



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 602 03 801 T2** 2006.05.18

(12) **Übersetzung der europäischen Patentschrift**

(97) **EP 1 407 057 B1**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **602 03 801.4**

(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/EP02/06892**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **02 751 058.5**

(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: **WO 03/006697**

(86) PCT-Anmeldetag: **17.06.2002**

(87) Veröffentlichungstag
der PCT-Anmeldung: **23.01.2003**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **14.04.2004**

(97) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung beim EPA: **20.04.2005**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **18.05.2006**

(51) Int Cl.⁸: **C22C 21/02** (2006.01)

C22C 21/08 (2006.01)

B32B 15/01 (2006.01)

C22F 1/043 (2006.01)

(30) Unionspriorität:

01202639 09.07.2001 EP

(73) Patentinhaber:

**Corus Aluminium Walzprodukte GmbH, 56070
Koblenz, DE**

(74) Vertreter:

Müller Schupfner Patentanwälte, 80336 München

(84) Benannte Vertragsstaaten:

**AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, GR, IE, IT, LI, LU,
MC, NL, PT, SE, TR**

(72) Erfinder:

**HASZLER, Johann, Alfred, 56179 Vallendar, DE;
KEIDEL, Joachim, Christian, 56410 Montabaur,
DE; BENEDICTUS, Rinze, NL-2612 PJ Delft, NL;
WEBER, Guido, 56637 Plaidt, DE**

(54) Bezeichnung: **Schweißbare hochfeste Al-Mg-Si-Legierung**

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

[0001] Die Erfindung betrifft ein Aluminiumlegierungsprodukt, das sich zur Verwendung bei Flugzeugen, Automobilen und anderen Anwendungen eignet, sowie ein Verfahren zur Herstellung eines solchen Aluminiumlegierungsprodukts. Genauer betrifft sie ein verbessertes schweißbares Aluminiumprodukt, das besonders nützlich bei Flugzeuganwendungen ist und ein gutes Beschädigungstoleranzverhalten einschließlich einer verbesserten Korrosionsbeständigkeit, Formbarkeit, Bruchzähigkeit und erhöhten Festigkeitseigenschaften hat.

[0002] Im Stand der Technik ist die Verwendung von wärmebehandelbaren Aluminiumlegierungen bei einer Reihe von Anwendungen mit relativ hoher Festigkeit wie Flugzeugrümpfen, Fahrzeugteilen und anderen Anwendungen bekannt. Die Aluminiumlegierungen 6061 und 6063 sind wohlbekannte wärmebehandelbare Aluminiumlegierungen. Diese Legierungen haben sowohl im T4- als auch im T6-Wärmebehandlungsverfahren nützliche Festigkeits- und Zähigkeitseigenschaften. Bekanntlich betrifft der T4-Zustand einen lösungsgeglühten und abgeschreckten Zustand, der natürlich auf einen im Wesentlichen stabilen Eigenschaftspegel gealtert ist, während T6-Wärmebehandlungsverfahren einen stärkeren Zustand betreffen, der durch künstliche Alterung erzeugt ist. Allerdings mangelt es diesen bekannten Legierungen an einer ausreichenden Festigkeit für die meisten Luftfahrtkonstruktionsanwendungen. Einige andere Legierungen der Reihe 6000 der Aluminium Association („AA“) sind allgemein nicht für das Design von Zivilflugzeugen geeignet, die unterschiedliche Eigenschaftsgruppen für unterschiedliche Strukturtypen benötigen. Je nach den Designkriterien für ein spezielles Flugzeugbauteil ergeben Verbesserungen bei der Festigkeit, der Bruchzähigkeit und der Dauerfestigkeit Gewichtseinsparungen, die sich in einem sparsamen Kraftstoffverbrauch über die Lebensdauer eines Flugzeugs und/oder einem höheren Sicherheitsniveau bemerkbar machen. Um diesen Anforderungen zu genügen, wurden mehrere Legierungen der Reihe 6000 entwickelt.

[0003] Die europäische Patentschrift EP-0173632 betrifft extrudierte oder geschmiedete Produkte einer Legierung, die – in Gew.-% – aus den folgenden Legierungselementen besteht:

Si 0,9 – 1,3, bevorzugt 1,0 – 1,15

Mg 0,7 – 1,1, bevorzugt 0,8 – 1,0

Cu 0,3 – 1,1, bevorzugt 0,8 – 1,0

Mn 0,5 – 0,7

Zr 0,07 – 0,2, bevorzugt 0,08 – 0,12

Fe < 0,30

Zn 0,1 – 0,7, bevorzugt 0,3 – 0,6

der Rest Aluminium und unvermeidbare Verunreinigungen (jeweils < 0,05, gesamt < 0,15).

[0004] Die Produkte haben eine nichtrekristallisierte Mikrostruktur. Diese Legierung wurde unter der AA-Bezeichnung 6056 eingetragen.

[0005] Es wurde berichtet, dass diese bekannte AA6056-Legierung im T6-Wärmebehandlungszustand gegenüber interkristalliner Korrosion empfindlich ist. Zur Behebung dieses Problems sieht die US-Patentschrift Nr. 5,858,134 ein Verfahren zur Herstellung gewalzter oder extrudierter Produkte mit der folgenden Zusammensetzung – in Gew.-% – vor:

Si 0,7 – 1,3

Mg 0,6 – 1,1

Cu 0,5 – 1,1

Mn 0,3 – 0,8

Zr < 0,20

Fe < 0,30

Zn < 1

Ag < 1

Cr < 0,25

andere Elemente < 0,05, insgesamt < 0,15

Rest Aluminium,

und wobei die Produkte in einen überalterten Wärmebehandlungszustand gebracht sind. Allerdings erfordert die Überalterung zeit- und geldaufwendige Verarbeitungszeiten beim Hersteller von Luftfahrtbauteilen. Damit die verbesserte interkristalline Korrosionsbeständigkeit erhalten wird, ist es für dieses Verfahren wesentlich, dass in der Aluminiumlegierung das Mg/Si-Verhältnis kleiner als 1 ist.

[0006] Die US-Patentschrift Nr. 4,589,932 offenbart ein Produkt aus einer Aluminiumknetlegierung, z.B. für Automobil- und Luftfahrtkonstruktionen, die danach unter der AA-Bezeichnung 6013 eingetragen wurde und

die folgende Zusammensetzung – in Gew.-% – hat.

Si 0,4 – 1,2, bevorzugt 0,6 – 1,0

Mg 0,5 – 1,3, bevorzugt 0,7 – 1,2

Cu 0,6 – 1,1

Mn 0,1 – 1,0, bevorzugt 0,2 – 0,8

Fe < 0,6

Cr < 0,10

Ti < 0,10

der Rest Aluminium und unvermeidbare Verunreinigungen.

[0007] Die Aluminiumlegierung hat die zwingende Vorgabe, dass $[\text{Si} + 0,1) < \text{Mg} < [\text{Si} + 0,4)$ ist, und wurde bei einer Temperatur in einem Bereich von 549 bis 582°C lösungsgeglüht, die sich der Solidus-Temperatur der Legierung näherte. In den Beispielen zur Veranschaulichung der Patentschrift ist das Verhältnis Mg/Si stets größer als 1.

[0008] Die US-Patentschrift Nr. 5,888,320 offenbart ein Verfahren zur Herstellung eines Aluminiumlegierungsprodukts. Das Produkt hat – in Gew.-% – eine Zusammensetzung von:

Si 0,6 – 1,4, bevorzugt 0,7 – 1,0

Fe < 0,5, bevorzugt < 0,3

Cu < 0,6, bevorzugt < 0,5

Mg 0,6 – 1,4, bevorzugt 0,8 – 1,1

Zn 0,4 – 1,4, bevorzugt 0,5 – 0,8;

wenigstens ein Element aus der Gruppe:

Mn 0,2 – 0,8, bevorzugt 0,3 – 0,5

Cr 0,05 – 0,3, bevorzugt 0,1 – 0,2

Rest Aluminium und unvermeidbare Verunreinigungen.

[0009] Die offenbarte Aluminiumlegierung sieht eine Alternative für die bekannte hochkupferhaltige Legierung 6013 vor, wobei ein niedriges Kupferniveau in der Legierung vorliegt, und das Zinkniveau auf über 0,4 Gew.-% erhöht ist und bevorzugt in einem Bereich von 0,5 bis 0,8 Gew.-% liegt. Der höhere Zinkgehalt ist erforderlich, um den Kupferverlust auszugleichen.

[0010] Trotz dieser Entgegenhaltungen besteht immer noch ein großer Bedarf für eine Legierung auf Aluminiumbasis mit einer verbesserten Bilanz zwischen Festigkeit, Bruchzähigkeit und Korrosionsbeständigkeit.

[0011] Ein Aufgabe der Erfindung liegt darin, ein verbessertes und schweißbares Aluminiumwalzprodukt der Reihe 6000 mit einem niedrigeren Cu-Gehalt als die bekannte 6013-Legierung vorzusehen, das dennoch eine hohe Festigkeit aufweist.

[0012] Eine weitere Aufgabe der Erfindung liegt darin, ein verbessertes und schweißbares Aluminiumwalzprodukt der Reihe 6000 mit einem niedrigeren Cu-Gehalt als die bekannte 6013-Legierung vorzusehen, während letztlich eine Zugfestigkeit von wenigstens 355 MPa bei einem T6-Wärmebehandlungsverfahren erreicht wird.

[0013] Darüberhinaus besteht eine Aufgabe der Erfindung darin, ein verbessertes und schweißbares Aluminiumwalzprodukt der Reihe 6000 mit einem niedrigeren Cu-Gehalt als die bekannte 6013-Legierung vorzusehen, während letztlich ein Zugfestigkeit von wenigstens 355 MPa bei einem T6-Wärmebehandlungsverfahren in Kombination mit einem besseren intergranularen Korrosionsverhalten als bei einer normalen 6013-Legierung erreicht wird.

[0014] Erfindungsgemäß ist ein schweißbares hochfestes Walzprodukt aus einer Aluminiumlegierung vorgesehen, das in Gew.-% die Elemente Si 0,8 bis 1,3, Cu 0,2 bis 0,45, Mn 0,5 bis 1,1, Mg 0,45 bis 1,0, Fe 0,01 bis 0,3, Zr < 0,25, Cr < 0,25, Zn < 0,35, Ti < 0,25, V < 0,25, andere jeweils < 0,05 und gesamt < 0,15, Rest Aluminium enthält, ferner mit der Maßgabe, dass die Gew.-% des verfügbaren Si in dem Bereich von 0,86 bis 1,15, bevorzugt in dem Bereich von 0,86 bis 1,05 liegen. Der Gewichtsprozentsatz („Gew.-%“) an verfügbarem Si ist nach der folgenden Gleichung berechnet:

$$\text{Gew.-% Si(verfügbar)} = \text{Gew.-% Si} - (\text{Gew.-% Fe} + \text{Gew.-% Mn})/6$$

[0015] Durch die Erfindung können wir ein verbessertes Walzprodukt aus einer Aluminiumlegierung der Reihe

AA 6000 mit einer guten Bilanz bei Festigkeit, Bruchzähigkeit und Korrosionsbeständigkeit und insbesondere intergranularer Korrosionsbeständigkeit vorsehen. Das Legierungsprodukt hat einen niedrigeren Cu-Gehalt als normale 6013-Legierungen oder normale 6056-Legierungen, wobei es dennoch ausreichend hohe Festigkeitsniveaus in Kombination mit einer verbesserten intergranularen Korrosionsleistung im Vergleich zu normalen 6013-Legierungen und/oder 6056-Legierungen beim Test im gleichen Wärmebehandlungsverfahren aufweist. Mit dem Legierungsprodukt nach der Erfindung können wir ein Produkt mit einer Dehngrenze von 325 MPa oder mehr und eine Höchstzugfestigkeit von 355 MPa oder mehr vorsehen. Das Legierungsprodukt kann erfolgreich unter Verwendung von Techniken wie z.B. Laserstrahlschweißen, Reibungsschweißen und TIG-Schweißen geschweißt werden.

[0016] Das Produkt kann entweder natürlich gealtert werden, um ein verbessertes Legierungsprodukt mit guter Formbarkeit im T4-Zustand herzustellen, oder künstlich zu einem T6-Zustand gealtert werden, um eine verbesserte Legierung mit hoher Festigkeit und Bruchzähigkeit zusammen mit guten Korrosionsbeständigkeitseigenschaften herzustellen. Eine gute Bilanz aus Festigkeit und Korrosionsverhalten wird dabei erhalten, ohne dass das Produkt in einen überalterten Zustand gebracht werden muss, sondern durch sorgfältige Auswahl enger Bereiche für den Gehalt an Cu, Mg, Si und Mn sowie derart, dass genügend Si in einem definierten Bereich als Festigungselement verfügbar ist.

[0017] Die Bilanz aus hoher Formbarkeit, guter Bruchzähigkeit, hoher Festigkeit und die guten Korrosionsbeständigkeitseigenschaften der schweißbaren Aluminiumlegierung der vorliegenden Erfindung hängen von der chemischen Zusammensetzung ab, die innerhalb spezifischer Grenzen streng kontrolliert wird, was im folgenden im einzelnen dargelegt wird. Alle Zusammensetzungsprozentangaben sind in Gew.-%.

[0018] Ein bevorzugter Bereich für den Siliciumgehalt liegt bei 1,0 bis 1,15 %, um die Festigkeit der Legierung in Kombination mit Magnesium zu optimieren. Ein zu hoher Si-Gehalt hat einen schädlichen Einfluss auf die Dehnung im T6-Zustand und das Korrosionsverhalten der Legierung. Wie oben dargelegt, liegt Silicium bevorzugt in einem Bereich von 0,86 bis 1,05 vor, um die beste Bilanz an Festigkeit und Korrosionsverhalten zu erreichen. Ein zu niedriger Si-Gehalt und damit eine niedrige Menge an verfügbarem Silicium liefert nicht genügend Festigkeit für die Legierung.

[0019] Magnesium liefert in Verbindung mit dem Silicium Festigkeit für die Legierung. Der bevorzugte Bereich von Magnesium ist 0,6 bis 0,85 % und bevorzugter 0,6 bis 0,75 %. Wenigstens 0,45 Magnesium sind nötig, um eine ausreichende Festigkeit zu schaffen, während es bei den Mengen über 1,0 % schwierig wird, genug Lösungsmittel zu lösen, um genügend Aushärtungspräzipitat zu erhalten, damit es zu der hohen T6-Festigkeit kommt.

[0020] Kupfer ist ein wichtiges Element, um der Legierung Festigkeit zu verleihen. Allerdings haben zu hohe Kupferniveaus in Kombination mit Mg einen schädlichen Einfluss auf das Korrosionsverhalten und die Schweißbarkeit des Aluminiumprodukts. Der bevorzugte Kupfergehalt liegt im Bereich von 0,3 bis 0,45 % als Kompromiss für Festigkeit, Zähigkeit, Formbarkeit und Korrosionsverhalten. Man hat herausgefunden, dass in diesem Bereich das Legierungsprodukt eine gute Beständigkeit gegen IGC hat.

[0021] Der bevorzugte Bereich von Mangan liegt bei 0,6 bis 0,78 % und bevorzugter zwischen 0,65 und 0,78 %. Mn trägt bei Operationen zur Korngrößensteuerung, bei denen die Legierung rekristallisieren kann, bei oder unterstützt sie, und trägt zur Erhöhung der Festigkeit und Zähigkeit bei.

[0022] Der Zinkgehalt in der Legierung nach der Erfindung sollte niedriger als 0,35 % und bevorzugt niedriger als 0,2 % sein. In der US-Patentschrift 5,888,320 wurde berichtet, dass die Zugabe von Zink die Festigkeit der Aluminiumlegierung steigern kann, aber erfindungsgemäß wurde herausgefunden, dass zu hohe Zinkgehalte eine schädliche Wirkung auf das intergranulare Korrosionsverhalten des Produkts haben. Darüberhinaus erzeugt die Beigabe von Zink tendenziell eine Legierung mit einer unerwünschten höheren Dichte, was besonders nachteilig ist, wenn die Legierung für Luftfahrtanwendungen verwendet wird.

[0023] Eisen ist ein Element mit starkem Einfluss auf die Formbarkeit und Bruchzähigkeit des Legierungsprodukts. Der Eisengehalt sollte im Bereich von 0,01 bis 0,3 %, bevorzugt von 0,01 bis 0,25 % und bevorzugter von 0,01 bis 0,2 % liegen.

[0024] Titan ist ein wichtiges Element als Kornrefiner während der Verfestigung der Walzbarren und sollte bevorzugt mit weniger als 0,25 % vorliegen. Erfindungsgemäß wurde herausgefunden, dass das Korrosionsverfahren insbesondere gegen intergranulare Korrosion deutlich verbessert werden kann, wenn der Ti-Gehalt im

Bereich von 0,06 bis 0,20 % und bevorzugt von 0,07 bis 0,16 % liegt. Man hat herausgefunden, dass Ti teilweise oder ganz durch Vanadium ersetzt sein kann.

[0025] Zirkonium und/oder Chrom und/oder Hafnium können der Legierung jeweils in einer Menge von weniger als 0,25 % beigegeben sein, um das Rekristallisierungsverhalten und/oder das Korrosionsverhalten (insbesondere IGC) der Legierung zu verbessern. Bei zu hohen Niveaus kann das vorliegende Cr unerwünscht große Teilchen mit dem Mg in dem Legierungsprodukt bilden.

[0026] Der Rest ist Aluminium und unvermeidbare Verunreinigungen. Typischerweise liegt jedes Verunreinigungselement maximal mit 0,05 % vor, und insgesamt liegen die Verunreinigungen bei maximal 0,15 %.

[0027] Die besten Ergebnisse werden erreicht, wenn die Legierungswalzprodukte eine rekristallisierte Mikrostruktur haben, was bedeutet, dass 80 % oder mehr und bevorzugt 90 % oder mehr der Körnchen in einem T4- oder T6-Zustand rekristallisiert sind.

[0028] Das Produkt nach der Erfindung ist bevorzugt dadurch gekennzeichnet, dass die Legierung auf den T6-Zustand in einem Alterungszyklus gealtert wurde, der das Aussetzen einer Temperatur zwischen 150 und 210°C über einen Zeitraum zwischen 1 und 20 Stunden beinhaltet, wodurch ein Aluminiumlegierungsprodukt mit einer Dehngrenze von 325 MPa oder mehr und bevorzugt von 330 MPa oder mehr sowie einer Höchstzugfestigkeit von 355 MPa oder mehr und bevorzugt von 365 MPa oder mehr erzeugt wird.

[0029] Darüber hinaus ist das Produkt nach der Erfindung bevorzugt dadurch gekennzeichnet, dass die Legierung auf den T6-Zustand in einem Alterungszyklus gealtert wurde, der das Aussetzen einer Temperatur zwischen 150 und 210°C über einen Zeitraum zwischen 1 und 20 Stunden beinhaltet, wodurch ein Aluminiumlegierungsprodukt mit einer intergranularen Korrosion nach einem Test entsprechend MIL-H-6088 erzeugt wird, die bis zu einer Tiefe von weniger als 180 µm und bevorzugt einer Tiefe von weniger als 150 µm vorliegt.

[0030] Bei einer Ausführungsform besteht die Erfindung auch darin, dass das Produkt dieser Erfindung mit wenigstens einer Plattierung versehen sein kann. Solche plattierten Produkte verwenden einen Kern aus dem Aluminiumbasislegierungsprodukt der Erfindung und eine Plattierung mit gewöhnlich höherer Reinheit, die insbesondere den Kern gegen Korrosion schützt. Die Legierung umfasst, wenn auch nicht einschränkend, im Wesentlichen unlegiertes Aluminium oder Aluminium, das nicht mehr als 0,1 oder 1 % aller anderen Elemente enthält. Aluminiumlegierungen, die hier mit der Reihe 1xxx bezeichnet sind, umfassen alle Legierungen der Aluminium Association (AA) einschließlich der Unterklassen der Typen 1000, 1100, 1200 und 1300. Die Plattierung auf dem Kern kann also aus verschiedenen Legierungen der Aluminium Association wie 1060, 1045, 1100, 1200, 1350, 1170, 1175, 1180 oder 1199 bestehen. Außerdem können Legierungen der Serie AA7000 wie 7072, die Zink (0,8 bis 1,3 %) enthält, als Plattierung dienen, und Legierungen der Reihe AA6000 wie AA6003 oder AA6253, die typischerweise mehr als 1 % Legierungszusätze enthalten, können als Plattierung dienen. Andere Legierungen könnten ebenfalls als Plattierung von Nutzen sein, solange sie insbesondere einen ausreichenden Gesamtkorrosionsschutz für die Kernlegierung liefern.

[0031] Außerdem kann eine Plattierung aus der Legierungsserie AA4000 nützlich sein. Die Legierungen der Serie AA4000 haben als Hauptlegierungselement Silicium, typischerweise im Bereich von 6 bis 14 %. Bei dieser Ausführungsform liefert die Plattierungsschicht das Schweißfüllmaterial bei einer Schweißoperation z.B. mittels Laserstrahlschweißen, womit bei einer Schweißoperation keine zusätzlichen Fülldrahtmaterialien mehr erforderlich sind. Bei dieser Ausführungsform liegt der Siliciumgehalt bevorzugt in einem Bereich von 10 bis 12 %.

[0032] Die Plattierungsschicht oder -schichten sind gewöhnlich viel dünner als der Kern, wobei jede 2 bis 15 oder 20 oder möglicherweise 25 % der gesamten Verbunddicke bildet. Eine Plattierungsschicht bildet dann noch typischer etwa 2 bis 12 % der Gesamtverbunddicke.

[0033] Bei einer bevorzugten Ausführungsform wird das Legierungsprodukt nach der Erfindung an einer Seite mit einer Plattierung der Reihe AA1000 und auf der anderen Seite mit einer solchen aus der Reihe AA4000 versehen. Bei dieser Ausführungsform werden der Korrosionsschutz und die Schweißfähigkeit kombiniert. Bei dieser Ausführungsform kann das Produkt erfolgreich z.B. für vorgekrümmte Tafeln verwendet werden. Falls es bei der Walzpraxis eines asymmetrischen Sandwich-Produkts (Legierung der Reihe 1000 + Kern + Legierung der Reihe 4000) zu Problemen wie „banaring“ kommt, besteht auch die Möglichkeit, zunächst ein symmetrisches Sandwichprodukt mit den folgenden Schichten in Reihe zu walzen: Legierung der Reihe 1000 + Legierung der Reihe 4000 + Kernlegierung + Legierung der Reihe 4000 + Legierung der Reihe 1000; daraufhin

werden eine oder mehrere der äußeren Schichten) z.B. durch chemisches Fräsen entfernt.

[0034] Die Erfindung besteht auch aus einem Verfahren zur Herstellung des Aluminiumlegierungsprodukts nach der Erfindung. Das Verfahren zur Herstellung des Aluminiumlegierungsprodukts umfasst folgende sequentielle Verfahrensschritte: (a) ein Ausgangsmaterial mit einer oben dargelegten Zusammensetzung wird vorgesehen, (b) das Ausgangsmaterial wird vorgewärmt oder homogenisiert, (c) das Ausgangsmaterial wird warmgewalzt, (d) das Ausgangsmaterial wird gegebenenfalls kaltgewalzt, (e) das Ausgangsmaterial wird lösungsgeglüht, und (f) das Ausgangsmaterial wird abgeschreckt, um die unkontrollierte Ausfällung von sekundären Phasen zu minimieren. Danach kann das Produkt in einem T4-Zustand vorgesehen sein, indem man das Produkt natürlich altern lässt, um ein verbessertes Legierungsprodukt mit guter Formbarkeit herzustellen, oder es kann durch künstliches Altern in einem T6-Zustand vorgesehen sein. Zum künstlichen Altern wird das Produkt einem Alterungszyklus unterzogen, der das Aussetzen einer Temperatur zwischen 150 und 210°C über einen Zeitraum zwischen 0,5 und 30 Stunden umfasst.

[0035] Die hier beschriebene Aluminiumlegierung kann beim Verfahrensschritt (a) als Barren oder Walzblock zur Bearbeitung zu einem geeigneten Gussprodukt durch Gießtechniken vorgesehen werden, die im aktuellen Stand der Technik für Gussprodukte verwendet werden, z.B. DC-Guss, EMC-Guss, EMS-Guss. Es können auch Walzblöcke verwendet werden, die aus einem kontinuierlichen Gussverfahren stammen, z.B. Band- oder Walzgießvorrichtungen.

[0036] Typischerweise werden die Walzseiten der plattierten und unplattierten Produkte geschält, um Segregationszonen in der Nähe der Gussfläche des Barrens zu entfernen.

[0037] Der gegossene Barren oder Walzblock kann vor dem Warmwalzen homogenisiert werden, und/oder er kann vorgewärmt werden, worauf direkt ein Warmwalzen folgt. Die Homogenisierung und/oder das Vorwärmen der Legierung vor dem Warmwalzen sollte bei einer Temperatur im Bereich von 490 bis 580°C in Einzel- oder Mehrschritten durchgeführt werden. In jedem Fall ist die Segregation von Legierungselementen in dem gegossenen Material reduziert, und lösliche Elemente sind gelöst. Wird die Behandlung unter 490°C durchgeführt, dann ist der resultierende Homogenisierungseffekt unzureichend. Liegt die Temperatur über 580°C, dann könnte es zu eutektischem Schmelzen kommen, woraus sich eine unerwünschte Porenbildung ergibt. Die bevorzugte Zeit für die oben genannte Wärmebehandlung liegt zwischen 2 und 30 Stunden. Längere Zeiten sind normalerweise unschädlich. Die Homogenisierung wird gewöhnlich bei einer Temperatur über 540°C durchgeführt. Eine typische Vorwärmtemperatur liegt im Bereich von 535 bis 560°C bei einer Durchwärmungszeit in einem Bereich von 4 bis 16 Stunden.

[0038] Nach dem Kaltwalzen des Legierungsprodukts oder, falls das Produkt nicht kaltgewalzt wird, nach dem Warmwalzen wird das Legierungsprodukt bei einer Temperatur im Bereich von 480 bis 590°C, bevorzugt 530 bis 570°C, über eine Zeit lösungsgeglüht, die ausreicht, damit die Lösungseffekte annähernd ein Gleichgewicht erreichen, dies bei typischen Durchwärmungszeiten im Bereich von 10 Sek. bis 120 Minuten. Bei plattierten Produkten sollte auf nicht zu lange Durchwärmungszeiten geachtet werden, um die Diffusion von Legierungselementen in die Plattierung zu verhindern, die den von der Plattierung geleisteten Korrosionsschutz beeinträchtigen kann.

[0039] Nach dem Lösungsglühen ist es wichtig, dass das Legierungsprodukt auf eine Temperatur von 175°C oder niedriger, bevorzugt auf Zimmertemperatur abgekühlt wird, um die unkontrollierte Ausfällung von sekundären Phasen, z.B. Mg_2Si zu verhindern. Andererseits sollten die Kühlraten nicht zu hoch sein, damit sich eine ausreichende Flachheit und ein niedriges Niveau von Restspannungen in dem Legierungsprodukt ergeben können. Geeignete Kühlraten können bei Verwendung von Wasser, z.B. durch Eintauchen in Wasser oder Wasserstrahlen erreicht werden.

[0040] Das Produkt nach der Erfindung hat sich als für die Anwendung als Bauteil eines Flugzeugs sehr geeignet erwiesen, insbesondere als Flugzeugrumpfhautmaterial, bevorzugt mit einer Dicke von bis zu 15 mm.

BEISPIEL

[0041] Sechs verschiedene Legierungen wurden zu Barren DC-gegossen, nachfolgend geschält, über sechs Stunden mit 550°C vorgewärmt (Aufheizgeschwindigkeit etwa 30°C/h), auf eine Stärke von 7,5 mm warmgewalzt, auf eine endgültige Stärke von 2,0 mm kaltgewalzt, über 15 Min. bei 550°C lösungsgeglüht, mit Wasser abgeschreckt, durch Halten auf 190°C über 4 Stunden (Aufheizgeschwindigkeit etwa 35°C/h) auf einen T6-Zustand gealtert, worauf eine Luftkühlung auf Zimmertemperatur folgte. Die Tabelle 1 gibt die chemische Zusam-

mensetzung der gegossenen Legierungen an, mit dem Rest unvermeidbare Verunreinigungen und Aluminium, wobei die Legierungen Nr. 1 und 4 Legierungen nach der Erfindung sind und die anderen Legierungen zum Vergleich dienen.

[0042] Der Zugtest und der intergranulare Korrosionstest („IGC“) wurden an dem nackten Blechmaterial im T6-Zustand mit vollständig rekristallisierter Mikrostruktur durchgeführt. Für den Zugtest in L-Richtung wurden kleine Euronorm-Proben verwendet, die Durchschnittsergebnisse von 3 Proben sind angegeben; dabei steht „Rp“ für die Dehngrenze, „Rm“ für die Höchstzugfestigkeit und A50 für die Dehnung. „TS“ steht für die Reißfestigkeit und wurde in L-T-Richtung nach ASTM-B871-96 gemessen. Die intergranulare Korrosion („ICG“) wurde an zwei Proben von 50 × 60 mm nach der in AIMS 03-04-000 angegebenen Prozedur getestet, die MIL-H-6088 und einige zusätzliche Schritte spezifiziert. Die maximale Tiefe in Mikron wurde in Tabelle 3 angegeben.

[0043] Aus den Testergebnissen in Tabelle 2 und 3 ist bei einem Vergleich der Legierung 1 mit der Legierung 2 zu ersehen, dass ein zu hoher Si-Gehalt in der Aluminiumlegierung einen ungünstigen Effekt auf die TS hat und insbesondere die maximale intergranulare Korrosionstiefe deutlich erhöht ist. Aus einem Vergleich der Legierung 1 mit Legierung 3 ist zu ersehen, dass ein zu hoher Zn-Gehalt in der Aluminiumlegierung einen ungünstigen Effekt auf die maximale intergranulare Korrosionstiefe hat. Aus einem Vergleich der Legierung 1 mit den Standardlegierungen 6056 und 6013 in einem T6-Zustand ist zu ersehen, dass das Legierungsprodukt nach der Erfindung ein deutlich besseres Verhalten bei der intergranularen Korrosion zu Ungunsten der etwas niedrigeren Zugeigenschaften hat. Die niedrigere TS des Legierungsprodukts im Vergleich mit dem Standard 6056 und 6013 liegt an einem deutlich geringeren Cu-Gehalt in der Aluminiumlegierung. Aus einem Vergleich der Legierung 1 mit der Legierung 4 (beide nach der Erfindung) ist zu ersehen, dass eine Erhöhung des Ti-Gehalts in dem Aluminiumlegierungsprodukt eine merkliche Reduzierung der maximalen intergranularen Korrosionstiefe ergibt.

[0044] Nach der vollständigen Beschreibung wird dem Durchschnittsfachmann klar sein, dass viele Änderungen und Modifizierungen vorgenommen werden können, ohne den Geist oder Umfang der hier beschriebenen Erfindung zu verlassen.

Tabelle 1 Chemische Zusammensetzung der getesteten Legierungen

Legie- Legierungselement (Gew.-%)
rung

	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Ti	Si _{av}
1 (Erf.)	1,05	0,19	0,29	0,72	0,70	0,09	0,03	0,89
2 (Vgl.)	1,33	0,14	0,3	0,69	0,69	0,08	0,03	1,19
3 (Vgl.)	1,04	0,14	0,28	0,69	0,72	1,5	0,02	0,90
4 (Erf)	1,14	0,17	0,47	0,72	0,68	0,15	0,10	0,99
standard	0,92	0,15	0,90	0,46	0,88	0,08	0,02	0,81
6056								
standard	0,79	0,17	0,96	0,35	0,90	0,09	0,03	0,70
6013								

Tabelle 2 Zugeigenschaften in L-Richtung bei dem Blechmaterial im T62-Zustand

Legierung	R _p [MPa]	R _m [MPa]	A50 [%]	L-T TS [MPa]
1	347	368	12	558
2	340	371	14	526
3	345	366	9	543
4	346	373	12	540
standard 6056	362	398	12	601
standard 6013	369	398	9	613

Tabelle 3 ICG-Korrosionsergebnisse im T62-Zustand

Legierung	Tiefe maximal [µm]
1	130
2	183
3	203
4	90
standard 6056	177
standard 6013	187

Patentansprüche

1. Gewalztes Produkt aus einer schweißbaren, hochfesten Aluminiumlegierung, das folgende Elemente in Gewichtsprozent enthält:

Si 0,8 – 1,3

Cu 0,2 – 0,45

Mn 0,5 – 1,1

Mg 0,45 – 1,0

Fe 0,01 – 0,3

Zr < 0,25

Cr < 0,25

Zn < 0,35

Ti < 0,25

V < 0,25

andere jeweils < 0,05, insgesamt < 0,15

Rest Aluminium,

und unter der Voraussetzung, dass die Gewichtsprozent des verfügbaren Si im Bereich von 0,86 bis 1,15 liegen, wobei die Gewichtsprozent des verfügbaren Si nach der Gleichung berechnet sind:

$$\text{Gew.-% Si(verfügbar)} = \text{Gew.-% Si} - (\text{Gew.-% Fe} + \text{Gew.-% Mn})/6,$$

und wobei des Weiteren das Produkt eine zu mehr als 80 umkristallisierte Mikrostruktur aufweist.

2. Produkt nach Anspruch 1, wobei das Si-Niveau im Bereich von 1,0 bis 1,15 liegt.

3. Produkt nach Anspruch 1 oder 2, wobei das Cu-Niveau im Bereich von 0,3 bis 0,45 liegt.

4. Produkt nach einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei das Mn-Niveau im Bereich von 0,65 bis 0,78 liegt.

5. Produkt nach einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei das Mg-Niveau im Bereich von 0,6 bis 0,85 liegt.

6. Produkt nach einem der Ansprüche 1 bis 5, wobei das Ti-Niveau im Bereich von 0,06 bis 0,2 liegt.

7. Produkt nach einem der Ansprüche 1 bis 6, wobei das Zn-Niveau im Bereich von weniger als 0,2 liegt.

8. Produkt nach einem der Ansprüche 1 bis 7, wobei die Legierung bis zu dem T6 Härtegrad in einem Alterungszyklus gealtert wurde, der das Aussetzen einer Temperatur zwischen 150° und 210°C über einen Zeitraum zwischen 0,5 und 30 Stunden beinhaltet, um dadurch ein Aluminiumlegierungsprodukt herzustellen, gekennzeichnet durch eine intergranulare Korrosion, nachdem ein MIL-H-6088 Test bis zu einer Tiefe von weniger als 180 µm vorliegt.

9. Produkt nach einem der Ansprüche 1 bis 8, wobei sich auf dem Produkt folgende Einfach- oder Mehrfachplattierschicht befindet:

- (i) sie besteht aus einer Aluminiumlegierung höherer Reinheit als das Produkt;
- (ii) die Plattierschicht stammt aus der Aluminium Association AA1000-Serie;
- (iii) die Plattierschicht stammt aus der Aluminium Association AA4000-Serie;
- (iv) die Plattierschicht stammt aus der Aluminium Association AA6000-Serie;
- (v) die Plattierschicht stammt aus der Aluminium Association AA7000-Serie.

10. Produkt nach Anspruch 9, wobei das legierte Produkt auf der einen Seite eine Plattierschicht aus der Aluminium Association AA1000-Serie und auf der anderen Seite eine aus der Aluminium Association AA4000-Serie aufweist.

11. Verfahren zur Herstellung des schweißbaren, hochfesten legierten Produkts nach einem der Ansprüche 1 bis 10, das folgende Verfahrensschritte enthält:

- (a) Bereitstellen eines Stoffs oder Rohlings mit einer chemischen Zusammensetzung nach einem der Ansprüche 1 – 7,
- (b) Vorwärmen oder Homogenisieren des Stoffs,
- (c) Warmwalzen des Stoffs,
- (d) wahlweises Kaltwalzen des Stoffs,
- (e) Lösungsglühen des Stoffs,
- (f) Abschrecken des Stoffs, um das unkontrollierte Ausscheiden von Sekundärphasen zu minimieren, und
- (g) Altern des abgeschreckten Stoffs, um ein legiertes Produkt mit einem T4 Härtegrad oder einem T6 Härtegrad bereitzustellen.

12. Produkt nach einem der Ansprüche 1 bis 10 oder hergestellt nach Anspruch 11, wobei das Produkt ein Strukturbauteil eines Flugzeugs bildet.

13. Produkt nach einem der Ansprüche 1 bis 10 oder nach Anspruch 11 hergestellt, wobei das Produkt ein Flugzeughautmaterial bildet.

14. Produkt nach einem der Ansprüche 1 bis 10 oder nach Anspruch 11 hergestellt, wobei das Produkt ein Hautmaterial für den Flugzeugrumpf bildet.

Es folgt kein Blatt Zeichnungen