

(19)



(11)

**EP 2 450 463 B1**

(12)

**EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT**

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des  
Hinweises auf die Patenterteilung:  
**27.08.2014 Patentblatt 2014/35**

(51) Int Cl.:  
**C22C 21/02 (2006.01) C22C 21/08 (2006.01)**

(21) Anmeldenummer: **11165256.6**

(22) Anmeldetag: **09.05.2011**

(54) **Aluminiumlegierung**

Aluminium alloy

Alliage d'aluminium

(84) Benannte Vertragsstaaten:  
**AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB  
GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO  
PL PT RO RS SE SI SK SM TR**

(30) Priorität: **02.07.2010 AT 11222010**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:  
**09.05.2012 Patentblatt 2012/19**

(73) Patentinhaber: **Vöcklabrucker Metallgießerei  
Dambauer GmbH  
4840 Vöcklabruck (AT)**

(72) Erfinder:  
• **Dambauer, Georg  
47051 Duisburg (DE)**  
• **Schumacher, Peter  
8700 Leoben (AT)**

(74) Vertreter: **Wirnsberger, Gernot  
Mühlgasse 3  
8700 Leoben (AT)**

(56) Entgegenhaltungen:  
**EP-A1- 1 136 581 EP-A1- 1 215 295  
WO-A1-2005/045081 DE-A1-102005 037 738  
US-A1- 2002 106 300**

**EP 2 450 463 B1**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents im Europäischen Patentblatt kann jedermann nach Maßgabe der Ausführungsordnung beim Europäischen Patentamt gegen dieses Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

**Beschreibung**

**[0001]** Viele Komponenten von Kraftfahrzeugen werden aus einem Stahl oder Gusseisen gefertigt. Stähle oder Gusseisen weisen den Vorteil einer sehr hohen Festigkeit auf und sind zudem billige Grundwerkstoffe. Nachteilig bei Stählen oder auch Gusseisen ist allerdings, dass ein Gussprozess in der Regel aufwendig ist, eine Korrosionsbeständigkeit gering sein kann und grundsätzlich im Vergleich mit Aluminiumlegierungen ein höherer Herstellungsaufwand gegeben ist. Daneben weisen Stähle und Gusseisen auch eine höhere Dichte auf, was sich nachteilig auf ein Gewicht einer Fahrzeugkomponente auswirkt und oftmals im Hinblick auf einen vergleichsweise höheren Kraftstoffverbrauch nicht gewünscht ist.

**[0002]** Man ist daher bestrebt, Fahrzeugkomponenten aus Leichtmetalllegierungen, insbesondere Aluminiumlegierungen, herzustellen. Diesbezüglich stehen verschiedene Legierungssysteme zur Verfügung, die jeweils spezifische Vorteile aufweisen, aber auch mit Nachteilen behaftet sind. So sind Legierungen des Legierungssystems Aluminium-Silicium-Magnesium leicht zu gießen, relativ einfach mechanisch zu bearbeiten und in der Regel korrosionsbeständig, weisen allerdings oftmals eine geringe Festigkeit auf. Legierungen des Legierungssystems Aluminium-Kupfer-Titan können eine hohe theoretische Festigkeit erreichen, sind allerdings oftmals nicht korrosionsbeständig und in der Regel auch schlecht zu gießen.

**[0003]** EP 1 215 295 A1 offenbart eine Aluminium-Gusslegierung mit 5 bis 10 % Silicium.

**[0004]** EP 1136 581 offenbart eine Aluminium-Legierung mit 1.5-2.2 Fe.

**[0005]** Im Legierungssystem Aluminium-Silicium-Magnesium werden je nach Bauteil und Bauteilgeometrie häufig Gusslegierungen mit 7 bis 17 Gewichtsprozent und bis zu 0,7 Gewichtsprozent Magnesium oder Knetlegierungen mit weniger als 1 Gewichtsprozent Silicium und weniger als 1 Gewichtsprozent Magnesium eingesetzt. Beispielsweise werden Legierungen mit den Bezeichnungen AlSi7Mg0,6 bzw. AC72 oder AlSi0,5Mg bzw. AC04 zur Herstellung von Fahrzeugkomponenten verwendet. Die Gusslegierung mit der Bezeichnung AlSi7Mg0,6, die im Wesentlichen aus etwa 7 Gewichtsprozent Silicium, etwa 0,6 Gewichtsprozent Magnesium, Rest Aluminium besteht, weist eine hohe Festigkeit auf, allerdings ist eine Bruchdehnung für einige Anwendungen zu gering. Darüber hinaus weist diese Legierung eine lediglich geringe Warmfestigkeit auf. Die Knetlegierung mit der Bezeichnung AlSi0,5Mg, die gelegentlich auch als Gusslegierung eingesetzt wird und im Wesentlichen aus etwa 0,5 Gewichtsprozent Silicium, etwa 0,5 Gewichtsprozent Magnesium, Rest Aluminium besteht, weist hingegen eine hohe Bruchdehnung auf, allerdings auf Kosten einer Festigkeit, die lediglich gering und daher für viele Zwecke nicht zufriedenstellend ist.

**[0006]** Hier setzt die Erfindung an. Aufgabe der Erfindung ist es, eine Aluminiumlegierung anzugeben, die eine hohe Festigkeit bei gleichzeitig hoher Bruchdehnung und guter Warmfestigkeit aufweist, ohne dass eine Korrosionsbeständigkeit unzureichend ist.

**[0007]** Diese Aufgabe wird gelöst durch eine Aluminiumlegierung, enthaltend (in Gewichtsprozent)

0,3 bis zu 1,5 % Cobalt

1,0 bis zu 2,5 % Nickel

mehr als 0 bis zu 1,5 % Magnesium

mehr als 0 bis zu 1,5 % Silicium

optional mehr als 0 bis zu 1,0 % Silber

optional mehr als 0 bis zu 0,20 % Titan und/oder Bor

optional mehr als 0 bis zu 0,003 % Beryllium

Rest Aluminium und herstellungsbedingte Verunreinigungen, wobei ein Eisengehalt maximal bis zu 0,5 % beträgt.

**[0008]** Die mit einer erfindungsgemäßen Aluminiumlegierung erzielten Vorteile sind insbesondere darin zu sehen, dass die Legierung eine hohe Festigkeit bei gleichzeitig hoher Bruchdehnung aufweist, eine hohe Warmfestigkeit der Legierung gegeben ist und darüber hinaus die Legierung äußerst korrosionsbeständig ist.

**[0009]** In der erfindungsgemäßen Legierung löst Cobalt Eisen, das im Aluminium vorhanden ist, in gebildeten intermetallischen Cobalt-Aluminium-Phasen. Dies führt zu einer guten Duktilität der Aluminiumlegierung, weil keine oder lediglich geringe Anteile von nadelförmigen Aluminium-Eisen-Phasen vorhanden sind. Darüber hinaus trägt Cobalt zur Festigkeitssteigerung bei. Cobalt ist zwingend vorgesehen, und zwar in Gehalten von 0,3 bis zu 1,5 %. Bevorzugt ist vorgesehen, dass ein Cobaltgehalt 0,30 bis 0,80 %, besonders bevorzugt 0,40 bis 0,60 %, insbesondere 0,45 bis 0,55 %, beträgt.

**[0010]** Die erfindungsgemäße Aluminiumlegierung enthält als zwingenden Bestandteil weiter Nickel, wobei ein Nickelgehalt grundsätzlich 1,0 bis zu 2,5 % beträgt, bevorzugt jedoch in einem Bereich von 1,0 bis 2,0 % liegt. Nickel trägt zur Erhöhung der Festigkeit der Aluminiumlegierung sowohl bei Raumtemperatur als auch Hochtemperatur, das ist bei mehr als 200 °C, durch Bildung einer intermetallischen Aluminium-Nickel-Phase bei. Diesbezüglich kann es günstig sein, dass ein Nickelgehalt 1,2 bis 1,6 %, insbesondere 1,4 bis 1,5 %, beträgt.

**[0011]** Magnesium ist bei einer erfindungsgemäßen Aluminiumlegierung mit einem Gehalt von mehr als 0 bis zu 1,5 % zwingend vorgesehen. Magnesium dient in Verbindung mit dem ebenfalls vorgesehenen Silicium einer Festigkeitssteigerung im wärmebehandelten Zustand, wobei ein Gehalt an Magnesium an einer maximalen Löslichkeit bei einer

Glühtemperatur orientiert ist, die grundsätzlich im Bereich von etwa 570 °C liegt. Günstig ist es, wenn ein Magnesiumgehalt 0,8 bis 1,2 %, insbesondere 1,0 bis 1,1 %, beträgt.

**[0012]** Silicium ist in Gehalten von mehr als 0 bis zu 1,5 % vorgesehen. Wie bereits erwähnt, ist ein Gehalt an Silicium im Zusammenhang mit einem Gehalt an Magnesium zu sehen, damit die gewünschte Festigkeitssteigerung im wärmebehandelten Zustand erreicht wird. Ein Siliciumgehalt ist daher auf einen Magnesiumgehalt abgestimmt, wobei jedoch in Bezug auf Magnesium ein Überschuss an Silicium verwendet wird. In der Regel wird ein Überschuss von Silicium im Ausmaß etwa eines Viertels des Eisengehaltes der Legierung vorgesehen, um durch das überschüssige Silicium das Ausscheidungspotenzial voll ausnutzen zu können bzw. eine Aktivitätsverringern durch das vorhandene Eisen hintanzuhalten, das in der Regel mit einem Gehalt von bis zu 0,2 %, insbesondere 0,1 bis 0,2 % vorliegt, und als Verunreinigung des eingesetzten Aluminiums in die Legierung eingebracht wird. Ein Gehalt von Eisen kann bis zu 0,5 % betragen. Zweckmäßig ist es, wenn die Aluminiumlegierung 0,20 bis 0,80 %, insbesondere 0,55 bis 0,70 %, Silicium enthält, jeweils bezogen auf die vorstehend angegebenen bevorzugten Magnesiumgehalte.

**[0013]** Ein weiterer Bestandteil, der bei einer erfindungsgemäßen Aluminiumlegierung vorgesehen sein kann, ist Silber, und zwar in einem Gehalt von mehr als 0 bis zu 1,0 %. Silber sorgt ähnlich wie Magnesium und Silicium für eine hohe Festigkeit im wärmebehandelten Zustand, ist jedoch nicht so temperaturempfindlich wie  $Mg_2Si$ -Phasen.

**[0014]** Im Vergleich mit Kupfer als Legierungselement erweist sich Silber darüber hinaus als besser in Bezug auf eine Korrosionsbeständigkeit. Günstig ist es, wenn ein Silbergehalt 0,05 bis 0,70 %, insbesondere 0,10 bis 0,55 %, beträgt.

**[0015]** Eine erfindungsgemäße Aluminiumlegierung kann darüber hinaus optional auch Titan und/oder Bor sowie Beryllium aufweisen. Ein Titan- und/oder Borgehalt kann in Summe bis zu 0,20 % betragen, liegt jedoch bevorzugt im Bereich von 0,001 bis 0,15 %, besonders bevorzugt im Bereich von 0,001 bis weniger als 0,02 %. Titan und Bor wirken als Kornfeinungselemente und können bei der Herstellung der Aluminiumlegierung beispielsweise durch eine Vorlegierung des Typs AlTi5B1 zugesetzt werden, welche Vorlegierung 5 Gewichtsprozent Titan, 1 Gewichtsprozent Bor, Rest Aluminium aufweist. Beryllium dient dazu, ein Abdampfen von Magnesium während der Herstellung einer Aluminiumlegierung möglichst hintanzuhalten. Ein Berylliumgehalt kann bis zu 0,003 % betragen.

**[0016]** Die erfindungsgemäße Legierung ist mit Vorteil im Wesentlichen kupferfrei und weist einen Kupfergehalt von weniger als 0,005 % auf, da Kupfer zu nachteiligen, niedrig schmelzenden Phasen führen kann.

**[0017]** Weitere Merkmale, Vorteile und Wirkungen der Erfindung ergeben sich aus den nachfolgend dargestellten Ausführungsbeispielen. In den Zeichnungen zeigen:

- Fig. 1 Zugfestigkeiten bzw.  $R_m$ -Werte von Legierungen;
- Fig. 2 Dehngrenzen bzw.  $R_{p0,2}$ -Werte von Legierungen;
- Fig. 3 Härtewerte von Legierungen;
- Fig. 4 Bruchdehnungen bzw.  $A_5$ -Werte von Legierungen;
- Fig. 5 eine vergleichende Darstellung mechanischer Eigenschaftswerte verschiedener Legierungen;
- Fig. 6 ein Schlibbild einer Aluminiumlegierung, die weder Cobalt noch Nickel enthält;
- Fig. 7 ein Schlibbild einer Aluminiumlegierung, die Cobalt und Nickel enthält;
- Fig. 8 mechanische Eigenschaften untersuchter Legierungen, die nicht oder bei unterschiedlichen Temperaturen gegläht wurden;
- Fig. 9 Korrosionskurven für eine untersuchte Legierung sowie eine Referenzlegierung;
- Fig. 10 einen metallografischen Schlib einer erfindungsgemäßen Aluminiumlegierung;
- Fig. 11 Zugfestigkeiten bzw.  $R_m$ -Werte von Legierungen bei erhöhten Temperaturen;
- Fig. 12 Dehngrenzen bzw.  $R_{p0,2}$ -Werte von Legierungen bei erhöhten Temperaturen;
- Fig. 13 Bruchdehnungen bzw.  $A_5$ -Werte von Legierungen bei erhöhten Temperaturen.

**[0018]** Für vergleichende Untersuchungen wurde von den Referenzlegierungen AlSi7Mg0,6 bzw. AC72 und AlSi0,5Mg bzw. AC04 ausgegangen, die eine hohe Festigkeit bzw. eine hohe Bruchdehnung aufweisen. Als Zielkriterien wurden keine oder nur geringe Anteile von unterhalb der eutektischen schmelzenden Temperatur schmelzenden Phasen, hohe eutektische Temperaturen und ein Ausnützen einer vollen  $Mg_2Si$ -Ausscheidungshärtung vorgegeben.

**[0019]** Ausgangspunkt für die vergleichenden Untersuchungen war der binäre Al- $Mg_2Si$ -Schnitt im ternären Phasensystem Aluminium-Silicium-Magnesium, da in diesem Bereich die eutektische Temperatur ein Maximum aufweist. Dabei wurden im untereutektischen Bereich vier Versuchslegierungen definiert. Darüber hinaus wurden Versuchslegierungen definiert, die zusätzlich Cobalt oder sowohl Cobalt als auch Nickel enthielten. Die chemischen Zusammensetzungen der Versuchslegierungen sind in der nachfolgenden Tabelle 1 wiedergegeben. Soweit eine T6-Wärmebehandlung durchgeführt wurde, erfolgte diese durch zweistündiges Aufheizen auf Glühtemperatur (540 °C für AlSi7Mg0,6 bzw. 570 °C für AlSi0,5Mg oder 565 °C bis 570 °C für die Versuchslegierungen), anschließendes Abschrecken im Wasserbad auf eine Temperatur von ca. 25 °C, anschließend eine Stunde Aufheizen auf eine Warmauslagerungstemperatur von 190 °C und schließlich drei Stunden Halten bei Warmauslagerungstemperatur sowie nachfolgende Luftabkühlung der Versuchslegierungen auf Raumtemperatur, also etwa 25 °C. Durch die relativ kurze Auslagerungszeit wurden die Versuchs-

legierungen nicht bis zur maximalen Härte ausgelagert, sondern auf Härtewerte, die etwa 10 bis 15 % unter den maximal erreichbaren Werten lagen.

Tabelle 1 - chemische Zusammensetzungen von Versuchslegierungen

Versuch	Zusammensetzung (in Gewichtsprozent)					T6-Wärmebehandlung
	Mg	Si	Co	Ni	Al	
A1	1,1	0,65	0	0	Rest	nein
A2	1,1	0,65	0	0	Rest	ja
A3	1,1	0,65	0,45	0	Rest	nein
A4	1,1	0,65	0,45	0	Rest	ja
A5	1,1	0,65	0,45	1,45	Rest	nein
A6	1,1	0,65	0,45	1,45	Rest	ja
B1	3,7	2,1	0	0	Rest	nein
B2	3,7	2,1	0	0	Rest	ja
B3	3,7	2,1	0,45	0	Rest	nein
B4	3,7	2,1	0,45	0	Rest	ja
B5	3,7	2,1	0,45	1,45	Rest	nein
B6	3,7	2,1	0,45	1,45	Rest	ja
C1	6,2	3,6	0	0	Rest	nein
C2	6,2	3,6	0	0	Rest	ja
C3	6,2	3,6	0,45	0	Rest	nein
C4	6,2	3,6	0,45	0	Rest	ja
C5	6,2	3,6	0,45	1,45	Rest	nein
C6	6,2	3,6	0,45	1,45	Rest	ja
D1	8,8	5,1	0	0	Rest	nein
D2	8,8	5,1	0	0	Rest	ja
D3	8,8	5,1	0,45	0	Rest	nein
D4	8,8	5,1	0,45	0	Rest	ja
D5	8,8	5,1	10,45	1,45	Rest	nein
D6	8,8	5,1	0,45	1,45	Rest	ja

**[0020]** In Fig. 1 bis 4 sind mechanische Eigenschaftswerte von Legierungen, gegebenenfalls nach erfolgter T6-Wärmebehandlung wie vorstehend beschrieben, für die in Tabelle 1 angegebenen Legierungen dargestellt, wobei Fig. 1 die Zugfestigkeiten  $R_m$  zeigt, Fig. 2 die Dehngrenzen  $R_{p0,2}$ , Fig. 3 die Brinell-Härten und Fig. 4 schließlich die Bruchdehnungen  $A_5$ . Die Linien 1 bis 6 in Fig. 1 bis 4 verbinden jeweils jene Werte, die für die Versuche A1, B1, C1, D1 bis A6, B6, C6, D6 erhalten wurden, also die zahlenmäßig gleich gekennzeichneten Legierungen.

**[0021]** Wie sich aus einer Zusammenschau von Fig. 1 bis 4 ergibt, weisen die Legierungen gemäß den Versuchen A5 und A6 im Vergleich das ausgewogenste und somit gewünschte Eigenschaftsprofil auf. Im Vergleich mit den gewählten Referenzlegierungen weist eine Legierung gemäß Versuch A6 ebenfalls ein ausgewogeneres Eigenschaftsprofil auf, was in Fig. 5 ersichtlich ist.

**[0022]** Um eine Legierung gemäß Versuch A5 bzw. A6 weiter zu verbessern, wurde in weiteren Versuchen Silber in Gehalten von 0,25 % bzw. 0,50 % zugesetzt, wobei eine weitere Steigerung der Festigkeit bei annähernd gleichbleibender Bruchdehnung bewirkt werden konnte. Eine Festigkeitssteigerung betrug im Vergleich mit dem unter anderem in Fig. 5 für die Legierung gemäß Versuch A6 dargestellten Wert nochmals etwa 20 %.

**[0023]** In Fig. 6 ist ein Schliffbild einer Legierung gemäß Versuch A2 dargestellt. Wie ersichtlich ist, erkennt man eine reine Mischkristall-Struktur und vereinzelt eisenreiche Nadeln. In Fig. 7 ist ein Schliffbild einer Legierung gemäß Versuch

A6 dargestellt. Es ist im Vergleich mit Fig. 6 erkennbar, dass sich durch Zugabe von Cobalt und Nickel das Gefüge verändert. Cobalt- und/oder nickelreiche Phasen bilden sich an den Korngrenzen und geben daher dem Gefüge etwas mehr Stabilität, was auch anhand der bereits diskutierten mechanischen Eigenschaften nachvollziehbar ist. Eisenreiche Ausscheidungen in Form länglicher Nadeln sind im Unterschied zu Fig. 6 nicht mehr vorhanden, da sich Eisen in der cobaltreichen Phase auflöst. Dies konnte durch Rasterelektronenmikroskopie verifiziert werden. Anhand örtlicher chemischer Analysen konnte festgestellt werden, dass punktuell ein Cobaltgehalt wie auch ein Eisengehalt weit über den entsprechenden Gehalten in der Matrix lag. Diese Ergebnisse bestätigen die Annahme, dass eine Cobalt-Aluminium-Phase ein hohes Lösungsvermögen für Eisen hat. Dadurch sind also nachteilige Eisen-Aluminium-Ausscheidungen mit ungünstiger nadelförmiger Struktur vermieden, wenn Cobalt vorgesehen ist.

**[0024]** Ein großer Vorteil der Legierungen gemäß den Versuchen A5 bzw. A6 liegt darin, dass höhere Glühtemperaturen von bis zu etwa 570 °C anstelle der für Standardlegierungen wie AC72 üblichen Glühtemperaturen von etwa 535 °C angewendet werden können. Durch die höheren Glühtemperaturen können mehr ausscheidungsrelevante Elemente in Mischkristall gelöst werden, was zu einer Erhöhung der erreichbaren maximalen Festigkeit führt. Dies ist in Fig. 8 veranschaulicht.

**[0025]** In Fig. 9 sind Korrosionsmessungen an einer Legierung A6Ag gemäß Versuch A6, die zusätzlich 0,45 % Silber enthielt, im Vergleich mit einer Referenzlegierung AlSi7Mg0,6 bzw. AC72 dargestellt. Zur Durchführung der Messungen wurden Probenkörper in eine Prüflösung (0,6 g/l NaCl, 1:10 verdünnt in Boratpuffer bei einem pH-Wert von rund 6,4) eingebracht und mit einer Spannung beaufschlagt. Als Gegenelektrode wurde eine Platinelektrode verwendet. Wie aus den dargestellten Korrosionskurven in Fig. 9 ersichtlich ist, ist das Korrosionsverhalten vergleichbar, wobei jedoch die Legierung A6Ag im Passivierungsbereich Vorteile aufweist. Das heißt, dass diese Legierung bei einem vorhandenen Oberflächendefekt geringere Korrosionsraten aufweist als eine AlSi7Mg0,6-Referenzlegierung.

**[0026]** Eine erfindungsgemäße Legierung weist, wie in Fig. 10 ersichtlich ist, eine globulitische Struktur auf. Ein derartiges globulitisches Gefüge ist günstig in Bezug auf dynamische Eigenschaften einer Legierung.

**[0027]** In weiteren Versuchen wurden die gießtechnologischen Eigenschaften einer Legierung gemäß Versuch A5 untersucht. Dabei wurde im sogenannten Taturkokillenversuch ein Lunkerverhalten und in einem Fließlängenkokillenversuch ein Fließverhalten bestimmt. Schließlich wurde in einem Warmrissprobenkokillenversuch eine Anfälligkeit der Legierung auf Warmrisse beim Gießen untersucht. Es zeigte sich, dass die Legierung im Taturkokillenversuch einen großen Makrolunker ausbildete, was günstiger ist als eine alternative Ausbildung von Mikrolunkern. Im Fließlängenkokillenversuch zeigte sich, dass die Legierung ein Fließverhalten ähnlich einer AlSi7Mg0,6-Referenzlegierung aufwies, der ein gutes Fließverhalten zugeordnet wird. Lediglich in Bezug auf den Warmrissprobenkokillenversuch zeigte sich, dass die Legierung eine höhere Warmrisszahl aufwies als eine AlSi7Mg0,6-Referenzlegierung, was allerdings in der Praxis durch eine geeignete Wahl des Gießsystems ausgeglichen oder verringert werden kann.

**[0028]** Weiterführende Untersuchungen zeigten, dass eine Wärmekapazität der Legierung gemäß Versuch A5 vergleichbar ist mit einer AlSi7Mg0,6-Referenzlegierung, was günstig ist. Eine thermische Ausdehnung ist vergleichsweise etwas höher. Günstig ist des Weiteren, dass eine Temperaturleitfähigkeit besser ist als bei einer AlSi7Mg0,6-Referenzlegierung, was insbesondere beim Einsatz beispielsweise als Zylinderkopfwerkstoff vorteilhaft sein kann.

**[0029]** Ein Hauptanwendungsgebiet einer Legierung gemäß Versuch A5 bzw. A6 ist insbesondere eine Anwendung für eine Motorkomponente, beispielsweise als Werkstoff für einen Zylinderkopf. In weiteren Versuchen wurde daher die Legierung gemäß Versuch A5 mit einer gängigen Zylinderkopflegerung, nämlich AlSi7Mg0,3Cu, die etwa 7 Gewichtsprozent Silicium, etwa 0,3 Gewichtsprozent Magnesium, etwa 0,5 Gewichtsprozent Kupfer, Rest Aluminium enthält, als Referenzlegierung verglichen. Dabei zeigte sich, dass eine Legierung gemäß Versuch A5, die einer T6-Wärmebehandlung (ausgelagert auf Härtemaximum) bzw. einer T7-Wärmebehandlung (ausgelagert für 500 Stunden bei 225 °C) unterworfen wurde, weniger an Festigkeit bei erhöhter Temperatur einbüßte, was aus Fig. 11 bis 13 für die T7-Wärmebehandlung ersichtlich ist. Eine Legierung A5Ag gemäß Versuch A5, jedoch zusätzlich mit 0,45 % Silber, erbrachte noch bessere Werte in Bezug auf eine Warmfestigkeit.

**[0030]** In Bezug auf dynamische Eigenschaften, insbesondere eine thermomechanische Ermüdung, zeigt eine Legierung gemäß Versuch A6, die zusätzlich 0,45 % Silber enthielt, im Vergleich mit einer herkömmlichen Zylinderkopflegerung des Typs AlSi7Mg0,3Cu bessere Eigenschaften bei höheren Temperaturen und lässt daher auch eine bessere Eignung für Einsatzzwecke erwarten, da die Zeitfestigkeitsgerade einen größeren Anstieg aufweist, was aus Tabelle 2 hervorgeht.

Tabelle 2 - Kenndaten der Wöhlerlinie

Prüftemperatur (°C)	Legierung	Kenndaten Wöhlerlinie		
		Steigung k der Zeitfestigkeitsgeraden	Ecklastspielzahl $N_E$	$\sigma_{Dubw}$ (N/mm <sup>2</sup> )
25	A6Ag	-6,21	6325571	97,90
	AlSi7Mg0,3Cu	-5,29	4872011	105,27

## EP 2 450 463 B1

(fortgesetzt)

Prüf- temperatur (°C)	Legierung	Kenndaten Wöhlerlinie		
		Steigung k der Zeitfestigkeitsgeraden	Ecklastspielzahl N <sub>E</sub>	σ <sub>Dubw</sub> (N/mm <sup>2</sup> )
200	A6Ag	-4,11	6123914	68,64
	AlSi7Mg0,3Cu	-5,39	6503183	78,43

### Patentansprüche

1. Aluminiumlegierung, enthaltend (in Gewichtsprozent)  
0,3 bis zu 1,5 % Cobalt  
1,0 bis zu 2,5 % Nickel  
mehr als 0 bis zu 1,5 % Magnesium  
mehr als 0 bis zu 1,5 % Silicium  
optional mehr als 0 bis zu 1,0 % Silber  
optional mehr als 0 bis zu 0,20 % Titan und/oder Bor  
optional mehr als 0 bis zu 0,003 % Beryllium  
Rest Aluminium und herstellungsbedingte Verunreinigungen, wobei ein Eisengehalt maximal bis zu 0,5 % beträgt.
2. Aluminiumlegierung nach Anspruch 1, enthaltend 0,30 bis 0,80 % Cobalt.
3. Aluminiumlegierung nach Anspruch 1, enthaltend 0,40 bis 0,60 % Cobalt.
4. Aluminiumlegierung nach Anspruch 1, enthaltend 0,45 bis 0,55 % Cobalt.
5. Aluminiumlegierung nach Anspruch 1, enthaltend 1,0 bis 2,0 % Nickel.
6. Aluminiumlegierung nach Anspruch 1, enthaltend 1,2 bis 1,6 % Nickel.
7. Aluminiumlegierung nach Anspruch 1, enthaltend 1,4 bis 1,5 % Nickel.
8. Aluminiumlegierung nach Anspruch 1, enthaltend 0,80 bis 1,20 % Magnesium.
9. Aluminiumlegierung nach Anspruch 1, enthaltend 1,0 bis 1,1 % Magnesium.
10. Aluminiumlegierung nach Anspruch 1, enthaltend 0,20 bis 0,80 % Silicium.
11. Aluminiumlegierung nach Anspruch 1, enthaltend 0,55 bis 0,70 % Silicium.
12. Aluminiumlegierung nach Anspruch 1, enthaltend 0,05 bis 0,70 % Silber.
13. Aluminiumlegierung nach Anspruch 1, enthaltend 0,10 bis 0,55 % Silber.
14. Aluminiumlegierung nach Anspruch 1, enthaltend 0,001 bis 0,15 % Titan und/oder Bor.
15. Aluminiumlegierung nach Anspruch 1, enthaltend 0,001 bis weniger als 0,02 % Titan und/oder Bor.
16. Aluminiumlegierung nach Anspruch 1, die im Wesentlichen frei von Kupfer ausgebildet ist.

### Claims

1. An aluminium alloy containing (as a percentage by weight)  
0.3 to up to 1.5 % cobalt  
1.0 to up to 2.5 % nickel

more than 0 to up to 1.5 % magnesium  
 more than 0 to up to 1.5 % silicon  
 optionally more than 0 to up to 1.0 % silver  
 optionally more than 0 to up to 0.20 % titanium and/or boron  
 optionally more than 0 to up to 0.003 % beryllium  
 remainder aluminium and production-related impurities, wherein an iron content is up to a maximum of 0.5 %.

2. The aluminium alloy according to claim 1, containing 0.30 to 0.80 % cobalt.
3. The aluminium alloy according to claim 1, containing 0.40 to 0.60 % cobalt.
4. The aluminium alloy according to claim 1, containing 0.45 to 0.55 % cobalt.
5. The aluminium alloy according to claim 1, containing 1.0 to 2.0 % nickel.
6. The aluminium alloy according to claim 1, containing 1.2 to 1.6 % nickel.
7. The aluminium alloy according to claim 1, containing 1.4 to 1.5 % nickel.
8. The aluminium alloy according to claim 1, containing 0.80 to 1.20 % magnesium.
9. The aluminium alloy according to claim 1, containing 1.0 to 1.1 % magnesium.
10. The aluminium alloy according to claim 1, containing 0.20 to 0.80 % silicon.
11. The aluminium alloy according to claim 1, containing 0.55 to 0.70 % silicon.
12. The aluminium alloy according to claim 1, containing 0.05 to 0.70 % silver.
13. The aluminium alloy according to claim 1, containing 0.10 to 0.55 % silver.
14. The aluminium alloy according to claim 1, containing 0.001 to 0.15 % titanium and/or boron.
15. The aluminium alloy according to claim 1, containing 0.001 to less than 0.02 % titanium and/or boron.
16. The aluminium alloy according to claim 1, which is substantially free of copper.

## Revendications

1. Alliage d'aluminium, contenant (en pourcentages en poids)  
 de 0,3 à 1,5 % de cobalt,  
 de 1,0 à 2,5 % de nickel,  
 de plus de 0 à 1,5 % de magnésium,  
 de plus de 0 à 1,5 % de silicium,  
 en option, de plus de 0 à 1,0 % d'argent,  
 en option, de plus de 0 à 0,20 % de titane et/ou de bore, en option, de plus de 0 à 0,003 % de béryllium  
 un reste d'aluminium et des impuretés dues à la fabrication, une teneur en fer s'élevant au maximum à jusqu'à 0,5 %.
2. Alliage d'aluminium selon la revendication 1, contenant de 0,30 à 0,80 % de cobalt.
3. Alliage d'aluminium selon la revendication 1, contenant de 0,40 à 0,60 % de cobalt.
4. Alliage d'aluminium selon la revendication 1, contenant de 0,45 à 0,55 % de cobalt.
5. Alliage d'aluminium selon la revendication 1, contenant de 1,0 à 2,0 % de nickel.
6. Alliage d'aluminium selon la revendication 1, contenant de 1,2 à 1,6 % de nickel.

## EP 2 450 463 B1

7. Alliage d'aluminium selon la revendication 1, contenant de 1,4 à 1,5 % de nickel.
8. Alliage d'aluminium selon la revendication 1, contenant de 0,80 à 1,20 % de magnésium.
- 5 9. Alliage d'aluminium selon la revendication 1, contenant de de 1,0 à 1,1 % de magnésium.
10. Alliage d'aluminium selon la revendication 1, contenant de 0,20 à 0,80 % de silicium.
11. Alliage d'aluminium selon la revendication 1, contenant de 0,55 à 0,70 % de silicium.
- 10 12. Alliage d'aluminium selon la revendication 1, contenant de 0,05 à 0,70 % d'argent.
13. Alliage d'aluminium selon la revendication 1, contenant de 0,10 à 0,55 % d'argent.
- 15 14. Alliage d'aluminium selon la revendication 1, contenant de 0,001 à 0,15 % de titane et/ou de bore.
15. Alliage d'aluminium selon la revendication 1, contenant de 0,001 à moins de 0,02 % de titane et/ou de bore.
- 20 16. Alliage d'aluminium selon la revendication 1 qui est conçu en étant sensiblement exempt de cuivre.



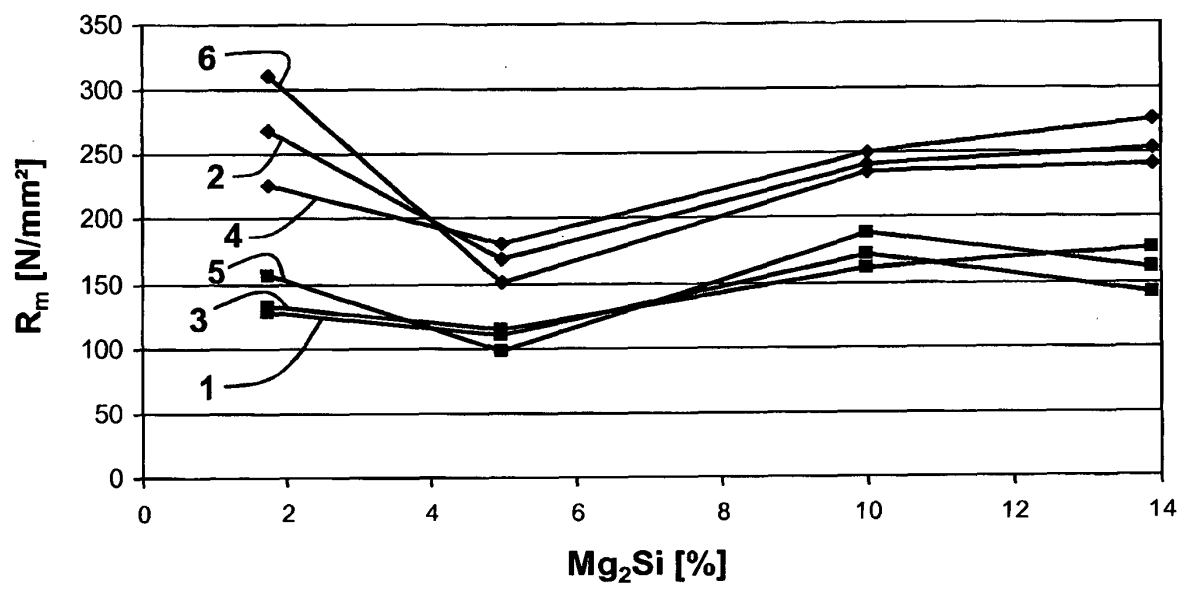


Fig. 1

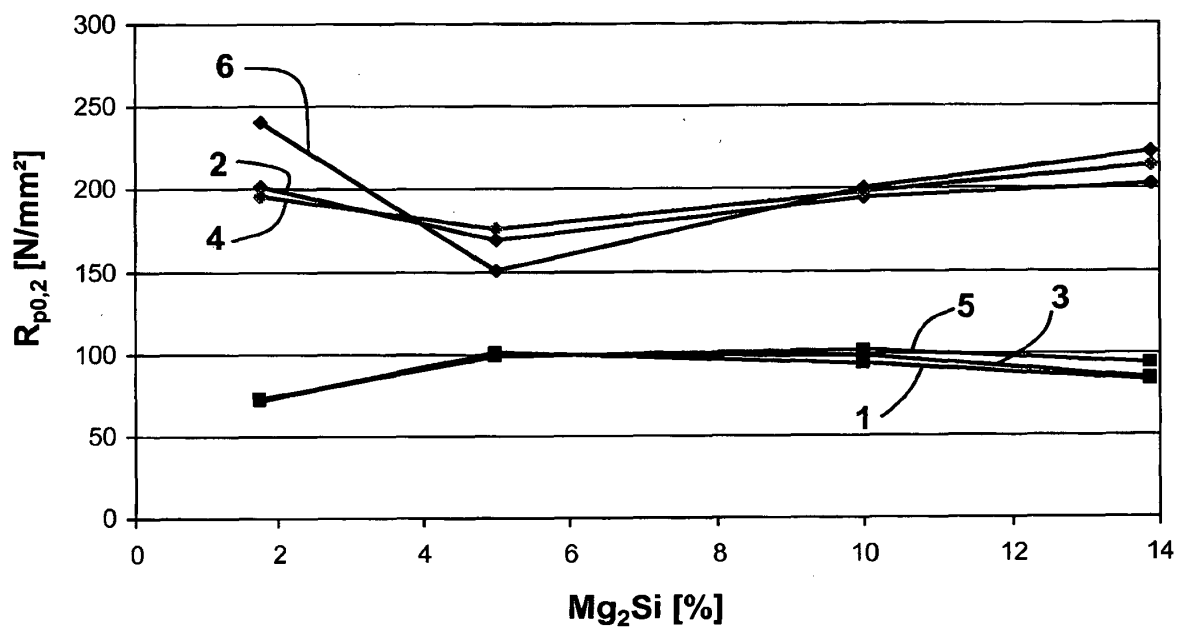


Fig. 2

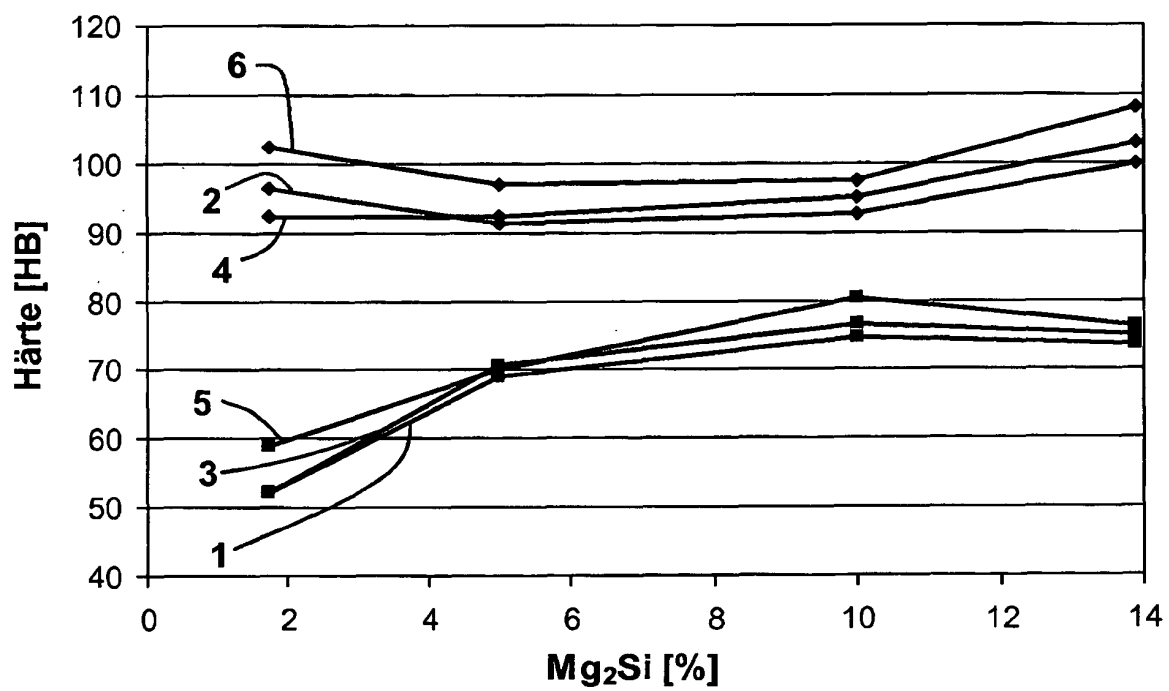


Fig. 3

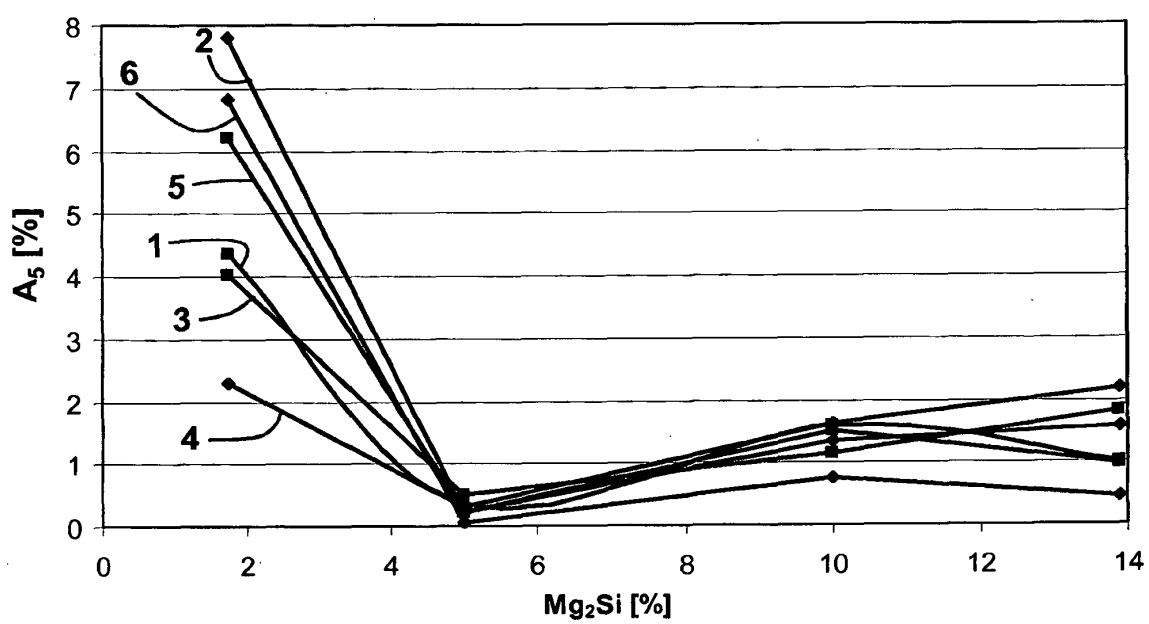


Fig. 4

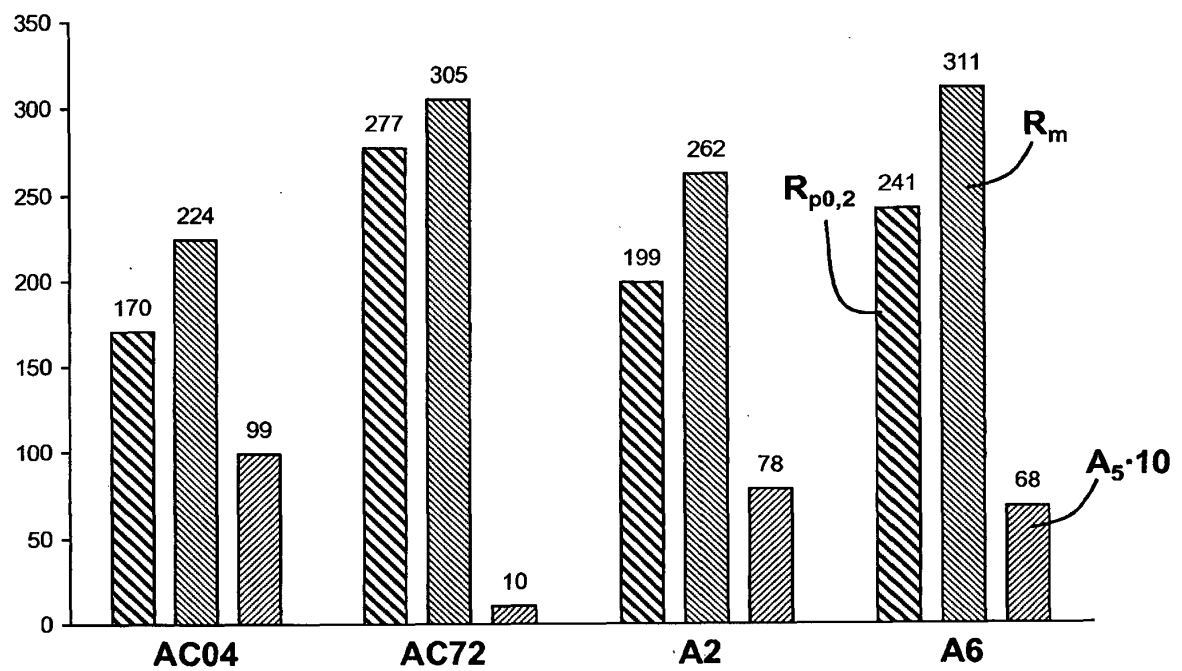
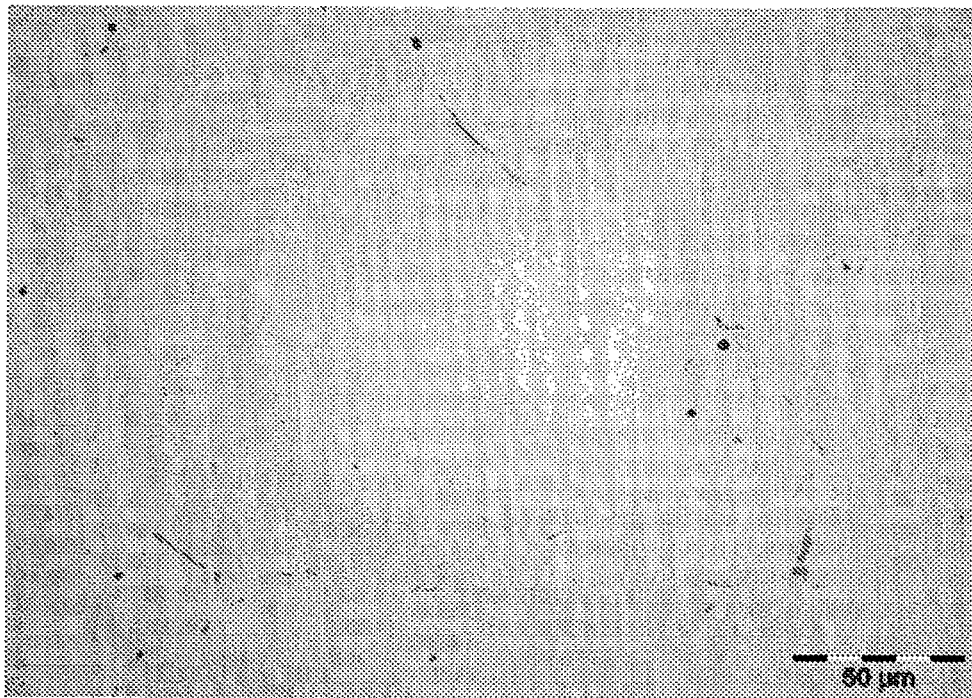
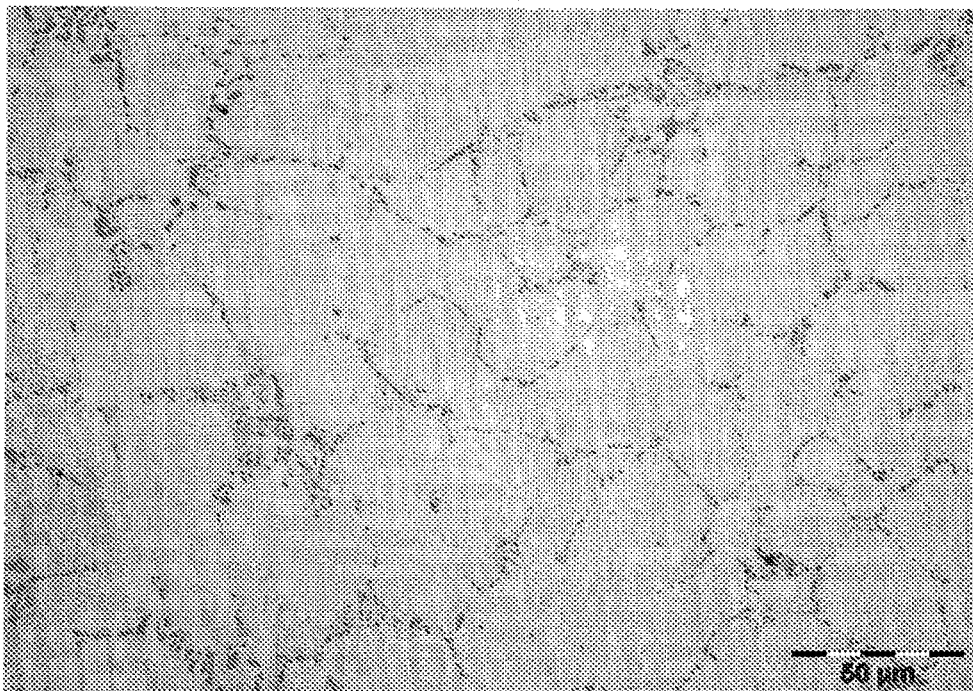


Fig. 5



**Fig. 6**



**Fig. 7**

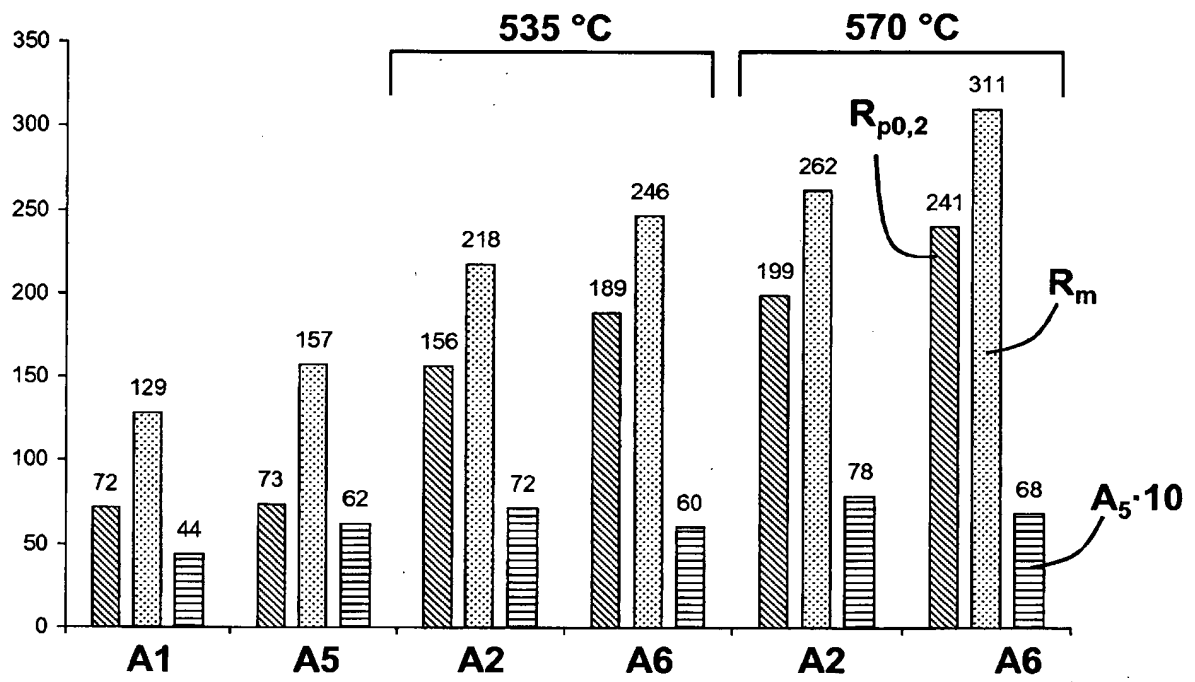


Fig. 8

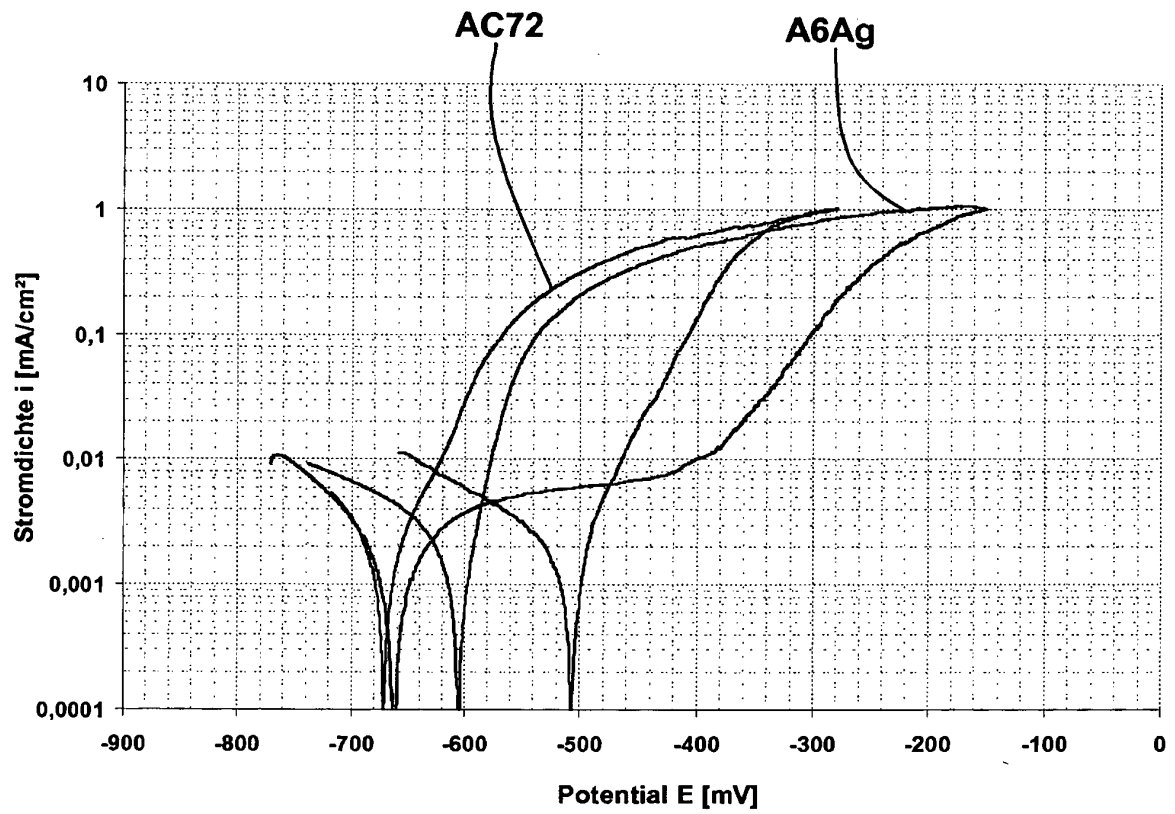
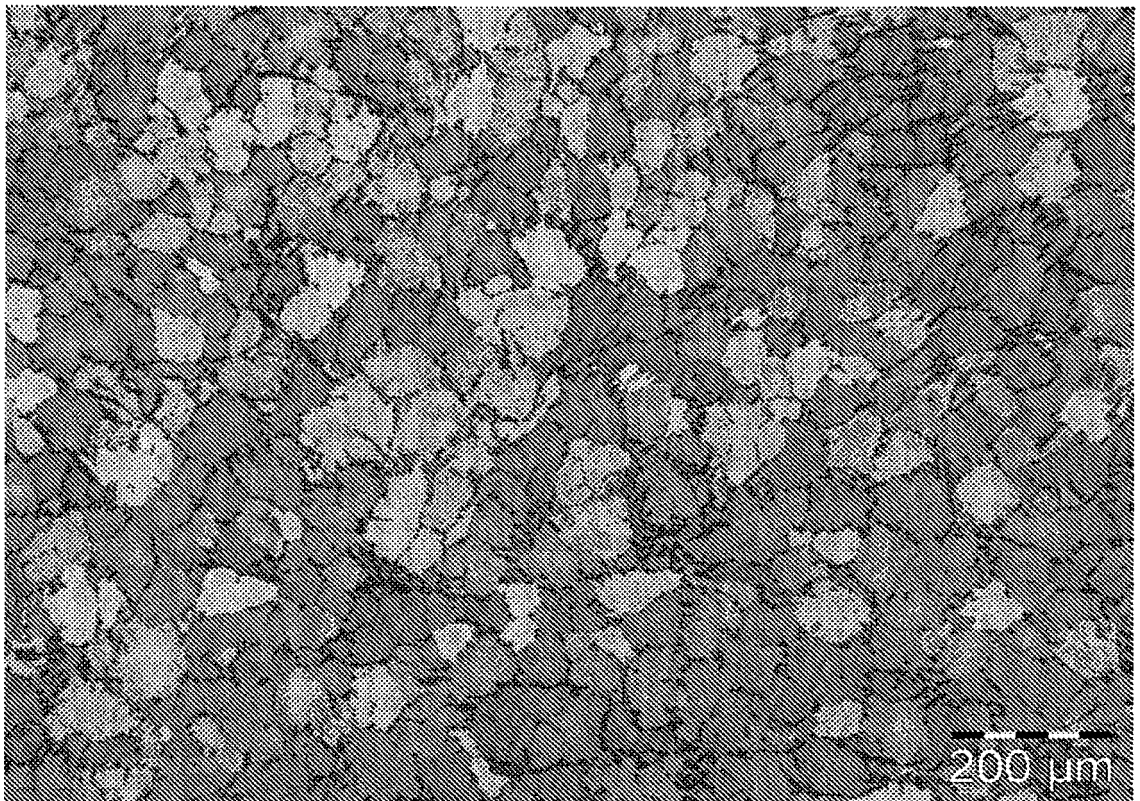


Fig. 9





**Fig. 10**

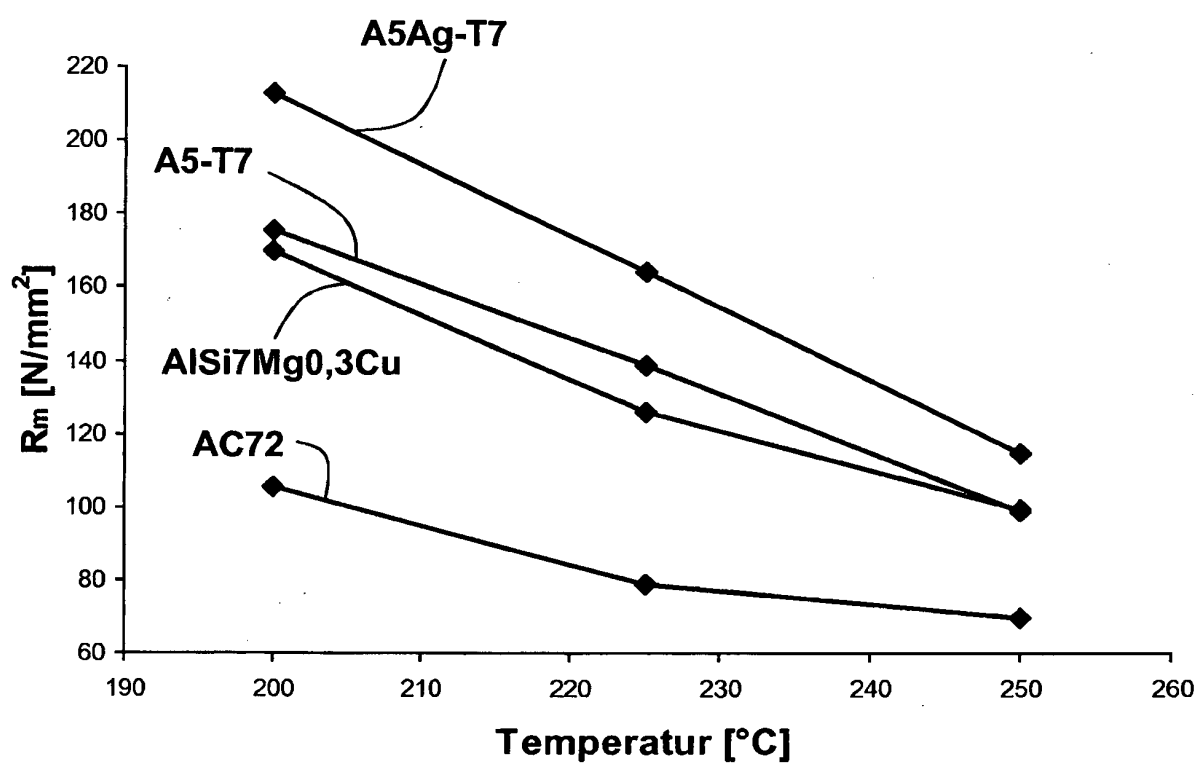


Fig. 11

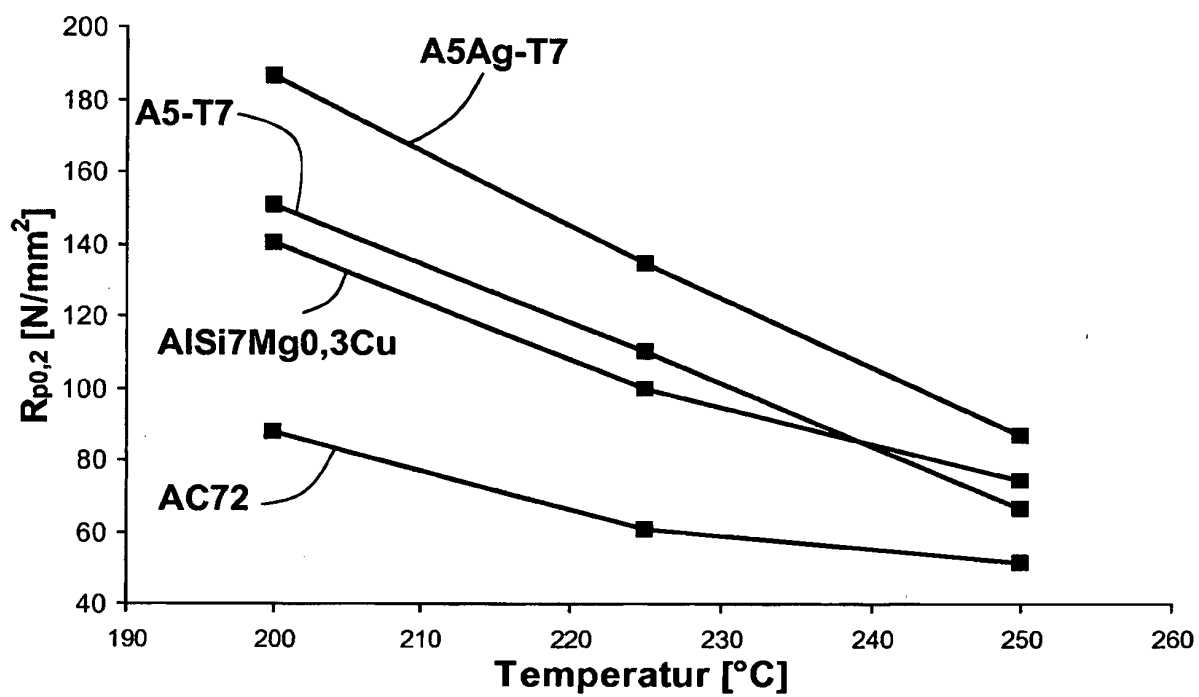


Fig. 12

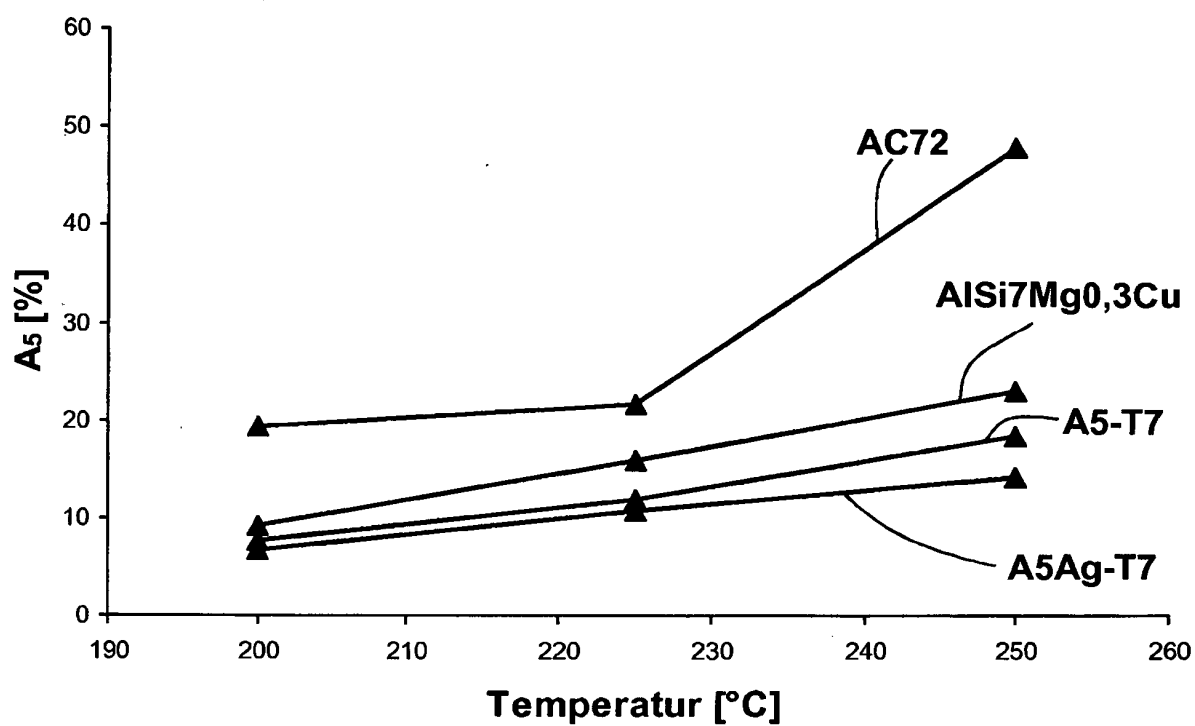


Fig. 13

**IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE**

*Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.*

**In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente**

- EP 1215295 A1 [0003]
- EP 1136581 A [0004]