einer Reckgeschwindigkeit von 1 mm/min.

[0061] Die verschiedenen Ergebnisse sind in den nachfolgenden Tabellen 8 und 9 aufgeführt.

Tabelle 8: Statische Festigkeitseigenschaften

Blech	Auslagerung	Recken	Stat. Eigenschaften Längsrichtung			Stat. Eigenschaften Quer-Längsrichtung		
			R _m [MPa]	R _{p0,2} [MPa]	A [%]	R _m [MPa]	R _{p0,2} [MPa]	A [%]
N0A	> 2 h	2 %	450	345	21.6	444	307	23.7
N0B	< 2h	4 %	456	369	21.4	448	322	21.1
N0C	< 2h	6 %	464	394	17.6	453	339	18.2
N0D	24 h	2 %	457	351	22.1	449	313	23.2
N0E	24 h	6 %	473	413	18.7	464	352	18.6
N0F	< 2 h	2 %	433	334	22.5	432	297	21.5
N0G	< 2 h	4 %	437	353	22.3	436	308	21.1
N0H	< 2 h	6 %	443	375	19.5	443	324	20.9
N0I	24 h	2 %	440	338	24.1	443	308	23.1
N0J	24 h	6 %	459	399	20.2	460	347	18.6

Tabelle 9: Bruchzähigkeitseigenschaften

Blech	Auslagerung	Recken	Prüfung an "Kahn"- Probe		R-Kurve-Prüfung an CT127-Probe	
			R _e [MPa] / E _{ec} [J]		Quer-Längsrichtung	
			Quer-Längs	Längs-Quer	K _{app} [MPa√m]	K _{eff} [MPa√m]
N0A	> 2 h	2 %	163 / 15,0	166 / 15,4	nicht gemessen	
N0B	< 2h	4 %	164 / 13,3	169 / 13,7	nicht gemessen	
N0C	< 2h	6 %	167 / 12,3	172 / 12,9	nicht gemessen	
N0D	24 h	2 %	164 / 14,3	168 / 15,5	nicht gemessen	
N0E	24 h	6 %	172 / 12,0	176 / 12,4	nicht gemessen	
N0F	< 2 h	2 %	160 / 29,0	163 / 30,7	99,3	149,2
N0G	< 2 h	4 %	165 / 28,4	166 / 27,8	99,9	137,6
N0H	< 2 h	6 %	167 / 25,5	167 / 25,1	93,8	125,5
N0I	24 h	2 %	165 / 30,0	165 / 28,9	99,6	149,3
N0J	24 h	6 %	172 / 24,0	172 / 24,2	101,1	137,1

Beispiel 3

[0062] Nach dem Beispiel 2 hergestellte Bleche wurden nach dem Abschrecken einer 5 %igen Kaltumformung (durch kontrolliertes Recken) unterworfen. Die Tabellen 10 und 11 zeigen die Ergebnisse der Charakte-

risierungen.

Tabelle 10: Statische Festigkeitseigenschaften

Blech	Dicke [mm]	Längsrichtung			Quer-Längsrichtung		
		R _m [MPa]	R _{p0,2}	A [%]	R _m [MPa]	R _{p0,2}	A [%]
N1	1.6	468	404	20.1	456	341	20.6
N1	3.2	472	408	18.2	464	348	19.3
N2	6	488	422	19.1	475	368	20.2

Tabelle 11: Ergebnisse der R-Kurve-Prüfung an gezogenen Blechen 5 %

Blech	Dicke [mm]	Richtg.	K _r [MPa√m] bei einem Wert Δa _{eff} von					
			10 mm	20 mm	30 mm	40 mm	50 mm	60 mm
N1	1.6	Q-L	66	91	112	130	148	164
N1	3.2	Q-L	96	124	144	160	173	186
N2	6	Q-L	84	111	131	147	161	173
N1	1.6	L-Q	86	111	132	152	171	189
N1	3.2	L-Q	101	133	157	178	195	212
N2	6	L-Q	82	112	136	157	175	192

Patentansprüche

1. Knetprodukt, insbesondere Walz-, Strangpress- oder Schmiedeprodukt aus AlCuMg-Legierung, **dadurch gekennzeichnet**, dass es enthält (Gew.%)

Cu: 3,80 – 4,30 Mg: 1,25 – 1,45 Mn: 0,20 – 0,50 Zn: 0,40 – 1,30

Fe < 0,15 Si < 0,15 Zr ≤ 0,05 Ag < 0,01,

weitere Elemente jeweils < 0,05 und insgesamt < 0,15, Rest Al.

2. Produkt nach Anspruch 1, mit Cu 4,05 – 4,30.

3. Produkt nach Anspruch 1 oder 2, mit Mg 1,28 – 1,42.

4. Produkt nach irgendeinem der Ansprüche 1 bis 3, mit Mn 0,30 – 0,50 und bevorzugt Mn 0,35 – 0,48.

5. Produkt nach irgendeinem der Ansprüche 1 bis 4, mit Zn 0,50 – 1,10 und bevorzugt 0,50 – 0,70.

6. Produkt nach irgendeinem der Ansprüche 1 bis 5, mit Fe < 0,10.

7. Produkt nach irgendeinem der Ansprüche 1 bis 6, mit Si < 0,10.

8. Produkt nach Anspruch 1, mit

Cu < 4,20 Mg < 1,38 Mn < 0,42 Zn ≥ (1,2 Cu – 0,3 Mg + 0,3 Mn – 3,75).

9. Produkt nach irgendeinem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass es lösungsgeglüht, abgeschreckt und kaltverfestigt wurde mit einer bleibenden Verformung zwischen 0,5 und 15 %, bevorzugt zwischen 1 und 5 % und besonders bevorzugt zwischen 1,5 und 3,5 %.

10. Produkt nach irgendeinem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass das Produkt ein Blech

ist mit einer Dicke zwischen 1 und 16 mm.

11. Produkt nach irgendeinem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass das Blech ein wenigstens einseitig mit einer Legierung der Serie 1xxx und bevorzugt mit einer aus der Gruppe der Legierungen 1050, 1070, 1300 und 1145 gewählten Legierung plattiertes Blech ist.

12. Produkt nach irgendeinem der Ansprüche 1 bis 11, dadurch gekennzeichnet, dass seine Bruchfestigkeit in Längsrichtung und/oder Quer-Längsrichtung größer als 430 MPa und bevorzugt größer als 440 MPa ist.

13. Produkt nach irgendeinem der Ansprüche 1 bis 12, dadurch gekennzeichnet, dass seine Elastizitätsgrenze in Längsrichtung und/oder Quer-Längsrichtung größer als 300 MPa und bevorzugt größer als 320 MPa ist.

14. Produkt nach irgendeinem der Ansprüche 1 bis 13, dadurch gekennzeichnet, dass seine Bruchdehnung in Längsrichtung und/oder Quer-Längsrichtung größer als 19 % und bevorzugt größer als 20 % ist.

15. Produkt nach irgendeinem der Ansprüche 1 bis 14, dadurch gekennzeichnet, dass seine Schadentoleranz K_r , berechnet aus einer nach ASTM E 561 bei einem Wert Δa_{eff} von 60 mm erhaltenen Kurve R, größer als $165 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$ in Quer-Längsrichtung und Längs-Querrichtung ist.

16. Produkt nach irgendeinem der Ansprüche 1 bis 15, dadurch gekennzeichnet, dass seine Schadentoleranz K_r , berechnet aus einer nach ASTM E 561 bei einem Wert Δa_{eff} von 60 mm erhaltenen Kurve R, größer als $180 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$ in Längs-Querrichtung ist.

17. Produkt nach irgendeinem der Ansprüche 1 bis 16, dadurch gekennzeichnet, dass seine Rissausbreitungsgeschwindigkeit da/dn , ermittelt nach der Norm ASTM E 647 in Quer-Längsrichtung oder Längs-Querrichtung bei einem Lastverhältnis $R = 0,1$ und einem Wert ΔK von $50 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$, kleiner als $2,5 \cdot 10^{-2} \text{ mm} / \text{Zyklus}$ und bevorzugt kleiner als $2,0 \cdot 10^{-2} \text{ mm} / \text{Zyklus}$ ist.

18. Plattiertes Blech nach irgendeinem der Ansprüche 1 bis 17, dadurch gekennzeichnet, dass der galvanische Korrosionsstrom geringer ist als $4 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ bei einer Expositionszeit von bis zu 200 Stunden während Korrosionsprüfungen in einer Nietverbindung, bei denen die Kernlegierung in eine belüftete Lösung mit 0,06 M NaCl und die Plattierungslegierung in eine durch Stickstoffspülung entlüftete Lösung mit 0,02 M AlCl_3 eingebracht wird.

19. Plattiertes Blech nach Anspruch 18, dadurch gekennzeichnet, dass der galvanische Korrosionsstrom geringer ist als $2,5 \mu\text{A}/\text{cm}^2$.

20. Strukturbauteil für ein Luftfahrzeug, hergestellt aus mindestens einem Produkt nach irgendeinem der Ansprüche 1 bis 19.

21. Strukturbauteil nach Anspruch 20, dadurch gekennzeichnet, dass das Strukturbauteil ein Rumpfhautbauteil ist.

22. Verfahren zur Herstellung eines Knetproduktes nach einem der Ansprüche 1 bis 19 mit folgenden Schritten:

- (a) Gießen einer Platte oder eines Pressbarrens
- (b) Homogenisierung zwischen 450°C und 500°C
- (c) Warmumformung durch Strangpressen, Walzen oder Schmieden
- (d) eventuell eine Kaltumformung
- (e) Lösungsglühen zwischen 480°C und 505°C
- (f) Abschrecken
- (g) Kaltverfestigung, bei der eine bleibende Verformung zwischen 0,5 % und 15 % entsteht.

23. Verfahren nach Anspruch 22, bei dem die Kaltverfestigung so durchgeführt wird, dass eine bleibende Verformung zwischen 1 und 5 % und bevorzugt zwischen 1,5 und 3,5 % entsteht.

Es folgt kein Blatt Zeichnungen