

## Übersetzung der neuen europäischen Patentschrift

(12)

(97) Veröffentlichungsnummer: EP 1917373

(96) Anmeldenummer: 2006776840  
(96) Anmeldetag: 14.08.2006  
(45) Ausgabetag: 29.11.2022

(51) Int. Cl.: **C22C 21/06** (2006.01)  
**C22C 1/02** (2006.01)

(30) Priorität: 16.08.2005 EUROPÄISCHES PATENTAMT 05076898 beansprucht.	(73) Patentinhaber: Novelis Koblenz GmbH 56070 Koblenz (DE)
(97) Veröffentlichungstag der Anmeldung: 07.05.2008 Patentblatt 08/19	(72) Erfinder: TELIoui, NADIA 3028 EE ROTTERDAM (NL) MEIJERS, STEVEN, DIRK 1822 ME ALKMAAR (NL) NORMANN, ANDREW 1943 LS BEVERWIJK (NL) BÜRGER, ACHIM 56203 HÖHR-GRENZHAUSEN (DE) SPANGEL, SABINE, MARIA 56068 KOBLENZ (DE)
(97) Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung: 14.09.2011 Patentblatt 11/37	
(97) Hinweis auf Einspruchsentscheidung: 15.08.2018 Patentblatt 18/33	
(84) Benannte Vertragsstaaten: AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HU IE IS IT LI LT LU LV MC NL PL PT RO SE SI SK TR	
(56) Entgegenhaltungen: Die Entgegenhaltungen entnehmen Sie bitte der entsprechenden europäischen Druckschrift.	(74) Vertreter: Puchberger & Partner Patentanwälte 1010 Wien (ÖSTERREICH)

(54) **HOCHFESTE SCHWEISSBARE AL-MG-LEGIERUNG**

---

EP 1 917 373  
Aleris Aluminum Koblenz GmbH  
18750 PT-AT

5

### Gebiet der Erfindung

Die Erfindung betrifft ein Aluminiumlegierungsprodukt, insbesondere vom Typ Al-Mg (auch bekannt als Aluminiumlegierung der 5xxx-Reihe gemäß der Bezeichnung der Aluminium Association). Noch genauer betrifft die vorliegende Erfindung eine hochfeste Aluminiumlegierung geringer Dichte mit hervorragender Korrosionsfestigkeit und Schweißbarkeit. Produkte aus dieser neuartigen Legierung sind sehr gut geeignet für die Anwendung in Produkten der Luft- und Raumfahrt.

Die Legierung kann zu verschiedenen Produktformen, z.B. Blech, dünnen Platten oder stranggepressten, geschmiedeten oder alterungsgeformten Produkten, verarbeitet werden. Die Legierung kann unbeschichtet oder beschichtet sein oder für eine noch stärkere Verbesserung der Eigenschaften, z.B. der Korrosionsfestigkeit, mit einer anderen Aluminiumlegierung plattiert sein.

### Hintergrund der Erfindung

In der Vergangenheit wurden unterschiedliche Typen von Aluminiumlegierungen für die Herstellung einer Vielfalt von Produkten für die Anwendung in der Bau- und Transportindustrie, insbesondere auch in der Luft- und Raumfahrt sowie Seefahrt, verwendet. Designer und Hersteller in diesen Industriezweigen versuchen ständig, die Produktleistung, die Produktlebenszeit und die Kraftstoffeffizienz zu verbessern; ebenso versuchen sie, die Kosten für Herstellung, Betrieb und Wartung zu verringern.

Eine Möglichkeit zur Erreichung der Ziele dieser Hersteller und Designer besteht darin, die relevanten Werkstoffeigenschaften der Aluminiumlegierungen zu verbessern, so dass ein aus dieser Legierung hergestelltes Produkt wirksamer gestaltet und effizienter hergestellt werden kann und insgesamt eine bessere Leistung zeigt.

In vielen der oben genannten Anwendungen benötigt man Legierungen mit hoher Festigkeit, geringer Dichte, hervorragender Korrosionsfestigkeit, hervorragender Schweißbarkeit und hervorragenden Eigenschaften nach dem Schweißen.

Die US 2002/0006352 offenbart eine Aluminium-Magnesium-Legierung für Gussabläufe, welche, in Gew.-%, besteht aus Mg 2,7-6,0, Mn 0,4-1,4, Zn 0,10-1,5, Zr 0,3 max., V 0,3 max., Sc 0,3 max., Ti 0,3 max., Fe 1,0 max., Si 1,4 max., Rest Aluminium und unvermeidbare Verunreinigungen. Die Gusslegierung ist besonders geeignet für die Anwendung in Druckgussabläufen. Außerdem betrifft das Dokument ein Verfahren zur Verwendung der Gusslegierung für das Druckgießen von Automobilbauteilen.

Das europäische Patent EP 0 958 393 B1 offenbart eine Aluminium-Magnesium-Legierung, welche gute Schadenstoleranz aufweist und somit für die Anwendung in der Luft- und Raumfahrt, beispielsweise Rumpfhaut, untere Tragflächenabschnitte, Stringer und Druckschotts, gedacht ist.

Die vorliegende Erfindung betrifft eine Legierung vom AA-5xxx-Typ, welche verbesserte Eigenschaften in den Bereichen Festigkeit, Schadenstoleranz, Korrosionsfestigkeit und Schweißbarkeit kombiniert.

Sofern nicht ausdrücklich anders angegeben, beziehen sich im Nachfolgenden die Bezeichnungen der Aluminiumlegierungen und Härtegrade auf die Bezeichnungen der Aluminium Association in Aluminium Standards and Data and Registration Records, wie sie von der Aluminium Association im Jahr 2005 veröffentlicht wurden.

### Beschreibung der Erfindung

Eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, ein Aluminium-Magnesium-Legierungsprodukt der AA5xxx-Legierungsreihe gemäß der Bezeichnung der Aluminium Association zur Verfügung zu stellen, welches hohe Festigkeit, geringe Dichte und hervorragende Korrosionseigenschaften aufweist.

Eine weitere Aufgabe der vorliegenden Erfindung besteht darin, ein Aluminium-Magnesium-Legierungsprodukt mit guten Schweißbarkeitseigenschaften zur Verfügung zu stellen.

Eine andere Aufgabe der vorliegenden Erfindung besteht darin, ein Aluminium-Magnesium-Legierungsprodukt zur Verfügung zu stellen, welches hohe Wärmebeständigkeit aufweist und geeignet ist für die Verwendung bei der Herstellung von Produkten daraus, welche durch plastische Umformungsverfahren, wie Kriechumformen, Walzumformen und Streckumformen, geformt werden.

5 Diese und andere Aufgaben sowie weitere Vorteile werden erreicht oder übertroffen durch die vorliegende Erfindung, welche ein Aluminiumlegierungsprodukt betrifft, gemäß Anspruch 1.

10 Gemäß der Erfindung wird Mg zugegeben, um der Legierung ihre Grundfestigkeit zu verleihen. Die Legierung kann ihre Festigkeit durch Mischkristallhärten oder Kaltumformung erreichen. Ein geeigneter Bereich für Mg ist 3,8 bis 4,3 Gew.-%.

15 Die Zugabe von Mn als Dispersoid-bildendes Element ist bei der erfindungsgemäßen Legierung wichtig, und sein Gehalt liegt im Bereich von 0,4 bis 1,2 Gew.-%. Ein geeigneter Bereich ist 0,6 bis 1,0 Gew.-%, und ein bevorzugter Bereich ist 0,65 bis 0,9 Gew.-%.

20 Zur Vermeidung negativer Auswirkungen der Legierungselemente Cr und Ti liegt Cr im Bereich von 0,05 bis 0,1 Gew.-%, und Ti liegt im Bereich von 0,05 bis 0,1 Gew.-%.

25 Eine weitere Verbesserung der erfindungsgemäßen Aluminiumlegierung erhält man, wenn sowohl Cr als auch Ti in dem Aluminiumlegierungsprodukt in bevorzugt gleicher oder etwa gleicher Menge vorhanden sind.

Ein geeigneter Zr-Bereich ist 0,05 bis 0,25 Gew.-%, ein weiterer bevorzugter Bereich ist 0,08 bis 0,16 Gew.-%.

25 Eine weitere Verbesserung der Eigenschaften, insbesondere der Schweißbarkeit, kann erzielt werden, wenn Sc als ein Legierungselement im Bereich von 0,1 bis 0,3 Gew.-% zugegeben wird.

30 Die Wirkung der Sc-Zugabe kann durch die Zugabe von Zr und Ti weiter verstärkt werden. Sowohl Ti als auch Zr können kombiniert mit Sc ein Dispersoid bilden, welches eine geringere Diffusionsfähigkeit als das Sc-Dispersoid allein und eine geringere Gitterfehlanpassung zwischen der Dispersoid- und der Aluminium-Matrix aufweist, was zu einer verringerten Vergrößerungsrate führt. Ein zusätzli-

cher Vorteil der Zugabe von Zr und Ti besteht darin, dass weniger Sc zur Erzielung derselben die Rekristallisation hemmenden Wirkung benötigt wird.

Man glaubt, dass verbesserte Eigenschaften bei dem Legierungsprodukt dieser Erfindung, insbesondere hohe Festigkeit und gute Korrosionsfestigkeit, durch eine kombinierte Zugabe von Cr, Ti und Zr zu einer Al-Mg-Legierung, welche bereits eine bestimmte Menge an Mn enthält, erreicht werden.

Bevorzugt wird Cr mit Zr zu einer Gesamtmenge von 0,08 bis 0,25 Gew.-% kombiniert.

In noch einer anderen bevorzugten Ausführungsform der Legierung gemäß dieser Erfindung wird Zr mit Ti in der Legierung zu einer Gesamtmenge im Bereich von 0,08 bis 0,25 Gew.-% kombiniert.

In noch einer anderen bevorzugten Ausführungsform der erfindungsgemäßigen Legierung wird Cr mit Ti und Zr zu einer Gesamtmenge dieser Elemente im Bereich von 0,11 bis 0,36 Gew.-% kombiniert.

Ein geeigneter Bereich für Zn ist 0,35 bis 0,6 Gew.-%.

Eisen kann im Bereich von bis zu 0,14 Gew.-%.

Silizium kann im Bereich von bis zu 0,12 Gew.-%.

Ähnlich wird Kupfer zwar nicht bewusst als Zusatzstoff zugegeben, es ist jedoch ein sanft lösliches Element in Bezug auf die vorliegende Erfindung. Als solches kann das erfindungsgemäße Aluminiumlegierungsprodukt bis zu 0,05 Gew.-%, enthalten.

In einer bevorzugten Ausführungsform besteht das erfindungsgemäße Aluminiumlegierungsprodukt, in Gew.-%, im Wesentlichen aus:

Mg 3,8 – 4,3

25 Mn 0,65 – 1,0

Zr 0,05 bis 0,25

Cr 0,05 bis 0,1

Ti 0,05 bis 0,1

Sc 0,1 bis 0,3

30 Fe ≤ 0,14

Si ≤ 0,12

Zn 0,35 bis 0,6

Rest Aluminium, und Verunreinigungen oder Zufallselemente, jeweils < 0,05, gesamt < 0,15.

Die Verarbeitungsbedingungen, welche erforderlich sind, um die gewünschten Eigenschaften zur Verfügung zu stellen, hängen von der Wahl der Legierungsbedingungen ab. Für die Legierungszugabe von Mn ist die bevorzugte Vorwärmtemperatur vor dem Walzen im Bereich von 410°C bis 560°C, und bevorzugter im Bereich von 490°C bis 530°C. In diesem optimalen Temperaturbereich ist jedoch die Leistung der Elemente Cr, Ti, Zr und Sc weniger effektiv, wobei Cr hierbei die beste Leistung zeigt. Zur Erzielung der optimalen Leistung von Cr, Ti, Zr, und besonders in Kombination mit Sc, wird vor dem Warmwalzen eine Vorwärmbehandlung bei geringerer Temperatur, bevorzugt im Bereich von 280°C bis 500°C, bevorzugter im Bereich von 400°C bis 480°C, bevorzugt.

Das erfindungsgemäße Aluminiumlegierungsprodukt weist ein hervorragendes Gleichgewicht an Eigenschaften für die Verarbeitung zu einem Produkt in Form eines Blechs, einer Platte, eines Schmiedeprodukts, eines Strangpressprodukts, eines geschweißten Produkts oder eines durch plastische Verformung erhaltenen Produkts auf. Verfahren für die plastische Verformung beinhalten Verfahren wie Alterungsumformen, Streckumformen und Walzumformen, sie sind jedoch nicht hierauf beschränkt.

Die Kombination von hoher Festigkeit, geringer Dichte, hoher Schweißbarkeit und hervorragender Korrosionsfestigkeit des erfindungsgemäßen Aluminiumlegierungsprodukts machen es besonders geeignet als Produkt in Form eines Blechs, einer Platte, eines Schmiedeprodukts, eines Strangpressprodukts, eines geschweißten Produkts oder eines durch plastische Verformung erhaltenen Produkts.

In einer weiteren Ausführungsform, insbesondere wenn das Aluminiumlegierungsprodukt stranggepresst worden ist, ist das Legierungsprodukt bevorzugt zu Profilen, deren dickster Querschnittspunkt eine Dicke im Bereich von bis zu 150 mm aufweist, stranggepresst worden.

In stranggepresster Form kann das Legierungsprodukt auch dickes Plattenmaterial, welches konventionell zerspanend mittels zerspanender oder fräsenden Techniken zu einem geformten Strukturauteil bearbeitet wird, ersetzen. In

dieser Ausführungsform hat das stranggepresste Produkt bevorzugt an seinem dicksten Querschnittspunkt eine Dicke im Bereich von 15 bis 150 mm.

Das hervorragende Eigenschaftsgleichgewicht des Aluminiumlegierungsprodukts wird über einen breiten Bereich von Dicken erreicht. Im Dickebereich von 5 bis zu 12,5 mm sind die Eigenschaften hervorragend für Rumpfblech. Der Dickebereich dünner Platten kann auch für Stringer oder für die Bildung eines integralen Tragflächenpaneels und Stringern für die Verwendung in einer Flugzeugtragflächenstruktur verwendet werden.

Das Aluminiumlegierungsprodukt der Erfindung ist besonders geeignet für 10 Anwendungen, bei denen Schadenstoleranz erforderlich ist, beispielsweise schadenstolerante Aluminiumprodukte für Anwendungen in der Luft- und Raumfahrt, insbesondere für Stringer, Druckschotte, Rumpfbleche, untere Tragflächenpaneelle.

Die Kombination aus hoher Festigkeit, geringer Dichte, hervorragender Korrosionsfestigkeit und Wärmebeständigkeit bei hohen Temperaturen machen das 15 erfindungsgemäße Aluminiumlegierungsprodukt besonders geeignet für die Verarbeitung zu Rumpfpaneelen oder anderen vorformbaren Bauteilen eines Flugzeugs durch Kriechumformen (auch bekannt als Alterungsumformen oder Kriechalterungsumformen). Es können auch andere Verfahren der plastischen Verformung, beispielsweise Walzumformen oder Streckumformen, verwendet werden.

20 Abhängig von den Erfordernissen der beabsichtigten Anwendung kann das Legierungsprodukt im Temperaturbereich von 100-500°C geglättet werden, um ein Produkt herzustellen, welches einen weichen Härtegrad, einen Kaltumformungshärtegrad oder einen für die Kriechumformung erforderlichen Temperaturbereich beinhaltet, aber nicht hierauf beschränkt ist.

25 Das erfindungsgemäße Aluminiumlegierungsprodukt ist sehr geeignet, um durch alle herkömmlichen Fügetechniken, beinhaltend aber nicht beschränkt auf Fusionsschweißen, Rührreibschweißen, Nieten und Klebeverbindungen, an ein gewünschtes Produkt gefügt zu werden.

30 Beispiele

Die Erfindung wird nun unter Bezugnahme auf die folgenden Referenzbeispiele erläutert.

### Beispiel 1

Im Labormaßstab wurden fünf Legierungen vergossen, um das Prinzip der vorliegenden Erfindung in Bezug auf die mechanischen Eigenschaften zu erläutern. In Tabelle 1-1 sind die Zusammensetzungen der Legierungen A bis E in Gew.% als Referenzbeispiele aufgeführt. Die Legierungen wurden im Labormaßstab zu Gussblöcken vergossen, welche auf eine Temperatur zwischen 425°C und 450°C vorgewärmt und während 1 Stunde auf dieser Temperatur gehalten wurden. Die Gussblöcke wurden von 80 mm auf 8 mm warmgewalzt und anschließend mit einem Zwischenglühschritt und einer abschließenden Kaltverringerung von 40% auf eine endgültige Dicke von 2 mm kaltgewalzt. Die endgültige Platte wurde 1,5% gestreckt und bei einer Temperatur von 325°C während 2 Stunden gegläuht.

**Tabelle 1-1**

Legierung	Mg	Mn	Zr	Sc	Cr	Ti
A	4,0	0,9	0,10	0,15	<0,002	<0,002
B	4,0	0,9	0,10	0,15	<0,002	0,10
C	4,0	0,9	0,10	0,15	0,10	0,10
D	3,87	0,9	0,11	0,15	0,10	0,12
E	4,5	0,1	0,10	0,26	<0,002	<0,002

15

Alle Legierungen enthielten 0,06 Gew.% Fe und 0,04 Gew.% Si, Rest Aluminium und Verunreinigungen.

Die verfügbaren mechanischen Eigenschaften und physikalischen Eigenschaften der Legierungen A-E sind in Tabelle 1-2 aufgeführt und werden mit üblichen Werten für AA2024-T3 und AA6013-T6 verglichen. Die Legierungen A bis E werden als Referenz verwendet.

**Tabelle 1-2: Mechanische Eigenschaften und physikalische Eigenschaften**

Legierung	Rp(TYS) MPa	Rm(UTS) MPa	Bruchdeh- nung A	Dichte gr/cm <sup>3</sup>
AA2024 T3	380	485	14	2,796
AA6013 T6	365	393	11	2,768
A	346	420	10	-
B	376	426	9,4	-
C	393	439	7,6	2,655
D	380	430	9	-
E	310	385	12	2,645

alle Proben wurden in L-Richtung entnommen

- bedeutet „wurde nicht bestimmt“

5

Die mechanischen Eigenschaften wurden gemäß ASTM EM8 ermittelt.

Rp, TYS ((tensile) yield strength) steht für die Dehngrenze; Rm, UTS (ultimate tensile strength) steht für die Zugfestigkeit; A steht für die Bruchdehnung

Die vorliegende Erfindung umfasst Mn als eines der erforderlichen Legie-

10 rungselemente zur Erzielung wettbewerbsfähiger Festigkeitseigenschaften. Die Referenzlegierung A mit 0,9 Gew.% Mn zeigt eine Verbesserung von etwa 12% an Dehngrenze (TYS) gegenüber der Referenzlegierung E, welche nur 0,1 Gew.% Mn enthält.

Die Referenzlegierung B enthält eine absichtliche Zugabe von 0,10 Gew.%

15 Ti und die Referenzlegierung B zeigt eine Verbesserung von etwa 9% an Dehngrenze verglichen mit der Referenzlegierung A und eine 21%ige Verbesserung an Dehngrenze gegenüber der Legierung E. Eine optimale Verbesserung an Dehngrenze kann durch die kombinierte Zugabe von Cr und Ti erzielt werden, wie dies die Referenzlegierungen C und D zeigen. Die Kombination von Cr und Ti, wie sie 20 von Referenzlegierungen C und D gezeigt wird, führt zu einer Verbesserung von

etwa 14% an Dehngrenze gegenüber der Referenzlegierung A und zu einer 27%igen Verbesserung gegenüber der Referenzlegierung E. Die Referenzlegierungen C und D zeigen nicht nur bessere Dehngrenze-Eigenschaften, sondern weisen gegenüber den bekannten Legierungen AA2024 und AA6013 auch eine 5 geringere Dichte auf.

Die Legierungen A, C und E wurden auch einem Korrosionsversuch unterzogen, um die Prinzipien der vorliegenden Erfindung hinsichtlich der Korrosionsfestigkeit zu zeigen.

Die Legierungszusammensetzung, in Gew.%, ist in Tabelle 1-3 dargestellt.

10

**Tabelle 1-3**

Legierung	Mg	Mn	Zr	Sc	Cr	Ti
A	4,0	0,9	0,10	0,15	<0,002	<0,002
C	4,0	0,9	0,10	0,15	0,10	0,10
E	4,5	0,1	0,1	0,26	<0,002	<0,002

Die Legierungen enthielten 0,06 Gew.% Fe und 0,04 Gew.% Si, Rest Aluminium und Verunreinigungen.

15

Die chemische Zusammensetzung der Legierungen A, C und E liegt außerhalb der vorliegenden Erfindung.

Alle drei Legierungen wurden wie oben beschrieben verarbeitet, mit der Ausnahme, dass die Legierungen auf eine endgültige Dicke von 3 mm kaltgewalzt wurden.

20

Platten aus der verarbeiteten Legierung wurden geschweißt, und die Korrosion wurde mit Hilfe des Norm-Versuchs ASTM G66, welcher auch unter dem Namen ASSET-Versuch bekannt ist, gemessen.

25

Laserstrahlschweißen wurde für die Schweißversuche verwendet. Die Schweißleistung betrug 4,5kW, die Schweißgeschwindigkeit 2m/min unter Verwendung eines ER 5556-Fülldrahts.

Die Ergebnisse des Korrosionsversuchs sind in Tabelle 1-4 dargestellt.

Untersucht wurde die Korrosionsleistung des Basismetalls sowie im geschweißten Zustand.

**Tabelle 1-4 Korrosionseigenschaften**

Legie- rung	nicht sensibilisiert			sensibilisiert 100°C/7 Tage			sensibilisiert 120°C/7 Tage		
	Schwei- ßung	HAZ	Basis- metall	Schwei- ßung	HAZ	Basis- metall	Schwei- ßung	HAZ	Basis- metall
A	N	N	N	N	N	N	N	E-D	PB-A
C	N	N	N	N	N	N	N	N	PB-A
E	N	PB-B	PB-B	N	PB-B	PB-C	N	PB-B	PB-C

5

HAZ (heat affected zone) steht für wärmebeeinflusste Zone.

Die Bewertungen N, PB-A, PB-B und PB-C stehen für keine Grübchenbildung („Pitting“), leichte Grübchenbildung, moderate Grübchenbildung bzw. starke Grübchenbildung. Die Bewertung E-D steht für starkes Abblättern.

10 Die Erfindung offenbart eine Legierung niedriger Dichte mit guten mechanischen Eigenschaften in Kombination mit guter Korrosionsfestigkeit. Somit ist die erfindungsgemäße Zusammensetzung ein guter Kandidat für den Transportmarkt und besonders für die Anwendung in der Luft- und Raumfahrt.

15 Wie die Tabelle 1-4 zeigt, weist die Referenzlegierung C hinsichtlich Basis-  
metall, HAZ und Schweißung verbesserte Korrosionseigenschaften gegenüber den Legierungen A und E, welche außerhalb der Erfindung liegen, auf.

### Beispiel 2

Referenzaluminiumlegierungen A bis F der AA 5xxx-Reihe mit einer chemischen Zusammensetzung in Gew.% wie sie in Tabelle 2-1 gezeigt ist, wurden im Labormaßstab zu Gussblöcken vergossen. Die Gussblöcke wurden während 1 Stunde auf eine Temperatur von 410°C vorgewärmt, gefolgt von einer Temperatur von 510°C während 15 Stunden. Die Gussblöcke wurden von 80 mm auf 8 mm warmgewalzt und anschließend mit einem Zwischenglühschritt und einer abschlie-

ßenden Kaltverringerung von 40% auf eine endgültige Dicke von 2 mm kaltgewalzt. Die endgültige Platte wurde 1,5% gestreckt und anschließend bei einer Temperatur von 460°C während 30 Min. gegläuht.

5 **Tabelle 2-1**

Legierung	Mg	Mn	Zn	Zr	Cr	Ti
A	5,3	0,58	0,61	0,10	<0,01	<0,01
B	5,4	0,60	0,61	0,10	0,11	0,04
C	5,3	0,59	0,61	0,10	<0,01	0,10
D	5,3	0,61	0,62	0,10	0,11	0,11
E	5,3	0,57	0,61	<0,01	0,10	0,10
F	5,3	0,60	0,60	<0,01	0,10	<0,01

Alle Legierungen enthielten 0,06 Gew.-% Fe und 0,04 Gew.-% Si, Rest Aluminium und Verunreinigungen,

10 Die Ergebnisse der mechanischen Untersuchungen der Legierungen sind in Tabelle 2-2 gezeigt.

**Tabelle 2-2: Mechanische Eigenschaften**

Legierung	Rp(TYS) MPa	Rm(UTS) MPa	Bruchdehnung A %
A	165	316	24
B	169	329	23
C	168	326	22
D	187	340	22
E	183	331	21
F	157	322	24

Alle Proben wurden in L-Richtung entnommen

Die mechanischen Eigenschaften wurden gemäß ASTM EM8 ermittelt.

R<sub>p</sub>, TYS ((tensile) yield strength) steht für die Dehngrenze; R<sub>m</sub>, UTS (ultimate tensile strength) steht für die Zugfestigkeit; A steht für die Bruchdehnung

5 Tabelle 2-2 zeigt, dass die Dehngrenze der Referenzlegierung A, welche lediglich eine Zugabe von 0,1 Gew.% Zr enthält, etwa 5% mehr Festigkeit aufweist als die Referenzlegierung F, welche lediglich eine Zugabe von 0,1 Gew.% Cr enthält. Wird die Leistung der Referenzlegierungen A und F mit der Referenzlegierung B, welche Zugaben von 0,1 Gew.% Cr und 0,1 Gew.% Zr und ein geringes Niveau an Ti enthält, verglichen, so wird ein kleiner Vorteil an Dehngrenze erzielt. Außerdem wird bei der Referenzlegierung C, welche lediglich Zr und Ti und kein Cr enthält, ein kleiner Anstieg der Dehngrenze beobachtet. Wird jedoch Cr mit Ti kombiniert, wie dies bei der Referenzlegierung E der Fall ist, so erhöht sich die Festigkeit der Legierung um 11-13% im Vergleich mit der Referenzlegierung A, und um 17-19% im Vergleich mit der Referenzlegierung F. Für die Kombination, bei der alle drei Elemente der Legierung zugegeben werden (Referenzlegierung D), beobachtet man ein geringfügig höheres Festigkeitsniveau als bei der Referenzlegierung E.

10

15

Die Legierungen der Tabelle 2-1 wurden nach der Sensibilisierung auch einem Korrosionsversuch unterzogen. Die Ergebnisse sind in Tabelle 2-3 gezeigt.

20

**Tabelle 2-3 Korrosionseigenschaften**

Legierung	Basismetall, sensibilisiert 120°C/7 Tage
A	PB-A
B	N, PB-A
C	PB-A
D	N, PB-A
E	N, PB-A
F	N, PB-A

Die Korrosion wurde mit Hilfe des Norm-Versuchs ASTM G66, welcher auch unter dem Namen ASSET-Versuch bekannt ist, gemessen.

Die Bewertungen N und PB-A stehen für keine Grübchenbildung bzw. leichte Grübchenbildung.

5 Die Wahl der Legierungszugabeelemente beeinflusst auch das Korrosionsverhalten der Legierung, wie in Tabelle 2-3 gezeigt ist. Für die Legierungen, welche keine Cr-Zugabe enthalten (Legierungen A und C), wurde etwas Grübchenbildung nach Durchführung des Korrosionsversuchs beobachtet. Bei Cr-enthaltenden Legierungen (Legierungen B, D, E und F) wurde jedoch keine merkliche Beeinträchtigung beobachtet.

10

### Beispiel 3

Dieses Beispiel bezieht sich auf Aluminiumlegierungen der AA 5xxx-Reihe, welche eine chemische Zusammensetzung in Gew.-% aufweisen, wie sie in Tabelle 3-1 gezeigt ist. Die Referenzlegierungen A bis F sind ähnlich den in Beispiel 2 verwendeten Legierungen A bis F, sie wurden jedoch anders verarbeitet. In Tabelle 3-1 wird auch der Sc-Gehalt angegeben. Die Legierungen der Tabelle 3-1 werden im Labormaßstab zu Gussblöcken vergossen. Die Gussblöcke wurden während 1 Stunde auf eine Temperatur von 450°C vorgewärmt und bei der Vorwärmtemperatur von einer Dicke von 80 mm auf eine Dicke von 8 mm warmgewalzt. Anschließend wurden die Platten mit einem Zwischenglühschritt kaltgewalzt und einer abschließenden Kaltverringerung von 40% auf eine endgültige Dicke von 2 mm unterzogen. Die Platten wurden dann 1,5% gestreckt und bei einer Temperatur von 325°C während 2 Stunden geglüht.

25

**Tabelle 3-1**

Legierung	Mg	Mn	Zn	Zr	Cr	Ti	Sc
A	5,3	0,58	0,61	0,10	<0,01	<0,01	<0,005
B	5,4	0,60	0,61	0,10	0,11	0,04	<0,005
C	5,3	0,59	0,61	0,10	<0,01	0,10	<0,005

Legierung	Mg	Mn	Zn	Zr	Cr	Ti	Sc
D	5,3	0,61	0,62	0,10	0,11	0,11	<0,005
E	5,3	0,57	0,61	<0,01	0,10	0,10	<0,005
F	5,3	0,60	0,60	<0,01	0,10	<0,01	<0,005
G	5,2	0,91	0,60	0,10	0,10	0,11	0,15

Alle Legierungen enthielten 0,06 Gew.% Fe und 0,04 Gew.% Si, Rest Aluminium und Verunreinigungen.

5 **Tabelle 3-2: Mechanische Eigenschaften**

Legierung	Rp(TYS) MPa	Rm(UTS) MPa	Bruchdehnung A	
			%	
A	175	318	25	
B	220	344	22	
C	195	335	21	
D	275	373	16	
E	249	362	20	
F	200	323	22	
G	390	461	9	

Alle Proben wurden in L-Richtung entnommen

Die mechanischen Eigenschaften wurden gemäß ASTM EM8 ermittelt.

Rp, TYS ((tensile) yield strength) steht für die Dehngrenze; Rm, UTS (ultimate tensile strength) steht für die Zugfestigkeit; A steht für die Bruchdehnung

Tabelle 3-2 zeigt die verfügbaren mechanischen Eigenschaften der Legierungen A bis G. Die Legierungen A bis G dienen in diesem Beispiel als Referenzlegierungen. Tabelle 3-2 zeigt, dass die Dehngrenze der Legierung F mit 0,10 Gew.-% Cr-Zugabe ungefähr 14% besser ist als bei der Legierung A, welche eine

Zr-Zugabe von 0,10 Gew.% aufweist. Dies könnte als Widerspruch zu Beispiel 2 erscheinen, welches zeigte, dass die Legierung A eine höhere Dehngrenze als die Legierung F aufwies. Es wird angenommen, dass der Grund für dieses unterschiedliche Verhalten auf die Vorwärmtemperatur, welche vor dem Warmwalzen verwendet wurde, zurückgeführt werden kann, da sich während des Vorwärmens Dispersoide bilden, welche die mechanischen Eigenschaften des Endprodukts beeinflussen können.

Wird eine hohe Vorwärmtemperatur verwendet, wie in Beispiel 2, zeigt die Legierungen mit lediglich 0,1 Gew.% Zr (Legierung A) eine leicht bessere Leistung als die Legierung mit lediglich 0,1 Gew.% Cr (Legierung F). Wird jedoch eine niedrigere Vorwärmtemperatur verwendet, so ist die Cr-enthaltende Legierung wirksamer, was zu einer Verbesserung im Vergleich mit einer Legierung, welche lediglich Zr enthält (Legierung A), führt. Die Eigenschaften in Tabelle 3-2 zeigen auch, dass bei einer Kombination von Cr entweder mit Ti (Legierung E), Zr (Legierung B) oder sowohl Zr als auch Ti (Legierung D) eine beträchtliche Festigkeitsverbesserung im Vergleich mit den Legierungen A und F beobachtet wird. Die Zunahme an Festigkeit der Legierungen D und E im Vergleich mit den Legierungen A und F wurde auch in Beispiel 2 beobachtet, obgleich die in Beispiel 3 erzielten Werte viel höher waren. Diese Wirkung lässt sich auf die niedrigere Vorwärmtemperatur, welche vor dem Warmwalzen verwendet wurde, zurückführen.

Das höchste Festigkeitsniveau wurde mit der Legierung G erzielt, welche die vier wichtigsten Dispersoid-bildenden Elemente (Mn, Cr, Ti und Zr) zusammen mit einer Sc-Zugabe enthielt. Es wurde eine Dehngrenze von 390MPa erzielt, was höher ist als bei jeder der sowohl in Beispiel 2 als auch Beispiel 3 genannten Legierungen.

### **Ansprüche**

1. Aluminiumlegierungsprodukt mit hoher Festigkeit, ausgezeichneter Korrosionsfestigkeit und Schweißbarkeit mit der folgenden Zusammensetzung in Gewichtsprozent:

Mg	3,8 bis 4,3
Mn	0,4 bis 1,2
Fe	≤ 0,14
Si	≤ 0,12
Cu	≤ 0,05
Zr	0,05 bis 0,25
Cr	0,05 bis 0,1
Ti	0,05 bis 0,1
Sc	0,1 bis 0,3
Zn	0,35 bis 0,6
Ag	< 0,4
Li	< 0,5

und Verunreinigungen oder Zufallselementen mit jeweils < 0,05, insgesamt < 0,15, wobei der Rest Aluminium ist, und wobei das Aluminium-Legierungsprodukt ein Luft- und Raumfahrt-Produkt ist, ausgewählt aus der Gruppe, bestehend aus einem Längsträger, Druckschott, Rumpfblech und unterer Tragflächenplatte.
- 25 2. Aluminiumlegierungsprodukt nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei Mn im Bereich von 0,6 bis 1,0 und vorzugsweise von 0,65 bis 0,9 Gew.-% liegt.
- 30 3. Aluminiumlegierungsprodukt nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die kombinierte Menge von Cr und Zr im Bereich von 0,08 bis 0,25 liegt.

4. Aluminiumlegierungsprodukt nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Kombination von Zr und Ti im Bereich von 0,08 bis 0,25 liegt.
5. Aluminiumlegierungsprodukt nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die kombinierte Menge von Cr und Ti und Zr im Bereich von 0,11 bis 0,36 liegt.
- 10 6. Aluminiumlegierungsprodukt nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das Produkt an seinem dicksten Querschnittspunkt eine Dicke im Bereich von 15 bis 150 mm aufweist.
- 15 7. Aluminiumlegierungsprodukt nach Anspruch 6, wobei das Produkt ein extrudiertes Produkt ist.
8. Aluminiumlegierungsprodukt nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das Produkt in Form eines Plattenprodukts mit einer Dicke im Bereich von 0,6 bis 80 mm vorliegt.
- 20 9. Aluminiumlegierungsprodukt nach Anspruch 1 mit der folgenden Zusammensetzung in Gew-%:  
Mg 3,8 bis 4,3  
Mn 0,65 bis 1,0  
25 Fe ≤ 0,14  
Si ≤ 0,12  
Zr 0,05 bis 0,25  
Cr 0,05 bis 0,1  
Ti 0,05 bis 0,1  
30 Sc 0,1 bis 0,3  
Zn 0,35 bis 0,6  
und Verunreinigungen oder Zufallselementen mit jeweils < 0,05, insgesamt < 0,15, wobei der Rest Aluminium ist.