

(19)



Europäisches Patentamt  
European Patent Office  
Office européen des brevets



(11)

**EP 1 215 295 B1**

(12)

**EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT**

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:  
**14.06.2006 Patentblatt 2006/24**

(51) Int Cl.:  
**C22C 21/02** <sup>(2006.01)</sup> **F02F 1/00** <sup>(2006.01)</sup>  
**F02F 7/00** <sup>(2006.01)</sup>

(21) Anmeldenummer: **01127698.7**

(22) Anmeldetag: **21.11.2001**

(54) **Aushärtbare Aluminium-Gusslegierung und Bauteil**

Precipitation-hardening aluminium alloy and part thereof

Alliage et pièce en aluminium à durcissement structural

(84) Benannte Vertragsstaaten:  
**DE FR IT SE**

(30) Priorität: **15.12.2000 DE 10062547**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:  
**19.06.2002 Patentblatt 2002/25**

(73) Patentinhaber: **DaimlerChrysler AG  
70567 Stuttgart (DE)**

(72) Erfinder:  
• **Barth, Andreas, Dr.  
70771 Leinfelden (DE)**

• **Douaoui, Mohamed, Dr.  
71394 Kernen i.R. (DE)**

(56) Entgegenhaltungen:  
**EP-A- 0 861 911 CH-A- 168 202**  
**DE-A- 4 215 160 US-A- 4 099 314**

• **PATENT ABSTRACTS OF JAPAN** vol. 015, no. 317 (C-0858), 13. August 1991 (1991-08-13) & JP 03 120334 A (SHOWA ALUM CORP), 22. Mai 1991 (1991-05-22)  
• **PATENT ABSTRACTS OF JAPAN** vol. 1999, no. 08, 30. Juni 1999 (1999-06-30) & JP 11 082151 A (YAMAHA MOTOR CO LTD), 26. März 1999 (1999-03-26)

**EP 1 215 295 B1**

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).

## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung betrifft eine Aluminium Gusslegierung nach Patentanspruch 1 sowie ein Verfahren zu Herstellung eines Bauteils nach Patentanspruch 3.

**[0002]** Aus der DE 44 04 420 A1 ist eine aushärtbare Aluminiumlegierung mit einer Zusammensetzung:

8,0 bis 10,9 Gew.% Silizium,  
0,8 bis 2,0 Gew.% Magnesium,  
4,0 bis 5,9 Gew.% Kupfer  
1,0 bis 3,0 Gew.% Nickel,  
0,2 bis 0,4 Gew.% Mangan

sowie weniger als 0,5 Gew.% Eisen bekannt.

(Gew.% = Gewichtsprozent, Anteil der Einzelemente an der Gesamtmasse der Legierung).

**[0003]** Diese Legierung ist insbesondere für Kolben in Verbrennungsmotoren gedacht. Der relativ hohe Siliziumanteil führt zu einer guten Verschleißbeständigkeit und hoher Festigkeit auch bei hohen Temperaturen. Die übrigen Legierungselemente verhindern die Ausbildung von scharfen Primärsilizium-Kristallen, die unter Wechselbelastung die Ausgangspunkte von Ermüdungsbrüchen bilden. Allerdings weißt derartige Bauteile lediglich begrenzte Bruchdehnungen auf.

**[0004]** Die DE 42 15 160 C2 beschreibt eine Aluminiumlegierung für Druckgussanwendungen, die eine gute Entformbarkeit eines Bauteils aus der Druckgussform gewährleistet. Sie weist neben 99,7% reinem Hüttenaluminium folgende Zusammensetzung auf:

5,0 bis 12,0 Gew.% Silizium,  
0 bis 0,8 Gew.% Magnesium,  
weniger als 0,01 Gew.% Kupfer  
weniger als 0,2 Gew.% Eisen,  
0,1 bis 0,5 Gew.% Kobalt.

**[0005]** Aus der CH-A-168 202 sind Legierungen bekannt mit einer Zusammensetzung in Gew.% von 8 bis 15 % Si, 0,1 bis 0,6 % Mg und bis zu 1 % Ni oder Co.

**[0006]** Im Allgemeinen wird für die Herabsetzung der Haftung zwischen dem Bauteil und der Gießform der Legierung Eisen zugegeben, das jedoch bei höheren Konzentrationen die Sprödigkeit des Bauteils erhöht. Insbesondere das Kobalt zeigt hier die funktionale Eigenschaft, die Klebeeigenschaften des Bauteils an der Gießform zu verringern, ohne die Sprödigkeit zu erhöhen. Somit kann der Eisenanteil stark reduziert werden.

**[0007]** Die bereits angesprochene Sprödigkeit der Legierung, die auf verschiedenen Legierungselemente zurückzuführen ist und als Kompromiss in verschiedenen Anwendungen akzeptabel ist, führt bei bestimmten, hoch belasteten Bauteilen zum Versagen. Dies gilt insbesondere für Motorenbauteile wie Zylinderköpfe oder Zylinderkurbelgehäuse. Hier wirken besonders hohe Temperaturen und Drücke und Wechselbelastungen. Hinzu kommt, dass komplexe Geometrien in hohem Maße

Kerbwirkungen hervorrufen. In diesen Fällen ist eine außerordentlich hohe Duktilität des Werkstoffes erforderlich, um ein Bauteilversagen zu vermeiden. Dies gilt insbesondere bei modernen Hochleistungsmotoren, bei denen die Belastungen in den Zylinderköpfen stetig am steigen sind.

**[0008]** Die Aufgabe der Erfindung besteht demnach darin, eine Legierung bereitzustellen, aus der Bauteile resultieren, die eine hohe Warmfestigkeit, eine hohe Bruchdehnung, eine hohe Duktilität bei einer geringen Korrosionsneigung aufweisen.

**[0009]** Die Aufgabe wird durch eine Legierung nach Patentanspruch 1 und einem Verfahren zur Herstellung eines Bauteils nach Patentanspruch 3 gelöst.

**[0010]** Die erfindungsgemäße Legierung nach Patentanspruch 1 weist einen Siliziumanteil auf, der zwischen 5 % und 10 % liegt. Ein niedrigerer Siliziumanteil würde die Gießbarkeit der Legierung beeinträchtigen. Ein höherer Siliziumanteil führt zu einer Materialversprödung. Besonders bevorzugt liegt der Siliziumanteil zwischen 6,5 % und 7,5 %.

**[0011]** Das Legierungselement Magnesium bildet zusammen mit dem Silizium  $Mg_2Si$ -Kristalle (Magnesiumsilizid), die festigkeitssteigernd wirken. Bei einem Magnesiumanteil unterhalb der erfindungsgemäßen Untergrenze weist das resultierende Bauteil eine zu geringe Festigkeit auf, oberhalb von 0,35 % Magnesium führen die  $Mg_2Si$ -Kristalle zu einer zu hohen Sprödigkeit.

**[0012]** Das Legierungselement Nickel bildet zusammen mit dem Aluminium intermetallische Phasen, wie z. B.  $Al_3Ni$  (Nickelaluminid) die die Warmfestigkeit erhöhen und erst bei Temperaturen über 800° C kongruent schmelzen (im Gegensatz zu  $Al_2Cu$  (Kupferaluminid), das sich bei kupferhaltigen Legierungen bildet und bereits unterhalb von 600° C schmilzt). Zudem wirken sich die Phasen, die Aluminium und Nickel enthalten, nicht negativ auf die Duktilität des Materials aus. Der Nickel-Anteil an der erfindungsgemäßen Legierung liegt zwischen 0,3 % und 3 %, bevorzugt zwischen 0,5 % und 2,5 %.

**[0013]** Es ist möglich, der erfindungsgemäßen Legierung Kobalt als Legierungselement zuzugeben. Kobalt bildet ebenfalls intermetallische Verbindungen auf der Basis von Aluminium und Kobalt, ähnlich wie die Verbindungen auf Basis von Aluminium und Nickel, die die Warmfestigkeit erhöhen. Die erfindungsgemäße Legierung kann Kobalt zwischen 0,6 Gew. % und 3 Gew. % enthalten.

**[0014]** Auf Eisen, durch das die Bruchdehnung reduziert wird, kann in der erfindungsgemäßen Legierung verzichtet werden. Das selbe gilt für das Kupfer als Legierungselement, das die Korrosionsbeständigkeit verschlechtert.

**[0015]** Ein weiterer Gegenstand der Erfindung ist ein Verfahren zur Herstellung eines Bauteils nach Patentanspruch 3. Das Bauteil wird aus einer Legierung gegossen, die bereits im Patentanspruch 1 beschrieben wird und die Vorteile aufweist, die aus dieser Legierung re-

sultieren.

**[0016]** Eine Wärmebehandlung des Bauteils vorzugsweise nach einem Lösungsglühen führt zu einer Ausscheidungshärtung (Warmaushärten) einer Al-Matrix (durch die das Bauteil bildet ist) indem gezielt intermetallischen Phasen wie z. B. das genannte  $Mg_2Si$  oder das  $Al_3Ni$  ausgeschieden werden. Die Ausscheidungshärtung erfolgt in einem Temperaturintervall zwischen  $160^\circ C$  und  $240^\circ C$  für eine Dauer von 0,2 h bis 10 h. Besonders bevorzugt erfolgt die Ausscheidungshärtung in einem Temperaturintervall zwischen  $180^\circ C$  und  $220^\circ C$  für eine Dauer von 0,5 h bis 8 h. Die Dauer der Temperaturbehandlung hängt von der Temperatur ab, bei höheren Temperaturen verkürzt sich die Wärmebehandlung erheblich.

**[0017]** Das Bauteil, das durch die erfindungsgemäße Legierung dargestellt wird, ist bevorzugt als Sandguß- oder Kokillenguß-Bauteil ausgebildet, da so die bereits genannte Wärmebehandlung erleichtert wird. Für ein Bauteil, das im Druckgießverfahren hergestellt wird, ist die Wärmebehandlung auf Grund von Luftschlüssen nicht ohne Weiteres möglich. In diesem Fall müßte ein, verfahrenstechnisch aufwendigeres Vakuumdruckgießverfahren angewandt werden.

**[0018]** Besonders zweckmäßig ist das erfindungsgemäße Bauteil als Zylinderkopf oder als Zylinderkurbelgehäuse in einem Verbrennungsmotor ausgestaltet. In diesen Bauteilen, insbesondere in Zylinderköpfen treten sehr hohe Drücke bei hohen Temperaturen auf. Hinzu kommt, dass diese Bauteile sehr komplexe Geometrien aufweisen wie z. B. an den Ventilstegen im Zylinderkopf oder an den Kühlkanälen im Zylinderkurbelgehäuse. Diese Konstruktionen wirken gerade bei den hohen Temperaturen, Drücken und Wechselbelastung als Kerben und Bruchausgangsstellen. Eine besonders hohe Bruchdehnung in Kombination mit einer erhöhten Warmfestigkeit bietet hier einen erheblichen Vorteil.

**[0019]** Die Ausgestaltung der Erfindung wird im folgenden Ausführungsbeispiel näher erläutert.

**[0020]** Es zeigen:

**Fig. 1,** das schematische Aushärtverhalten eines Bauteils als Funktion der Zeit, bei einer Temperatur  $T_1$ .

**Fig. 2,** das schematische Aushärtverhalten eines Bauteils als Funktion der Zeit, bei einer Temperatur  $T_2$ , wobei  $T_2$  größer als  $T_1$  ist.

**[0021]** Ein Zylinderkopf eines Verbrennungsmotors wird im Kokillengußverfahren mit der erfindungsgemäßen Legierung gegossen. Die Gießparameter entsprechen der üblichen verfahrensbedingten Prozeßführung.

**[0022]** Nach dem Gießen und nach dem Abkühlen weist das Bauteil eine grobe Kornstruktur von Mischkristallen auf, da Aluminium gegenüber den meisten Legierungselementen bei Raumtemperatur eine sehr geringe Löslichkeit aufweist. Aus diesem Grund erfolgt nun ein

Lösungsglühen des Bauteils für ca. 4 -5 h bei einer Temperatur von ca.  $540^\circ C$ . Bei diesem Schritt lösen sich die Legierungselemente in der Aluminiummatrix. Anschließend wird das Bauteil in Wasser abgeschreckt, wobei die Legierungselemente in der Aluminiummatrix gelöst bleiben.

**[0023]** Im Weiteren erfolgt ein Ausscheidungshärten, bei dem die in der Aluminiummatrix gelösten Elemente unter Bildung von Mischkristallen aus der Matrix kontrolliert ausscheiden. Dies erfolgt bei einer Temperatur von  $220^\circ C$  über 0,5 Stunden. Alternativ hierzu kann das Ausscheidungshärten bei  $180^\circ C$  für 8 Stunden erfolgen. Die Phasen, die sich beim Ausscheidungshärten bilden (Ausscheidungen) sind intermetallische Verbindungen, diese beinhalten unter anderem  $Mg_2Si$ , das die Festigkeit des Bauteils steigert und  $Al_3Ni$  (oder andere ternäre und/oder quaternäre intermetallische Verbindungen auf Basis von Aluminium und Nickel) das auf Grund seiner hohen Schmelztemperatur die Warmfestigkeit des Bauteils erhöht.

**[0024]** Die Festigkeit und die Duktilität des Bauteils ist durch die Temperaturführung und der Dauer der Temperaturbehandlung einstellbar, was, wie erwähnt, auf die ausgeschiedenen Kristall (z. B. die intermetallische Verbindungen  $Mg_2Si$  und  $Al_3Ni$ ) zurückzuführen ist.

**[0025]** Ebenso wirkt sich die Größe der  $Mg_2Si$  und  $Al_3Ti$ -Ausscheidungen, die ebenfalls durch die Wärmebehandlung beeinflusst werden auf die Bauteileigenschaften aus, was im Folgenden erläutert wird.

**[0026]** In Fig. 1 und Fig. 2 ist schematisch die Festigkeit  $\sigma$  des Bauteils (linke y-Achse) und die Bruchdehnung  $\epsilon$  (rechte y-Achse, gestrichelt) als Funktion der Dauer der Wärmebehandlung  $t$  dargestellt. Die Figuren 1 und 2 unterscheiden sich in der Temperatur  $T$  der Wärmebehandlungen, wobei  $T$  von Figur 1 kleiner ist als  $T$  von Figur 2. Die durchgezogenen Kurven 1 und 3 zeigen schematisch den Verlauf der Festigkeit  $\sigma$ , die gestrichelten Linien 2 und 4 den Verlauf der Bruchdehnung  $\epsilon$ .

**[0027]** Abhängig von der Temperatur erreicht die Bauteilfestigkeit nach einer bestimmten Dauer der Wärmebehandlung ein Maximum. Dieser Zustand wird im Allgemeinen T6 genannt, das Bauteil weist hier eine sehr feine Struktur der Ausscheidungen auf. Gleichzeitig erreicht die Bruchdehnung im T6 Zustand ein Minimum. Wird die Wärmebehandlung nach Erreichen des T6-Zustandes fortgesetzt, tritt eine sogenannte Überhärtung ein, was als T7-Zustand bezeichnet wird. Der T7-Zustand hat den Vorteil, dass auf Grund der gröberen Struktur der Ausscheidungen, die sich in diesem Zustand einstellt, die Bruchdehnung wieder zunimmt.

**[0028]** Die Bezeichnungen T6 und T7 sind feststehende Fachbegriffe, T steht in diesen Bezeichnungen nicht für Temperatur.

**[0029]** Bei der Wärmebehandlung des erfindungsgemäßen Bauteils ist darauf zu achten, dass sowohl die Festigkeit als auch die Bruchdehnung den Anforderungen an das Bauteil entsprechen. Im Allgemeinen ist aufgabenbezogen der Zustand T7 mit einer möglichst hohen

Bruchdehnung anzustreben.

**[0030]** Ein Vergleich von Figur 1 und Figur 2 zeigt, dass die Maxima und Minima des T6-Zustandes bei einer höheren Temperatur (Figur 2) deutlich stärker ausgeprägt sind und früher erreicht werden als bei niedrigeren Temperaturen (Figur 1). Die Phasenbildung ist bei höheren Temperaturen jedoch schwerer zu kontrollieren. Die beschriebene Wärmebehandlung von 220° C für 1,2 h stellt einen Kompromiss dieser Aspekte dar.

**[0031]** Die Legierungselemente Silizium und Magnesium bewirken eine Festigkeitssteigerung und eine Verschiebung der Kurven 1 und 3 nach oben. Im Gegenzug werden durch diese Elemente die Kurven 2 und 4 nach unten verschoben, was sich negativ auf die Bruchdehnung auswirkt. Überraschenderweise konnte festgestellt werden, dass sowohl Nickel als auch Kobalt als Legierungselemente die Kurven 1 und 3 nach oben verschieben, ohne eine negative Auswirkung auf die Bruchdehnung auszuüben.

**[0032]** Somit führt die Zugabe von Nickel und/oder Kobalt an sich, insbesondere jedoch in Kombination mit einer kontrollierten Wärmebehandlung, durch die sich die gewünschten Ausscheidungen von Verbindungen auf der Basis von Aluminium und Nickel bzw. Aluminium und Kobalt bilden und die vorteilhafte Kornstruktur eingestellt wird, zu der erfindungsgemäßen Lösung der Aufgabe.

#### Patentansprüche

##### 1. Aushärtbare Aluminium-Gusslegierung

**dadurch gekennzeichnet, dass**

die Legierung neben Aluminium als funktionale Elemente

5 bis 7,5 Gew.% Silizium,  
0,2 bis 0,35 Gew.% Magnesium,  
0,3 bis 3 Gew.% Nickel  
und/oder 0,6 bis 3 Gew. % Kobalt,

Rest Al sowie herstellungsbedingte Verunreinigungen enthält.

##### 2. Aushärtbare Aluminium-Gusslegierung nach Anspruch 1

**dadurch gekennzeichnet, dass**

die Legierung neben Aluminium als funktionale Elemente

6,5 bis 7,5 Gew.% Silizium,  
0,2 bis 0,35 Gew.% Magnesium,  
0,5 bis 2,5 Gew.% Nickel,

Rest Al sowie herstellungsbedingte Verunreinigungen enthält.

##### 3. Verfahren zur Herstellung eines Bauteil aus einer Aluminiumlegierung,

**dadurch gekennzeichnet, dass**

• für das Bauteil eine Legierung gewählt wird, die neben Aluminium als funktionale Elemente

5 bis 7,5 Gew.% Silizium,  
0,2 bis 0,35 Gew.% Magnesium,  
0,3 bis 3 Gew.% Nickel

und/oder 0,6 bis 3 Gew. % Kobalt,  
Rest Al sowie herstellungsbedingte Verunreinigungen aufweist und

• dass das Bauteil Phasen enthält, die Aluminium und Nickel und/oder Aluminium und Kobalt aufweisen und in Form von binären und/oder ternären und/oder quaternären intermetallischen Verbindungen vorliegen.

##### 4. Verfahren nach Anspruch 3,

**dadurch gekennzeichnet, dass**

• für das Bauteil eine Legierung gewählt wird, die neben Aluminium als funktionale Elemente

6,5 bis 7,5 Gew.% Silizium,  
0,2 und 0,35 Gew.% Magnesium und  
0,5 und 2,5 Gew.% Nickel

aufweist und

• dass das Bauteil Phasen enthält, die Aluminium und Nickel aufweisen und in Form von binären und/oder ternären und/oder quaternären intermetallischen Verbindungen vorliegen.

##### 5. Verfahren nach Anspruch 3 oder 4,

**dadurch gekennzeichnet, dass**

das Bauteil bei einer Temperatur zwischen 160° C und 240° C 0,2 bis 10 h warmausgehärtet wird.

##### 6. Verfahren nach einem der Ansprüche 3 bis 5,

**dadurch gekennzeichnet, dass**

das Bauteil bei einer Temperatur zwischen 180° C und 220° C 0,5 bis 8 h wärmebehandelt wird.

##### 7. Verfahren nach einem der Ansprüche 3 bis 6,

**dadurch gekennzeichnet, dass**

das Bauteil in einem Sandgieß- oder Kokillengieß- oder Vakuumdruckgießverfahren hergestellt wird.

##### 8. Verfahren nach einem der Ansprüche 3 bis 7,

**dadurch gekennzeichnet, dass**

ein Zylinderkopf oder ein Zylinderkurbelgehäuse eines Verbrennungsmotors gebildet wird.

#### Claims

1. Age-hardenable aluminium casting alloy, **charac-**

- terized in that** the alloy, in addition to aluminium, contains as functional elements 5 to 7.5% by weight silicon, 0.2 to 0.35% by weight magnesium, 0.3 to 3% by weight nickel and/or 0.6 to 3% by weight cobalt, remainder Al and production-related impurities.
2. Age-hardenable aluminium casting alloy according to Claim 1, **characterized in that** the alloy, in addition to aluminium, contains as functional elements 6.5 to 7.5% by weight silicon, 0.2 to 0.35% by weight magnesium, 0.5 to 2.5% by weight nickel, remainder Al and production-related impurities.
3. Process for producing a component from an aluminium alloy, **characterized in that**
- an alloy which, in addition to aluminium, contains as functional elements 5 to 7.5% by weight silicon, 0.2 to 0.35% by weight magnesium, 0.3 to 3% by weight nickel and/or 0.6 to 3% by weight cobalt, remainder Al and production-related impurities, is selected for the component, and
  - **in that** the component contains phases which include aluminium and nickel and/or aluminium and cobalt and are in the form of binary and/or ternary and/or quaternary intermetallic compounds.
4. Process according to Claim 3, **characterized in that**
- an alloy, which in addition to aluminium, contains as functional elements 6.5 to 7.5% by weight silicon, 0.2 to 0.35% by weight magnesium, and 0.5 to 2.5% by weight nickel, is selected for the component, and
  - **in that** the component contains phases which include aluminium and nickel and are in the form of binary and/or ternary and/or quaternary intermetallic compounds.
5. Process according to Claim 3 or 4, **characterized in that** the component is hot-age-hardened for 0.2 to 10 h at a temperature of between 160°C and 240°C.
6. Process according to one of Claims 3 to 5, **characterized in that** the component is heat-treated for 0.5 to 8 h at a temperature of between 180°C and 220°C.
7. Process according to one of Claims 3 to 6, **characterized in that** the component is produced in a sand-casting or gravity die-casting or vacuum die-casting process.
8. Process according to one of Claims 3 to 7, **characterized in that** a cylinder head or a cylinder crankcase of an internal combustion engine is formed.

### Revendications

1. Alliage de fonte d'aluminium durcissable, **caractérisé en ce que** l'alliage contient, outre l'aluminium, en tant qu'éléments fonctionnels de 5 à 7,5% en poids de silicium, de 0,2 à 0,35% en poids de magnésium, de 0,3 à 3% en poids de nickel et/ou de 0,6 à 3% en poids de cobalt, le reste étant Al, ainsi que des impuretés produites lors de la fabrication.
2. Alliage de fonte d'aluminium durcissable selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** l'alliage contient, outre l'aluminium, en tant qu'éléments fonctionnels, de 6,5 à 7,5% en poids de silicium, de 0,2 à 0,35% en poids de magnésium, de 0,5 à 2,5% en poids de nickel, le reste étant Al, ainsi que des impuretés produites lors de la fabrication.
3. Procédé en vue de la fabrication d'une pièce faite en alliage d'aluminium, **caractérisé en ce que**, pour la pièce, on choisit un alliage qui présente, outre l'aluminium, en tant qu'éléments fonctionnels, de 5 à 7,5% en poids de silicium, de 0,2 à 0,35% en poids de magnésium, de 0,3 à 3% en poids de nickel et/ou de 0,6 à 3% en poids de cobalt, le reste étant Al, ainsi que des impuretés produites lors de la fabrication, et **en ce que** la pièce contient des phases, qui présentent de l'aluminium et du nickel et/ou de l'aluminium et du cobalt et qui sont présentes sous la forme de composés intermétalliques binaires et/ou ternaires et/ou quaternaires.
4. Procédé selon la revendication 3, **caractérisé en ce que**,
- pour la pièce, on choisit un alliage qui présente, outre l'aluminium, en tant qu'éléments fonctionnels, de 6,5 à 7,5% en poids de silicium, de 0,2 à 0,35% en poids de magnésium, de 0,5 à 2,5% en poids de nickel,

et

- **en ce que** la pièce contient des phases, qui présentent de l'aluminium et du nickel et qui sont présentes sous la forme de composés intermétalliques binaires et/ou ternaires et/ou quaternaires. 5
- 5. Procédé selon la revendication 3 ou 4, **caractérisé en ce que** la pièce subit un durcissement à chaud à une température comprise entre 160°C et 240°C pendant une période de 0,2 à 10 heures. 10
- 6. Procédé selon l'une quelconque des revendications 3 à 5, **caractérisé en ce que** la pièce subit un durcissement à chaud à une température comprise entre 180°C et 220°C pendant une période de 0,5 à 8 heures. 15
- 7. Procédé selon l'une quelconque des revendications 3 à 6, **caractérisé en ce que** la pièce est fabriquée dans un procédé de coulage en sable ou de coulage en coquille ou de coulage sous pression de vide. 20
- 8. Procédé selon l'une quelconque des revendications 3 à 7, **caractérisé en ce que** l'on forme une tête de cylindre ou un carter de manivelle de cylindre d'un moteur à combustion interne. 25

30

35

40

45

50

55

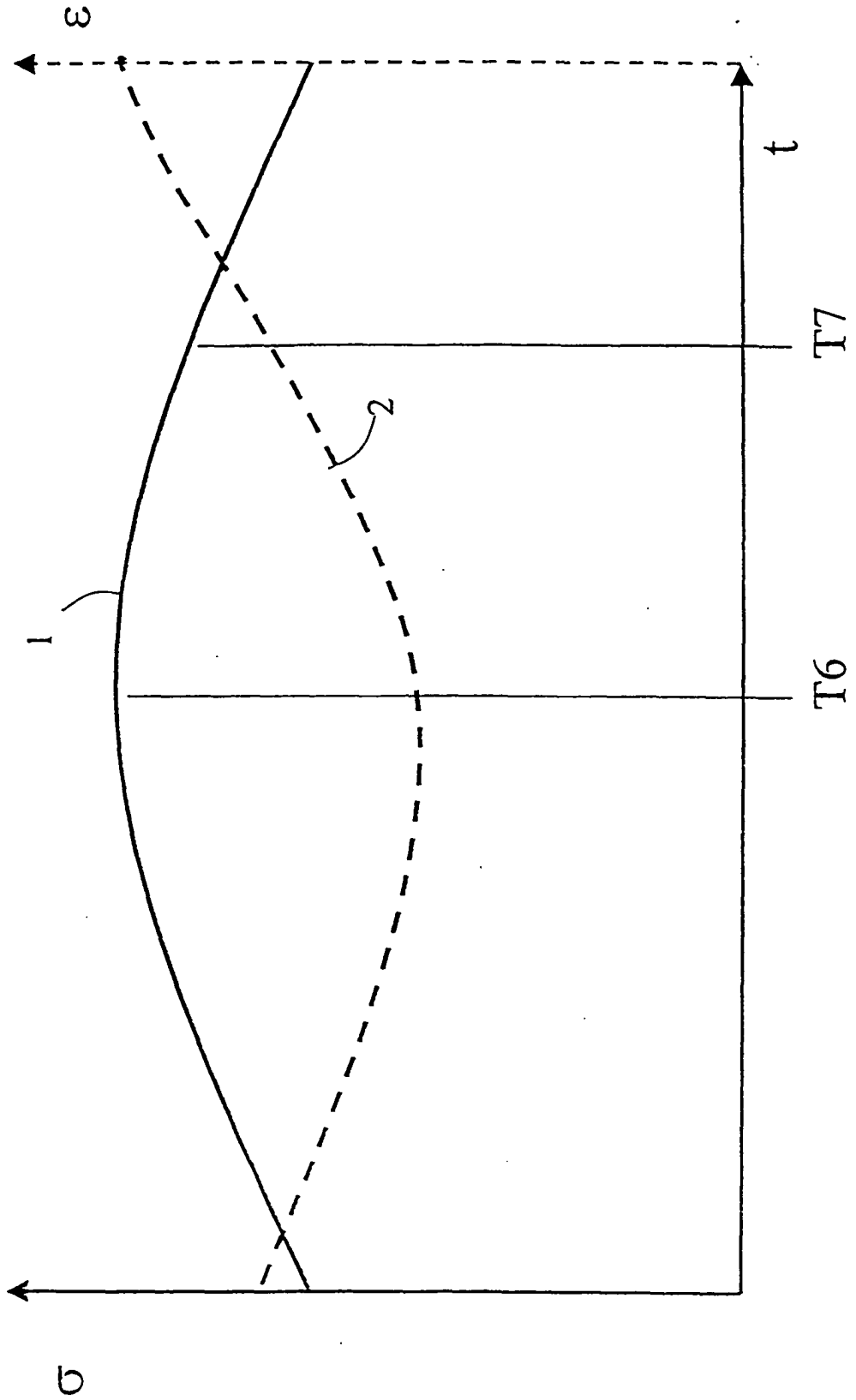


Fig. 1

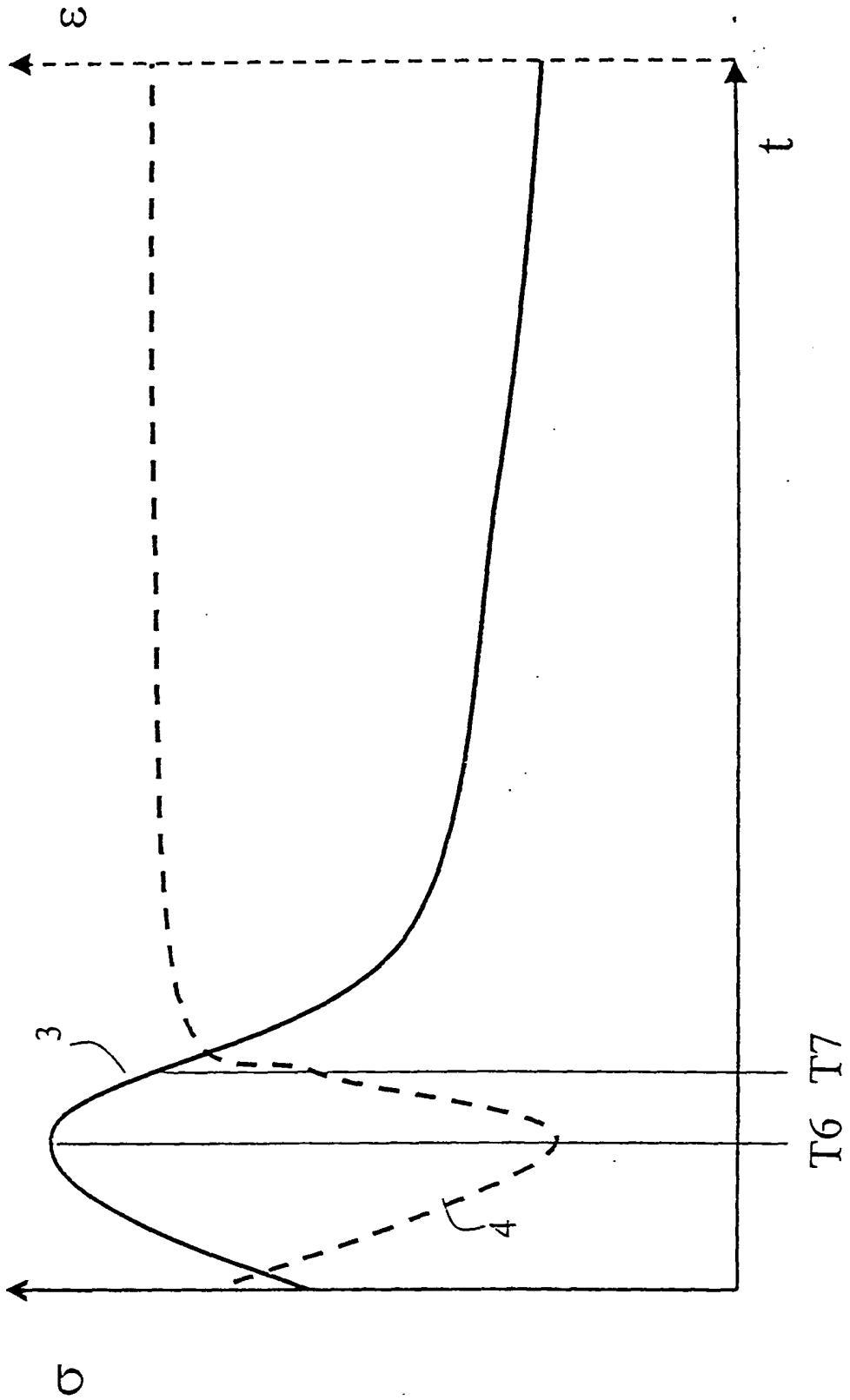


Fig. 2