



(19)  
Bundesrepublik Deutschland  
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 10 2007 023 323 A1** 2008.11.20

(12)

## Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2007 023 323.1**

(22) Anmeldetag: **16.05.2007**

(43) Offenlegungstag: **20.11.2008**

(51) Int Cl.<sup>8</sup>: **C22C 21/06** (2006.01)

(71) Anmelder:

**Technische Universität Clausthal, 38678  
Clausthal-Zellerfeld, DE**

(72) Erfinder:

**Tonn, Babette, Prof. Dr.-Ing., 38678  
Clausthal-Zellerfeld, DE; Zak, Hennadiy, Dr.-Ing.,  
38678 Clausthal-Zellerfeld, DE; Reeb, Carsten,  
Dipl.-Ing., 38678 Clausthal-Zellerfeld, DE**

(74) Vertreter:

**Gramm, Lins & Partner GbR, 30173 Hannover**

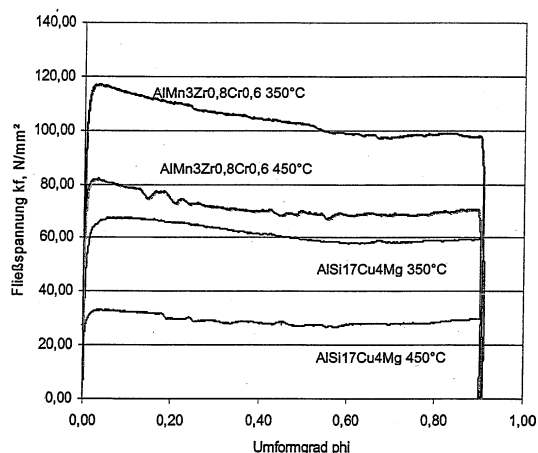
Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

(54) Bezeichnung: **Verwendung einer Al-Mn-Legierung für hochwarmfeste Erzeugnisse**

(57) Zusammenfassung: Für die Herstellung von thermisch hoch belastbaren und warmfesten Erzeugnissen, nämlich für Maschinenelemente, Motor-, Turbinen- und Triebwerkskomponenten, Kolben, Zylinderköpfe, Zylinderkurbelgehäuse, Laufbuchsen, Pleuel, Nockenwellen, Turbinenschaufeln, sowie für Bauteile in der Gießerei- oder Hochtemperatur-Fördertechnik, wird eine Aluminium-Mangan-Legierung mit hoher Warmfestigkeit und hoher thermischer Belastbarkeit im Betrieb vorgeschlagen, die Aluminium als Hauptbestandteil wenigstens 2,1 Gew.-% Mangan, 0 bis 4 Gew.-% Eisen und je 0 bis 4 Gew.-% weitere Legierungsnebenbestandteile enthält.

Fließkurve bei 350°C und 450°C



**Beschreibung**

**[0001]** Die Erfindung betrifft die Verwendung einer Aluminium-Mangan-Legierung mit Aluminium als Hauptbestandteil und wenigstens 2,1 Gew.% Mangan für thermisch hochbelastbare und warmfeste Erzeugnisse, eine spezielle Legierung für diesen Verwendungszweck sowie die Erzeugnisse selbst. Genauer bezieht sich die Erfindung auf warmfeste und verschleißfeste Aluminiumgusslegierungen, wie sie insbesondere für Motor-, Turbinen- und Triebwerkskomponenten benötigt werden, mit Mangan als zweitem Legierungsbestandteil.

**[0002]** Die kontinuierliche Zunahme der Motorleistung in Verbindung mit höheren Leistungsdichten stellt ständig wachsende technische Anforderungen an die Motorkomponenten aus Aluminiumlegierungen wie Zylinderköpfe, Zylinderkurbelgehäuse, Kolben, Laufbuchsen und Pleuel. Dies gilt insbesondere in Bezug auf Festigkeit, thermomechanische Wechselbeständigkeit, Thermoschock- und Kriechbeständigkeit bei Temperaturen bis zu 350°C. Bei Kolbenlegierungen werden in den kommenden Jahren Einsatztemperaturen von bis zu 430°C für Pkw-Dieselmotoren erwartet.

**[0003]** Al-Gusslegierungen sind Stand der Technik im Motorbau, sie finden aufgrund ihres geringen spezifischen Gewichts, der einfachen Formgebung und leichten Verarbeitbarkeit vielseitig Verwendung. Auch komplizierte Motorteile lassen sich mit diesen Legierungen über verschiedene Gießverfahren herstellen.

**[0004]** Eine bewährte Legierungsgruppe zur Herstellung von Motorkomponenten sind Al-Si-Legierungen. Diese Werkstoffe werden typischerweise mit Siliziumgehalten zwischen 6 und 18 Gew.-%, in Einzelfällen auch bis zu 24 Gew.-%, sowie mit Beimengungen von 1 bis 1,5 Gew.-% Magnesium, zwischen 1 und 4 Gew.-% Kupfer und häufig auch zwischen 1 bis 3 Gew.-% Nickel legiert (Katalog „Aluminium-Gusslegierungen“, VAW-IMCO). Der Verbesserung der mechanischen Festigkeit stehen aber in diesem Fall eine Verschlechterung der thermo-mechanischen Wechselbeständigkeit und der Korrosionsbeständigkeit gegenüber. Für die Legierungen auf Al-Cu- und Al-Mg-Si-Basis, die für Zylinderköpfe und Kurbelwellengehäuse eingesetzt werden, gilt das gleiche.

**[0005]** Bei allen oben genannten Al-Gusslegierungen bilden sich zwar über eine Wärmebehandlung festigkeitssteigernde  $Mg_2Si$  und  $Al_2Cu$ -Ausscheidungen, jedoch sind diese oberhalb 150°C nicht stabil und daher den thermo-mechanischen Belastungen moderner Motoren nicht gewachsen. Dagegen bleiben die intermetallischen Phasen, wie  $Al_6Mn$ ,  $Al_3Fe$ ,  $Al_7Cr$ ,  $Al_3Ni$ ,  $Al_8Fe_2Si$ ,  $Al_7Cu_4Ni$ ,  $Al_{15}Mn_3Si_2$ ,  $Al_5FeSi$ ,  $Al_3Ti$  und  $Al_3Zr$  bei thermischer Langzeitbeanspruchung nicht beeinflusst und können bei günstiger Ausbildung (Menge, Größe, Form und Verteilung) einen erheblichen Beitrag zur Steigerung der mechanischen Eigenschaften der Al-Si-Legierungen für Motorbau leisten. Dabei ist es von besonderer Bedeutung, die homogene Verteilung und feine Ausbildung der intermetallischen Phasen im Gussgefüge zu gewährleisten, um die Duktilität der Legierung und ihre gießtechnologischen Eigenschaften nicht zu beeinträchtigen.

**[0006]** Aus der US 2003/0152478 A1 sind Al-Ni-Mn-Legierungen mit 0,5–6 Gew.-% Nickel, 1–3 Gew.-% Mangan, weniger als 1 Gew.-% Eisen, weniger als 1 Gew.-% Silizium, weniger als 0,3 Gew.-% Titan und weniger als 0,06 Gew.-% Bor bekannt, die für die Herstellung von Strukturteilen für Automobile und Luft- und Raumfahrtstechnik entwickelt wurden. Diese Legierungen haben eine geringe Warmrissneigung, weisen bereits im Gusszustand eine sehr hohe Duktilität auf, haben aber den Nachteil einer unzureichenden Festigkeit, Warmfestigkeit und Verschleißfestigkeit und sind somit für die Herstellung von Motorkomponenten, wie z. B. Zylinderkurbelgehäuse, Zylinderköpfe, Kolben, Pleuel und Laufbuchsen, ungeeignet. Außerdem ist der hohe Nickelanteil ein nicht zu vernachlässigender Kostentreiber.

**[0007]** Die Patentschrift DE 1533297 offenbart Aluminiumlegierung mit einer hohen Zugfestigkeit und Härte sowie ein Verfahren zu ihrer Wärmebehandlung. Diese Legierung enthält 0,3–1,2 Gew.-% Zirkonium und 6–25 cm<sup>3</sup> Wasserstoff je 100 g Legierungsgewicht, Rest Aluminium. Zusätzlich kann diese Legierung eins oder mehrere der weiteren Legierungselemente, nämlich 1–3 Gew.-% Mangan, 0,1–1,5 Gew.-% Silizium, 0,3–2 Gew.-% Magnesium, 0,5–3 Gew.-% Nickel und 1–4 Gew.-% Kupfer enthalten. Die Verbesserung der mechanischen Eigenschaften ist nach diesem Patent ausschließlich auf einen hohen Wasserstoffgehalt in Kombination mit Zirkonium zurückzuführen. Gegenstand des Patent DE 1533297 sind ferner zwei Verfahrensvarianten zur Wärmebehandlung einer Knetlegierung und einer Gusslegierung. Für eine Gusslegierung sind in diesem Patent genannten Wasserstoffgehalte aus Qualitätsgründen nicht akzeptabel. Es hat sich in der Gießerei-Praxis als sehr wichtig erwiesen, durch entsprechende Entgasungsmaßnahmen den Wasserstoffgehalt in Aluminiumschmelzen möglichst gering zu halten, um die Bildung von Fehlern wie Lunker und Poren zu vermeiden. Der Richtwert für den Wasserstoffgehalt in den Aluminiumgusslegierungen liegt bei unter 5 cm<sup>3</sup>/100g.

**[0008]** Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine für die Herstellung insbesondere von Motorkomponenten geeignete Legierung bereitzustellen, die eine hohe Warmfestigkeit aufweist und dadurch eine am Schmelzpunkt der Aluminiumlegierung gemessene hohe thermische Belastbarkeit im Betrieb ermöglicht. Die Legierung soll für die Verwendung geeignete mechanische Eigenschaften, wie hohe Festigkeit, Kriechfestigkeit und Verschleißfestigkeit sowie ausreichende Duktilität, bei gleichzeitig geringer Korrosionsanfälligkeit besitzen und preiswert herstellbar sein. Darüber hinaus soll die Legierung gute gießtechnologische Eigenschaften haben, um eine einwandfreie Produktion der anspruchsvollen Bauteile zu gewährleisten.

**[0009]** Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch die gezielte Einstellung von bevorzugten Konzentrationen an ausgewählten Legierungselementen in den Al-Mn-Legierungen gelöst. Durch den Anteil an Mangan werden die hohe Warmfestigkeit gewährleistet und gute Korrosionseigenschaften erreicht. Für den dauerhaften Erhalt dieser Eigenschaften ist wichtig, dass ein bestimmtes Mangan-zu-Eisen-Verhältnis nicht unterschritten wird. Die Erfindung sieht diese Lösung für Al-Mn-Guss- und -knetlegierungen vor.

**[0010]** Grundsätzlich ist zur Lösung der Erfindungsaufgabe die Verwendung einer Aluminium-Mangan-Legierung (vorzugsweise einer Al-Mn-Guss- oder -Knetlegierung) mit Aluminium als Hauptbestandteil, wenigstens 2,1 Gew.-% Mangan und je 0 bis 4 Gew.-% Eisen und weiteren Legierungsnebenbestandteilen für thermisch hochbelastbare und warmfeste Erzeugnisse, nämlich für Maschinenelemente, insbesondere Motor-, Turbinen- und Triebwerkskomponenten, Kolben, Zylinderköpfe, Zylinderkurbelgehäuse, Laufbuchsen, Pleuel, Nockenwellen, Turbinenschaufeln, sowie für Bauteile in der Gießerei- oder Hochtemperatur-Fördertechnik, vorgesehen. Vorzugsweise wird gleichzeitig die Bedingung  $Mn:Fe \geq 2$  erfüllt.

**[0011]** Der Begriff „Warmfestigkeit“ ist definitionsgemäß so zu verstehen, dass ein aus der Legierung hergestelltes Erzeugnis oder Bauteil bei Temperaturen von 0,6–0,8 Solidustemperatur belastbar ist. Zur Überprüfung der Warmfestigkeit wird beispielsweise die Druckfestigkeit, die Zugfestigkeit und/oder die Härte bei erhöhter Temperatur und/oder nach längerer thermischer Belastung bestimmt.

**[0012]** Von „thermisch hochbelastbar“ kann man bei einem Bauteil aus einer Aluminium-Legierung dann sprechen, wenn dieses bei Einsatztemperaturen von bis zu 430°C über längere Zeiträume ohne den Austausch oder komplettes Versagen genutzt werden kann.

**[0013]** Besonders bevorzugt ist die erfindungsgemäße Verwendung für Maschinenelemente, insbesondere Motor-, Turbinen- und Triebwerkskomponenten. Allgemein ist die Legierung für alle Erzeugnisse, Bauteile oder Maschinenelemente geeignet, die im Betrieb hohen Temperaturen ausgesetzt werden.

**[0014]** Die erfindungsgemäß verwendete Legierung enthält demnach 2,1 bis 5 Gew.-% Mangan, gegebenenfalls einzeln von 0 bis 4 Gew.-% der folgenden Legierungsbestandteile: Eisen, Magnesium, Silizium, Chrom, Kobalt, Kupfer, Zink, Nickel, Vanadium, Niob, Molybdän, Wolfram, Beryllium, Blei, Yttrium, Cer, Scandium, Hafnium, Silber, Zirkonium, Titan, Bor, Strontium, Natrium, Calcium, Antimon, Wismut, Kohlenstoff, wobei diese Legierungsnebenbestandteile in Summe vorzugsweise nicht mehr als 10 Gew.-% ausmachen sollen, und als Rest Aluminium und unvermeidbare Verunreinigungen.

**[0015]** Neben Aluminium als Hauptbestandteil und Mangan als der Bedeutung nach zweitem Legierungsbestandteil kann also die Legierung in untergeordneter Menge weitere Legierungsnebenbestandteile und auch unvermeidbare Verunreinigungen enthalten.

**[0016]** Der Aluminiumgehalt wird vorzugsweise nicht unter 80 Gew.-% betragen. Der Mangangehalt beträgt vorzugsweise von 2,1 bis 5 Gew.-% und die Legierungsnebenbestandteile machen vorzugsweise in Summe nicht mehr als 10 Gew.-%, weiter vorzugsweise nicht mehr als 6 Gew.-%, und insbesondere nicht mehr als 4 Gew.-% aus.

**[0017]** Im Einzelnen können die Legierungsnebenbestandteile bevorzugt folgende Elemente umfassen: Eisen, Magnesium, Silizium, Chrom, Kobalt, Kupfer, Zink, Nickel, Vanadium, Niob, Molybdän, Wolfram, Beryllium, Blei, Yttrium, Cer, Scandium, Hafnium, Silber, Zirkonium, Titan, Bor, Strontium, Natrium, Calcium, Antimon, Wismut, Kohlenstoff.

**[0018]** Folgende Gehalte erscheinen besonders geeignet:

Eisen:	0,1 bis 2,0 Gew.-%, insbesondere 0,5 bis 1,5 Gew.-%;
Magnesium:	0,01 bis 1,5 Gew.-%, insbesondere 0,2 bis 1,0 Gew.-%;
Silizium:	0,01 bis 2,0 Gew.-%, insbesondere 0,3 bis 1,6 Gew.-%;
Chrom:	0,001 bis 1,0 Gew.-%, insbesondere 0,1 bis 0,6 Gew.-%;
Kobalt:	0,001 bis 0,5 Gew.-%, insbesondere 0,1 bis 0,4 Gew.-%;
Kupfer:	0,001 bis 2,0 Gew.-%, insbesondere 0,3 bis 1,0 Gew.-%;
Zink:	0,001 bis 2,0 Gew.-%, insbesondere 0,1 bis 1,5 Gew.-%;
Nickel:	0,001 bis 0,5 Gew.-%, insbesondere 0,3 bis 0,5 Gew.-%;
Vanadium:	0,001 bis 0,4 Gew.-%, insbesondere 0,05 bis 0,2 Gew.-%;
Niob:	0,0001 bis 0,6 Gew.-%, insbesondere 0,005 bis 0,4 Gew.-%;
Molybdän:	0,0001 bis 0,6 Gew.-%, insbesondere 0,005 bis 0,4 Gew.-%;
Wolfram:	0,0001 bis 0,6 Gew.-%, insbesondere 0,005 bis 0,4 Gew.-%;
Beryllium:	0,0001 bis 0,2 Gew.-%, insbesondere 0,005 bis 0,3 Gew.-%;
Blei:	0,0001 bis 0,4 Gew.-%, insbesondere 0,005 bis 0,2 Gew.-%;
Yttrium:	0,0001 bis 0,4 Gew.-%, insbesondere 0,05 bis 0,3 Gew.-%;
Cer:	0,0001 bis 0,4 Gew.-%, insbesondere 0,05 bis 0,3 Gew.-%;
Scandium:	0,0001 bis 0,6 Gew.-%, insbesondere 0,05 bis 0,3 Gew.-%;
Hafnium:	0,0001 bis 0,6 Gew.-%, insbesondere 0,05 bis 0,3 Gew.-%;
Silber:	0,0001 bis 1,0 Gew.-%, insbesondere 0,4 bis 1,0 Gew.-%;
Zirkonium:	0,001 bis 1,2 Gew.-%, insbesondere 0,3 bis 0,9 Gew.-%;
Titan:	0,001 bis 0,8 Gew.-%, insbesondere 0,15 bis 0,6 Gew.-%;
Bor:	0,0001 bis 0,08 Gew.-%, insbesondere 0,01 bis 0,06 Gew.-%;
Strontium:	0,0001 bis 0,08 Gew.-%, insbesondere 0,005 bis 0,04 Gew.-%;
Natrium:	0,0001 bis 0,2 Gew.-%, insbesondere 0,002 bis 0,02 Gew.-%;
Calcium:	0,0001 bis 0,006 Gew.-%, insbesondere 0,002 bis 0,004 Gew.-%;
Antimon:	0,001 bis 0,5 Gew.-%, insbesondere 0,1 bis 0,3 Gew.-%;
Wismut:	0,001 bis 1,0 Gew.-%, insbesondere 0,1 bis 0,8 Gew.-%;
Kohlenstoff:	0,0007 bis 0,1 Gew.-%, insbesondere 0,0015 bis 0,006 Gew.-%.

**[0019]** Mit Hilfe der Elemente Silizium, Magnesium, Eisen, Kobalt, Kupfer, Zink, Nickel, Vanadium, Niob, Molybdän, Chrom, Wolfram, Beryllium, Blei, Yttrium, Cer, Scandium, Hafnium, Antimon, Silber, Zirkonium, Titan, Bor, Strontium, Natrium, Calcium, Kohlenstoff ist es möglich, die Eigenschaften der erfindungsgemäßen Legierung auf das jeweilige Herstellungsverfahren und das Verwendungszweck speziell anzupassen. So geben beispielsweise die Zugaben von Übergangselementen dem Gussteil eine hohe Gestaltfestigkeit bei erhöhter Temperatur.

**[0020]** Zur Verbesserung der Ausformbarkeit kann die erfindungsgemäße Legierung die Elemente Eisen, Kobalt, Chrom, Cer einzeln oder in Kombination miteinander enthalten. Die Gehalte an diesen Elementen werden auf die Anforderungen an das Gussstück abgestimmt.

**[0021]** Zur Erzielung einer geringen Warmrissneigung und einer guten Kombination der mechanischen Eigenschaften ist von wesentlicher Bedeutung, dass der Eisengehalt mit dem Mangangehalt so angepasst ist, dass ein Verhältnis von Mn/Fe größer oder gleich zwei ist.

**[0022]** Es hat sich darüber hinaus gezeigt, dass durch eine Zugabe der Elemente Molybdän, Niob, Chrom, Scandium, Hafnium, Vanadium, Yttrium, Cer, Wolfram, Zirkonium, Titan, Antimon, Silber, Zink, Kupfer, Nickel, Magnesium und Silizium die Festigkeitseigenschaften der erfindungsgemäßen Legierung sowohl bei Raumtemperatur als auch bei höheren Temperaturen deutlich verbessert werden können.

**[0023]** Der erfindungsgemäße Legierung kann zusätzlich Blei, Kohlenstoff, Strontium, Natrium, Calcium und Beryllium einzeln oder in Kombination miteinander zugegeben werden. Diese Elemente wirken unterstützend auf die Umwandlung der intermetallischen Phasen in kleine, kugelige Partikel, die homogen im Gefüge verteilt sind und auf diese Weise die mechanischen Eigenschaften weniger beeinträchtigen.

**[0024]** Die Elemente Vanadium und Beryllium reduzieren wesentlich die Oxidationsneigung der erfindungsgemäßen Legierung, die besonders bei maximalen Magnesiumgehalten verstärkt auftritt.

**[0025]** Eine gewisse Menge an Bor und/oder Kohlenstoff in Verbindung mit Titan wird zur Kornfeinung benötigt, wobei die Zugabe von diesen Elementen mit Aluminium-Bor, Aluminium-Titan-Bor- und Aluminium-Titan-Kohlenstoff-Vorlegierungen erfolgt. Eine gute Kornfeinung trägt wesentlich zur Verbesserung der mecha-

nischen Eigenschaften und der Gießbarkeit der erfindungsgemäßen Legierung bei.

**[0026]** Zirkon verbessert sowohl die Festigkeitseigenschaften als auch die gießtechnologische Eigenschaften der erfindungsgemäßen Legierung durch Kornfeinung. Außerdem ist es möglich, durch Zirkoniumzusätze einen Dispersionshärtungseffekt in der erfindungsgemäßen Legierung zu erzielen. Der Mechanismus für die Erhöhung von Warmfestigkeit und Kriechbeständigkeit ist in der Bildung der feinen zirkoniumhaltigen Aluminiden zu sehen, die eine große Stabilität auch bei Temperaturen von über 300°C aufweisen. Von Vorteil ist es auch, dass die Dispersionsaushärtung entweder durch spezielle Wärmebehandlung oder auch ohne Wärmebehandlung durch thermische Belastung bei den Einsatztemperaturen von 300 bis 430°C hervorgerufen werden kann.

**[0027]** Die Erfindung umfasst weiterhin eine spezielle Aluminium-Mangan-Legierung (vorzugsweise eine Aluminium-Mangan-Guss- oder -Knetlegierung), die für den im Rahmen der Erfindung vorgesehenen Verwendungszweck besonders geeignet ist. Diese Aluminium-Mangan-Legierung weist Aluminium als Hauptbestandteil, wenigstens 2,1 Gew.-% Mangan, weniger als 0,5 Gew.-% Nickel und je 0 bis 4 Gew.-% Eisen und weitere Legierungsnebenbestandteile, die in Summe nicht mehr als 10 Gew.-% ausmachen, auf. Besonders bevorzugt ist es, wenn das Mangan-zu-Eisen-Verhältnis die Bedingung  $Mn:Fe \geq 2$  erfüllt. Weiterhin kann die Legierung wie oben anhand der erfindungsgemäßen Verwendung beschrieben näher spezifiziert sein.

**[0028]** Zur Verarbeitung der erfindungsgemäßen Legierung sind grundsätzlich alle Gießverfahren geeignet. Hierzu gehören u. a. Sandguss, Schwerkraft-Kokillenguss, Niederdruck-Kokillenguss, Differenzdruck-Kokillenguss, Thixocasting, Squeeze-Casting, Druckguss und Vakuum-Druckguss. Die größten Vorteile ergeben sich bei Giessverfahren, die mit hohen Abkühlungsgeschwindigkeiten ablaufen, wie beispielsweise beim Druckgießverfahren. Die Herstellung von Kolben, Laufbuchsen und Pleueln aus der erfindungsgemäßen Legierung kann unter anderem durch Schmieden von Halbzeugen erfolgen.

**[0029]** Hierbei bietet sich besonders der Einsatz von Strangpressprodukten oder gegossenen Strängen aus der erfindungsgemäßen Legierung an.

**[0030]** Die Laufbuchsen aus der erfindungsgemäßen Legierung können nach dieser Erfindung auch mit dem Strangpressverfahren hergestellt werden.

**[0031]** Um eine ausreichende Schmelzequalität zu gewährleisten, kann die Schmelze durch Spülgas, Spülgastabletten oder auch durch Vakuum entgast werden.

**[0032]** Obwohl im Gusszustand schon gute mechanische Werte vorhanden sind, können aus der erfindungsgemäßen Legierung hergestellte Gussteile allen bekannten Wärmebehandlungen unterzogen werden. Bevorzugt ist eine Wärmebehandlung, die folgende Schritte umfasst:

- 1) ein Glühen bei einer Temperatur zwischen 300 und 350°C für eine halbe Stunde bis zu fünf Stunden,
- 2) ein Glühen bei einer Temperatur zwischen 350 und 500°C für eine halbe Stunde bis zu fünf Stunden,
- 3) ein Abkühlen an Luft.

**[0033]** Zur Einstellung der maximalen Festigkeitseigenschaften bei erfindungsgemäßen Legierungen mit Zirkoniumgehalten bis 0,3 Gew.-% bietet sich folgende Wärmebehandlung an:

1. Schritt: Glühen bei 300–350°C für 0,5–5 h,
2. Schritt: Glühen bei 450–500°C für 0,5–5 h,
3. Schritt: Abkühlen an der Luft

**[0034]** Bei Zirkoniumgehalten von 0,3 bis 1,2 Gew.-% zeigte sich als besonders vorteilhaft folgende Wärmebehandlung:

1. Schritt: Glühen bei 300–350°C für 0,5–5 h,
2. Schritt: Glühen bei 350–450°C für 0,5–5 h,
3. Schritt: Abkühlen an der Luft

**[0035]** Die Erfindung umfasst ferner hochwarmfeste Erzeugnisse aus den Legierungen nach dieser Erfindung. Hierbei handelt es sich vorzugsweise um Maschinenelemente und insbesondere um Motor-, Turbinen- oder Triebwerkselemente.

**[0036]** Allgemein ist die Erfindung für folgenden Erzeugnisse und Bauteile besonders geeignet: Kolben, Zylinderköpfe, Zylinderkurbelgehäuse, Laufbuchsen, Pleuel, Nockenwellen, Turbinenschaufeln, Bauteile in der Gießerei- oder Hochtemperaturförderntechnik.

**[0037]** Unter Bezugnahme auf die Figuren soll die Erfindung anhand von Beispielen noch näher erläutert werden, ohne dass die Erfindung auf die Beispiele beschränkt ist.

**[0038]** Es zeigen:

**[0039]** [Fig. 1](#): Dehngrenze als Funktion der Vorauslagerungstemperatur, ermittelt im Warmzugversuch nach 100 h Vorauslagerung

**[0040]** [Fig. 2](#): Härte in Abhängigkeit von der Vorauslagerungstemperatur, ermittelt bei Raumtemperatur

**[0041]** [Fig. 3](#): Fließkurven in Abhängigkeit von der Vorauslagerungstemperatur, ermittelt im Zylinderstauchversuch. Prüfung bei Vorauslagerungstemperatur.

#### Beispiel 1. Zugversuche bei erhöhten Temperaturen

**[0042]** Als Referenzlegierungen dienten folgende Werkstoffe:

Legierung AlSi17Cu4Mg.

Einsatzgebiet: Zylinderkurbelgehäusen, Kolben.

Legierung AlCu5Ni1,5CoSbZr.

Einsatzgebiet: hochbeanspruchte Zylinderköpfe.

**[0043]** Die chemische Zusammensetzung der Referenzlegierungen ist der Tabelle 1 zu entnehmen.

Tabelle 1. Chemische Zusammensetzung der Referenzlegierungen und der erfindungsgemäßen Legierung

	Si	Mn	Zr	Cr	Cu	Fe	Mg	Sb	Ni	Co
Erfg. Legierung	0,1	3,2	0,8	0,6	-	0,2	-	-	0,2	-
AlSi17Cu4Mg	17,2	-	-	-	4,13	0,4	0,58	-	-	-
AlCu5Ni1,5CoSbZr	0,1	0,25	0,22	-	4,8	0,1	0,01	0,3	1,54	0,2

**[0044]** Geschmolzen wurde in einem widerstandsbeheizten Tiegelofen mit einer Tiegelkapazität von 3 kg. Die Schmelze- und Gießtemperatur wurde auf 100°C über der Liquidustemperatur eingestellt. Für die Untersuchungen der mechanischen Eigenschaften wurden die obigen Legierungen in einer Kokille nach DIN 29531 abgegossen und Probestäbe mit dem Probendurchmesser von 6 mm nach DIN 50125 mechanisch gefertigt. Die Legierung AlSi17Cu4Mg wurde im Zustand T6 und die Legierung AlCu5Ni1,5CoSbZr im Zustand T7 untersucht. Die erfindungsgemäße Legierung AlMn3Zr0,8Cr0,6 wurde bei 400°C 5 Stunden geglüht. Anschließend wurden die Proben dieser Legierung an der Luft abgekühlt und zeigten in diesem Zustand folgende mechanische Eigenschaften:  $R_m$  214 MPa,  $R_{p0,2}$  210 MPa,  $A_5$  0,4%. Die Ergebnisse der Warmzugversuche nach der Vorauslagerung 100 h bei der Testtemperatur sind in [Fig. 1](#) dargestellt.

#### Beispiel 2. Härte in Abhängigkeit von der Vorauslagerungstemperatur

**[0045]** Um den Einfluss thermischer Belastung über einen längeren Zeitraum auf die Eigenschaften der Al-Legierungen zu ermitteln, wurden die abgegossenen Probestäbe für alle drei Legierungen zusätzlich 500 Stunden bei 250°C, 350°C und 400°C vorausgelagert. Die Ergebnisse dieser Versuche gibt [Fig. 2](#) wieder. Man kann erkennen, dass die erfindungsgemäße Legierung AlMn3Zr0,8Cr0,6 den Referenzlegierungen deutlich überlegen ist. Während bei den bekannten Legierungen eine zunehmende Vorauslagerungstemperatur die Härtewerte vermindert, kommt es bei der erfindungsgemäßen Legierung im Temperaturintervall von 250°C bis 350°C sogar zur Steigerung der Härte, was sich mit den Aushärtungseffekten der Al-Matrix durch zirkonhaltige Ausscheidungen erklärt. Somit ist für Al-Mn-Gusslegierungen nach langer thermischer Beanspruchung eine deutlich bessere Verschleißfestigkeit als für Referenzlegierungen zu erwarten.

#### Beispiel 3. Zylinderstauchversuche zur Ermittlung der Fließkurve bei hohen Temperaturen

**[0046]** Neben guten Warmfestigkeitseigenschaften im Zugversuch werden von den Al-Legierungen für den Motorbau auch gute Warmdruckfestigkeitseigenschaften verlangt. Ein wichtiges Kriterium für die Bewertung des Warmverhaltens bei Druckbeanspruchung ist die Fließkurve der Legierung bei entsprechender Temperatur. Die Zylinderstauchversuche zur Ermittlung der Fließkurve wurden mit einem Umformdilatometer durchgeführt. Eine zylindrische Probe (Durchmesser 5 mm, Länge 10 mm), mit einem Thermoelement versehen, wird zwischen zwei ebenen parallelen Werkzeugflächen gestaucht und kann unter Inertgasatmosphäre induktiv be-

heizt werden. Die servohydraulisch betätigten Stempel sind mit zwei LVDTs verbunden und messen die Längenänderung der Probe mit einer Auflösung von  $0,05\text{ }\mu\text{m}$ . Die Fließkurvenermittlung wurde ohne Berücksichtigung von Reibungsverlusten durchgeführt, da lediglich Vergleichswerte bei identischen Bedingungen gefordert sind.

**[0047]** Aus [Fig. 3](#) ist ersichtlich, dass die Fließgrenze der erfindungsgemäßen Legierung im Temperaturbereich  $350\text{--}450^\circ\text{C}$  nach 100 h Vorauslagerung bei Prüftemperatur doppelt so hoch ist wie die der Kolben- und Motorblocklegierung AISi17Cu4Mg.

**ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG**

*Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.*

**Zitierte Patentliteratur**

- US 2003/0152478 A1 [\[0006\]](#)
- DE 1533297 [\[0007, 0007\]](#)

**Zitierte Nicht-Patentliteratur**

- DIN 29531 [\[0044\]](#)
- DIN 50125 [\[0044\]](#)



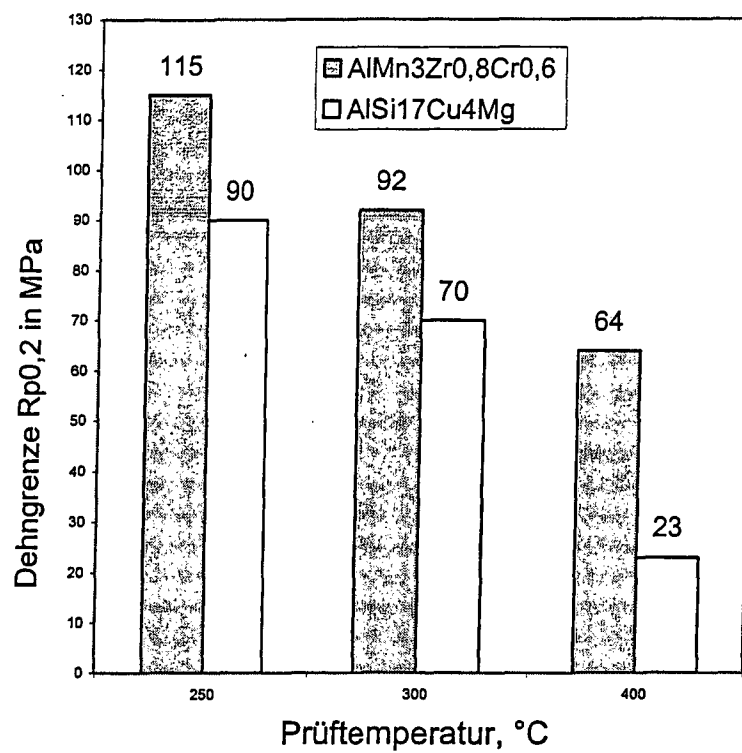
**Patentansprüche**

1. Verwendung einer Aluminium-Mangan-Legierung mit Aluminium als Hauptbestandteil, wenigstens 2,1 Gew.-% Mangan, 0 bis 4 Gew.-% Eisen und je 0 bis 4 Gew.-% weiteren Legierungsnebenbestandteilen für thermisch hochbelastbare und warmfeste Erzeugnisse, nämlich für Maschinenelemente, insbesondere Motor-, Turbinen- und Triebwerkskomponenten, Kolben, Zylinderköpfe, Zylinderkurbelgehäuse, Laufbuchsen, Pleuel, Nockenwellen, Turbinenschaufeln, sowie für Bauteile in der Gießerei- oder Hochtemperatur-Fördertechnik.
2. Verwendung nach Anspruch 1, wobei die Bedingung  $Mn:Fe \geq 2$  erfüllt ist.
3. Aluminium-Mangan-Legierung mit Aluminium als Hauptbestandteil, wenigstens 2,1 Gew.-% Mangan, weniger als 0,5 Gew.-% Nickel, je 0 bis 4 Gew.-% Eisen und weiteren Legierungsnebenbestandteilen, die in Summe nicht mehr als 10 Gew.-% ausmachen und wobei zusätzlich die Bedingung  $Mn:Fe \geq 2$  erfüllt ist, für die Verwendung gemäß Anspruch 1 oder 2.
4. Aluminium-Mangan-Legierung nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass der Mangangehalt von 2,1 bis 5 Gew.-% beträgt.
5. Aluminium-Mangan-Legierung nach Anspruch 3 oder 4, dadurch gekennzeichnet, dass die Legierungsnebenbestandteile in Summe nicht mehr als 6 Gew.-%, vorzugsweise nicht mehr als 4 Gew.-% ausmachen.
6. Aluminium-Mangan-Legierung nach einem der Ansprüche 3 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Legierungsnebenbestandteile folgende Elemente umfassen: Eisen, Magnesium, Silizium, Chrom, Kobalt, Kupfer, Zink, Nickel, Vanadium, Niob, Molybdän, Wolfram, Beryllium, Blei, Yttrium, Cer, Scandium, Hafnium, Silber, Zirkonium, Titan, Bor, Strontium, Natrium, Calcium, Antimon, Wismut, Kohlenstoff.
7. Aluminium-Mangan-Legierung nach einem der Ansprüche 3 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass sie einer Wärmebehandlung unterzogen wurde, die folgende Schritte umfasst:
  - 1) ein Glühen bei einer Temperatur zwischen 300 und 350°C für eine halbe Stunde bis 5 Stunden,
  - 2) ein Glühen bei einer Temperatur zwischen 350 und 500°C für eine halbe Stunde bis 5 Stunden,
  - 3) ein Abkühlen an Luft.
8. Hochwarmfestes Erzeugnis aus einer Legierung gemäß einem der Ansprüche 3 bis 7.
9. Hochwarmfestes Erzeugnis nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass es sich um ein Motor-, Turbinen- oder Triebwerkselement handelt.
10. Hochwarmfestes Erzeugnis nach Anspruch 8 oder 9, dadurch gekennzeichnet, dass es sich um eines der folgenden Bauteile handelt: Kolben, Zylinderkopf, Zylinderkurbelgehäuse, Laufbuchse, Pleuel, Nockenwelle, Turbinenschaufel, Bauteil in der Gießerei- oder Hochtemperatur-Fördertechnik.

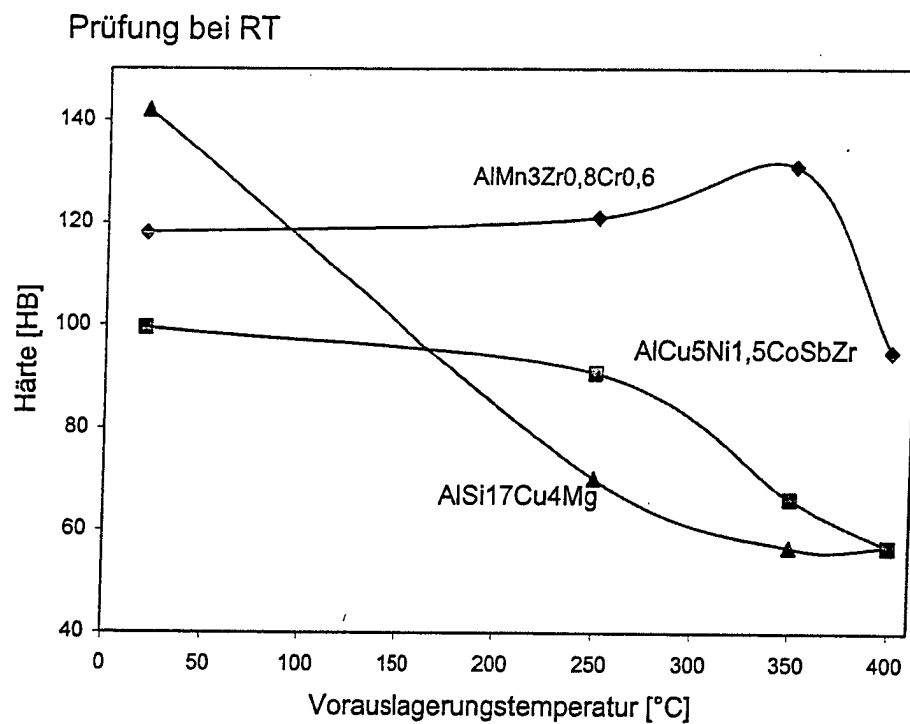
Es folgen 3 Blatt Zeichnungen

## Anhängende Zeichnungen

100 h Vorauslagerung bei Prüftemperatur

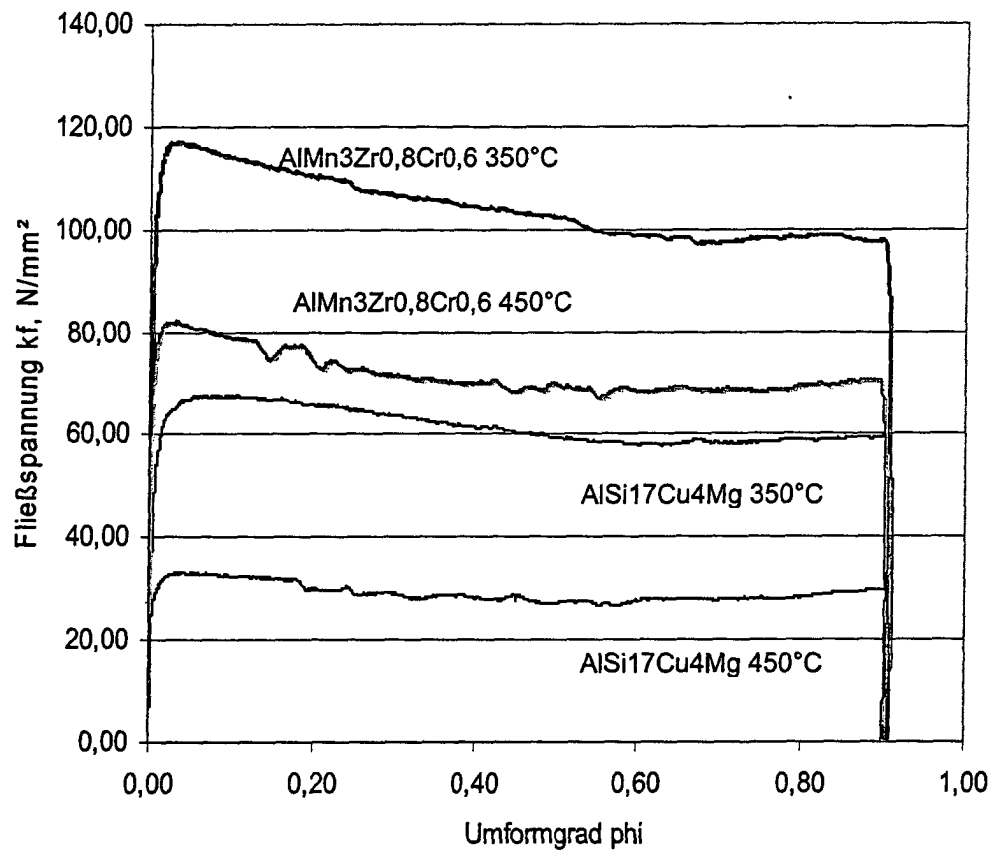


**Fig. 1** Dehngrenze als Funktion der Vorauslagerungstemperatur, ermittelt im Warmzugversuch nach 100 h Vorauslagerung



**Fig. 2** Härte in Abhängigkeit von der Vorauslagerungstemperatur, ermittelt bei Raumtemperatur

Fließkurve bei 350°C und 450°C



**Fig. 3** Fließkurven in Abhängigkeit von der Vorauslagerungstemperatur, ermittelt im Zylinderstauchversuch. Prüfung bei Vorauslagerungstemperatur.