

(12)

## Patentschrift

(21) Anmeldenummer: A 1634/2011  
(22) Anmeldetag: 07.11.2011  
(45) Veröffentlicht am: 15.07.2013

(51) Int. Cl. : **C22C 21/12** (2012.01)  
**C22F 1/057** (2012.01)  
**C21D 1/26** (2012.01)

(56) Entgegenhaltungen:  
GB 939417 A US 2280171 A1  
GB 650905 A GB 618700 A  
GB 614898 A GB 595905 A

(73) Patentinhaber:  
SALZBURGER ALUMINIUM  
AKTIENGESELLSCHAFT  
5651 LEND (AT)

(72) Erfinder:  
SCHUMACHER PETER DIPL.ING. DR.  
LEOBEN (AT)  
FAERBER KATHARINA DIPL.ING.  
WEIKERSDORF (AT)  
TRENDLA GÜNTHER ING.  
DORFGASTEIN 31 (AT)

### (54) ALUMINIUMLEGIERUNG MIT TANTAL

(57) Eine Aluminiumlegierung für die Anwendung im Sand- und Kokillenguss enthält 0,3 bis 5,0 % Kupfer, 0,1 bis 0,5 % Mangan, 0,05 bis 0,3 % Titan, 0,1 bis 0,5 % Tantal und maximal je 0,05 % Magnesium, 0,2 % Silizium, 0,3 % Eisen und 0,1 % Zink, sowie herstellungsbedingte Verunreinigungen und Rest Aluminium. Ein Verfahren zur Wärmebehandlung einer solchen Legierung umfasst die Schritte Lösungsglühen, Abschrecken und Auslagern.

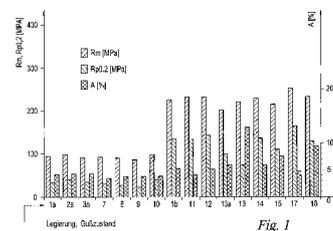


Fig. 1

## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung betrifft Aluminiumlegierungen für die Anwendung im Sand- und Kokillenguss, die Kupfer, Mangan und Tantal enthalten. Solche Legierungen sind aushärtbar und weisen eine hohe Zugfestigkeit auf.

**[0002]** Aus dem Datenblatt „ALUFONT 52“ der Salzburger Aluminium Group ist eine hochfest aushärtbare Aluminiumgusslegierung bekannt, die im Wesentlichen 4,5 - 5,0 % Kupfer, 0,1 - 0,5 % Mangan und 0,15 - 0,25 % Titan enthält. Sie ist schwierig zu vergießen und eignet sich für einfache Gussteile, an die höchste Festigkeitsansprüche gestellt werden. Allerdings ist deren Korrosionsbeständigkeit gering.

**[0003]** Die EP 540 055 A1 beschreibt eine hochfeste Legierung auf Aluminiumbasis, die durch extrem schnelles Abkühlen beim Guss eine große Härte erhält, welche auch thermischer Einwirkung bei der weiteren Verarbeitung standhält. Diese wird vor allem durch einen hohen Gehalt an Nickel (5 - 10 %) und an weiteren Elementen ( $X = 0,5 - 3 \%$ ) erreicht. Als solche weiteren Elemente steht eine ganze Reihe zur Auswahl, unter Anderem Titan. Nickel verfeinert die Struktur und erhöht die Warmfestigkeit.

**[0004]** Ähnliches gilt für die weiteren Elemente ( $X = 0,5 - 3 \%$ ). Schließlich ist als zusätzliche Zugabe noch eine weitere Reihe von Elementen ( $M = 0,1 - 2 \%$ ) erwähnt, darunter auch Tantal.

**[0005]** Zu beachten ist, dass Mengenverhältnisse in Atomprozent angegeben sind. Eine Umrechnung in die üblichen Gewichtsprozent würde für die Zusatzelemente erheblich höhere Prozentsätze ergeben, da deren Atomgewicht ein Vielfaches dessen von Aluminium ist. Viele dieser Zusatzelemente sind sehr teuer, was angesichts ihres hohen Gehaltes besonders negativ zu Buche schlägt. Die zur Erzielung der geforderten Eigenschaften nötige extrem schnelle Abkühlung ( $10^6$  K/s !) ist nur mittels besonderer Vorrichtungen zu erreichen. Deshalb sind solche Legierungen nur bei dafür geeigneten Teilen für besondere Anwendungen einsetzbar, nicht aber für Gusstücke.

**[0006]** Aus der WO 94/12677 sind Aluminiumlegierungen bekannt, die eine Zugfestigkeit bis über 500 MPa und einen verringerten elektrischen Widerstand aufweisen. Das wird bei Zugabe der üblichen Legierungselemente (Si, Cu, Mg, Cr und Zr) vor allem durch den Einbau von Stickstoff-, Sauerstoff- und Wasserstoffatomen in das Gefüge erreicht. Schließlich können sie noch mindestens eines einer Reihe weiterer Elemente enthalten, darunter Tantal und Titan (jeweils 0,005 - 2,2 %). Ein so breites Intervall (0,005 bis 2,2) kann keine bestimmte Legierung beschreiben. Die besonderen Eigenschaften werden durch die Einlagerung der Gasatome ins Gefüge erreicht, die besondere Maßnahmen erfordern (erwähnt sind nur Zerstäubung und Kompaktierung), die mit einem industriellen Gussvorgang nicht vereinbar sind.

**[0007]** Es ist daher Aufgabe der Erfindung, eine Aluminiumlegierung zu schaffen, die als aushärtbare Gusslegierung höchste Festigkeitsansprüche erfüllt und leicht zu vergießen ist. Auch sollen Duktilität und Korrosionsbeständigkeit verbessert sein.

**[0008]** Erfindungsgemäß wird das mit einer Zusammensetzung in Gewichtsprozent:

**[0009]** - 0,3 bis 5,0 % Kupfer,

**[0010]** - 0,1 bis 0,5 % Mangan,

**[0011]** - 0,05 bis 0,3% Titan,

**[0012]** - 0,1 bis 0,5% Tantal,

**[0013]** - maximal 0,05 % Magnesium,

**[0014]** - maximal 0,2 % Silizium,

**[0015]** - maximal 0,3 % Eisen,

**[0016]** - maximal 0,1 % Zink,

**[0017]** - herstellungsbedingte Verunreinigungen, und

**[0018]** - Rest Aluminium erzielt.

**[0019]** Kupfer hat wesentlichen Anteil an der erhöhten Zugfestigkeit. Tantal ist nicht mit beliebigen Aluminiumlegierungen kompatibel. Bei dem nur geringen Gehalt an Eisen, Mangan, Silizium, Magnesium und Zink der erfindungsgemäßen Legierungen ist es im Verbund mit Kupfer mit Aluminium kompatibel und verfeinert das Korn sehr wirkungsvoll. Eine derartige Legierung zeichnet sich durch hohe Zugfestigkeit, Dehngrenze und Bruchdehnung aus. Weiters verbessert Tantal die Speisungseigenschaften beim Gießen und verhindert die Bildung von Mikrolunkern. Es verbessert auch die Korrosionsbeständigkeit und wegen seines hohen Schmelzpunktes auch die Warmfestigkeit.

**[0020]** Tantal verleiht Aluminium auch besondere physikalische Eigenschaften, die in elektrischen, elektronischen und optoelektronischen Bauelementen gefragt, für Bauteile des Fahrzeug- und Flugzeugbaues jedoch irrelevant sind.

**[0021]** In Weiterbildung der Erfindung wurde bei einem Kupfergehalt an der niederen Seite (0,3 bis 0,4 %) noch Yttrium in einer Dosis von 0,2 % bis 0,8 % hinzugefügt. Dadurch wird eine erhebliche Steigerung von Zugfestigkeit und Streckgrenze erreicht, die im Einzelnen von der Wärmebehandlung abhängig ist.

**[0022]** Bei gleichem niederen Gehalt an Kupfer haben sich für die Anteile an Tantal und Yttrium zwei Bereiche als Optimal erwiesen: Bei einem Anteil an Tantal von 0,2 % bis 0,4 % und einem Anteil an Yttrium von 0,25 % bis 0,4 % sind die Werte von Bruchdehnung und Zugfestigkeit erhöht. Bei einem Anteil an Tantal von 0,2 % bis 0,4 % und einem Anteil an Yttrium 0,4 % bis 0,7 % sind die Werte für die Zugfestigkeit besonders hoch.

**[0023]** In einer anderen Weiterbildung der Erfindung wurde bei einem Kupfergehalt an der hohen Seite (3 bis 5 %) und einem Gehalt an Tantal von 0,1 % bis 0,25 % eine wesentliche Erhöhung von Zugfestigkeit und Bruchdehnung, bereits im Gusszustand, also ohne Wärmebehandlung, festgestellt. Mit einem zusätzlichen Anteil von 0,15 % bis 0,25 % Yttrium ist eine weitere Steigerung der Bruchdehnung erreichbar.

**[0024]** Weitere Versuche haben gezeigt, dass mit einem Anteil an Kupfer an der tieferen Seite der Spanne von 3 % bis 5 % Kupfer, nämlich zwischen 3 % und 3,5 %, vorzugsweise um die 3 %, einem Anteil an Tantal von 0,1 % bis 0,35 % und zusätzlich einem Anteil von 0,15 % bis 0,25 % Yttrium eine weitere signifikante Steigerung der Bruchdehnung erreichbar ist. Die Ursache dafür wird im hier etwas verringerten Gehalt an Kupfer gesehen.

**[0025]** Eine weitere Verbesserung des Gefüges und der Eigenschaften ist durch Zugabe von Scandium, oder Scandium und Zirkon zu erreichen, wobei diese beiden Elemente gemeinsam einen Anteil von 0,2 bis 0,4 % bilden.

**[0026]** Eine noch weitere Verbesserung ist durch Zugabe von 0,1 bis 2,0 %, vorzugsweise 0,4 bis 1,0 %, Silber erreichbar. Damit wird nach Durchführen der Wärmebehandlung ein signifikantes Ansteigen der Festigkeitswerte erzielt, wobei Tantal die guten Bruchdehnungswerte erhält. Dies ist besonders bei langsam erstarrenden Großgussteilen von großem Vorteil.

**[0027]** Weiters handelt die Erfindung von einem Verfahren zur Wärmebehandlung der erfindungsgemäßen Legierungen, das - insbesondere für Legierungen 11 bis 18 - eine erhebliche Verbesserung der Messwerte sowie der Struktur und der Duktilität ergibt.

**[0028]** Im Folgenden wird die Erfindung anhand von Legierungsbeispielen und Balkendiagrammen der beim Zugversuch ermittelten Messwerte näher erläutert. Die Balkendiagramme sind Gegenstand von

**[0029]** Fig. 1: im Gusszustand, und

**[0030]** Fig. 2: nach der Wärmebehandlung.

**[0031]** In der vorliegenden Offenbarung beziehen sich alle Prozentangaben (%) auf Gewichts-

prozent (Gew.-%), sofern nicht ausdrücklich anders angegeben. Alle Prozentangaben von Legierungsbestandteilen sind zulasten Rest Aluminium auf 100 %.

**[0032]** Die folgenden Legierungen wurden untersucht, wobei die Legierungen 1a und 1b Referenzlegierungen sind, die im Wesentlichen der als Stand der Technik oben angeführten Legierung ALUFONT 52 entsprechen.

Legierung Nummer	Cu [Gew.-%]	Ta [Gew.-%]	Y [Gew.-%]	Sc [Gew.-%]	Zr [Gew.-%]
1a	0,4	0	0	0	0
2a	0,4	0,22	0	0	0
3a	0,4	0,40	0	0	0
7	0,4	0,22	0,3	0	0
8	0,4	0,22	0,7	0	0
9	0,4	0,40	0,3	0	0
10	0,4	0,40	0,6	0	0
1b	4,4	0	0	0	0
11	4,4	0,14	0	0	0
12	4,4	0,16	0	0	0
13a	4,4	0,20	0,2	0	0
13	3,1	0,20	0,2	0	0
14	5,0	0,10	0	0	0
15	5,0	0,10	0	0	0,1
17	5,0	0,10	0	0,2	0
18	5,0	0,10	0	0,2	0,1

**[0033]** Diese Legierungen wurden in Kokillen abgegossen und ein Teil der Probestücke anschließend einer Zugprüfung unterzogen. Ein anderer Teil der Probestücke wurde einer Wärmebehandlung und in der Folge einer Zugprüfung unterzogen.

**[0034]** Die Wärmebehandlung der Legierungen 1b und 11 bis 18 bestand in folgenden Schritten:

**[0035]** - Zweistufiges Lösungsglühen, zuerst bei 485 °C für 4 Stunden und dann bei 525 °C 3,5 Stunden,

**[0036]** - Abschrecken wie in 25 °C kaltem Wasser,

**[0037]** - Auslagerung bei 140 °C während 8 Stunden.

**[0038]** Geprüft und gemessen wurden jeweils die Zugfestigkeit  $R_m$  und die Dehngrenze  $R_{p0,2}$ , beide in Megapascal (MPa), sowie die Dehngrenze A in Prozent, bezogen auf die Länge vor dem Versuch. Weiters wurden Gefüge und Duktilität qualitativ untersucht.

**[0039]** Bei den Legierungen 2a und 3a war keine nennenswerte Verbesserung der Messwerte festzustellen. Somit bringt die Zugabe von Tantal bei niederem Gehalt an Kupfer keine messbaren Vorteile, wirkt aber jedenfalls kornfeinend.

**[0040]** Bei den Legierungen 7 bis 10 war im Vergleich mit der Referenzlegierung 1a eine leichte Verbesserung aller drei Messwerte festzustellen. Wegen des geringen Kupfergehaltes war die Verbesserung der Messwerte nach Wärmebehandlung nur unwesentlich.

**[0041]** Bei den Legierungen 8 und 10 war die Verbesserungen der Messwerte merklich, wobei insbesondere bei der Legierung 8 mit der erhöhten Zugabe von Yttrium bereits ein weiterer Anstieg der Zugfestigkeit  $R_m$  nach Wärmebehandlung feststellbar war. Bei Legierungen 7 und 9 war die Bruchdehnung  $A$  leicht erhöht. Bei Legierung 9 und 10 wurden Korngrößen von durchschnittlich 110 Mikrometer gemessen, daher besonders hohe Duktilität.

**[0042]** Vergleich der Legierungen 11 und 12 mit der Referenzlegierung 1b zeigt bereits im Gusszustand einen Anstieg der Dehngrenze  $R_{p0,2}$  und der Zugfestigkeit  $R_m$  bei gleich bleibender Bruchdehnung  $A$ . Entsprechend höher sind auch die Werte nach einer Wärmebehandlung, sie werden jedoch von den jeweils zu optimierenden Werten von Temperatur und Dauer der Wärmebehandlung stark beeinflusst. Sie gleichen weitgehend denen der Legierung 14. Wegen dieses Einflusses und der dadurch bedingten Streuung wurde von der Darstellung der Werte im Balkendiagramm der Fig. 2 abgesehen.

**[0043]** Legierungen 13 und 13a veranschaulichen die Wirkung der Beigabe von Yttrium auf die Messwerte. Sie verbessert im Gusszustand die Zugfestigkeit nicht und senkt die Dehngrenze. Die Bruchdehnung  $A$  ist jedoch höher und steigt bei vermindertem Kupfergehalt - siehe Legierung 13 - außerordentlich stark an. Das bezüglich der Wärmebehandlung zu Legierungen 11 und 12 Gesagte trifft auch hier zu.

**[0044]** Die Legierung 14 zeigt, dass bei einem Kupfergehalt an der hohen Seite (5 %) bereits mit nur 0,1 % Tantal eine Verbesserung der Messwerte erzielt wird, die nach Wärmebehandlung sogar signifikant ist. So steigt die Zugfestigkeit von den 215 MPa der Referenzlegierung auf 227 MPa und nach der erfindungsgemäßen Wärmebehandlung sogar auf 355 MPa. Die Dehngrenze steigt von den 125 MPa der Referenzlegierung nach Wärmebehandlung auf 195 MPa, und die Bruchdehnung von 5 % auf über 20 %. Hier tritt auch der Kornfeinungseffekt von Tantal deutlich in Erscheinung; bezüglich der Referenzlegierung hat die mittlere Korngröße von 340 auf 250 Mikrometer abgenommen. Zugaben von bis zu 0,45 % Tantal sind möglich.

**[0045]** Anhand der Legierungen 15 bis 17 wurde untersucht, ob durch Zugabe von Scandium und/oder Zirkon weitere Verbesserungen möglich sind. In Legierung 15 wurde nebst Tantal nur 0,1 % Zirkon zugefügt. Man sieht im Balkenschaubild, dass dadurch im Gusszustand die Zugfestigkeit leicht und die Dehngrenze stark absinkt und die Bruchdehnung stark zunimmt. Im wärmebehandelten Zustand sind die Werte nicht besser als die der Legierung 14.

**[0046]** In Legierung 17 wurden an Stelle von Zirkon 0,2 % (Legierung 15) Scandium zugefügt. Im Gusszustand waren Zugfestigkeit und Dehngrenze zwar höher als bei Legierung 15, jedoch auf Kosten der Bruchdehnung. Im wärmebehandelten Zustand waren alle Werte sogar schlechter als bei Legierung 14.

**[0047]** Angesichts der hohen Kosten von Scandium wurde in Legierung 18 Scandium teilweise durch Zirkon ersetzt. Die Messwerte zu dieser Legierung unterscheiden sich nicht nennenswert von denen der Legierung 14.

**[0048]** Insgesamt werden mit den erfindungsgemäßen Legierungen erhebliche Verbesserungen von Zugfestigkeit, Dehngrenze und/oder Bruchdehnung sowie Gefügeverfeinerung erreicht, wobei die Anpassung an spezifische Anforderungen im Umfang der angegebenen Bereiche und durch Anpassung der Temperatur- und Zeitwerte der erfindungsgemäßen Wärmebehandlung erfolgt.

## Patentansprüche

1. Aluminiumlegierung für die Anwendung im Sand- und Kokillenguss, die Kupfer, Mangan und Tantal enthält, gekennzeichnet durch folgende Zusammensetzung in Gewichtsprozent:
  - 0,3 bis 5,0 % Kupfer,
  - 0,1 bis 0,5 % Mangan,
  - 0,05 bis 0,3 % Titan,
  - 0,1 bis 0,5% Tantal,
  - maximal 0,05 % Magnesium,
  - maximal 0,2 % Silizium,
  - maximal 0,3 % Eisen,
  - maximal 0,1 % Zink,
  - herstellungsbedingte Verunreinigungen, und
  - Rest Aluminium.
2. Aluminiumlegierung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Anteil an Kupfer 0,3 bis 0,4 % beträgt und dass zusätzlich 0,2 % bis 0,8 % Yttrium enthalten sind.
3. Aluminiumlegierung nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Anteil an Tantal 0,2 % bis 0,4 % und der Anteil an Yttrium 0,25 % bis 0,4 % beträgt.
4. Aluminiumlegierung nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Anteil an Tantal 0,2 % bis 0,4 % und der Anteil an Yttrium 0,4 % bis 0,7 % beträgt.
5. Aluminiumlegierung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Anteil an Kupfer 3,0 bis 5,0 % und der Anteil an Tantal 0,1 % bis 0,25 % beträgt.
6. Aluminiumlegierung nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass zusätzlich 0,15 % bis 0,25 % Yttrium enthalten sind.
7. Aluminiumlegierung nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Anteil an Kupfer nur bis 3,5 % beträgt.
8. Aluminiumlegierung nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass sie zusätzlich Scandium zu einem Anteil von 0,1% bis 0,2 % enthält.
9. Aluminiumlegierung nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass sie zusätzlich Scandium und Zirkon zu einem Anteil von gemeinsam 0,2 % bis 0,4 % enthält.
10. Aluminiumlegierung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass sie zusätzlich 0,1 % bis 2,0 % Silber enthält.
11. Aluminiumlegierung nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet**, dass ihr Gehalt an Silber 0,4 % bis 1,0 % beträgt.
12. Verfahren zur Wärmebehandlung einer Aluminiumgusslegierung nach einem der Ansprüche 1 bis 11, umfassend die folgenden an dem im Kokillen- oder Sandguss hergestellten Gussstück ausgeübten Schritte:
  - a) Lösungsglühen bei einer Temperatur zwischen Temperaturen von 400 bis 600 °C während 3 bis 10 Stunden,
  - b) Abschrecken in einer Flüssigkeit mit Raumtemperatur, und
  - c) Auslagern bei 100 bis 200 °C während 5 bis 10 Stunden.

13. Verfahren nach Anspruch 12,

wobei das Lösungsglühen in Schritt a) durch zweistufiges Lösungsglühen erfolgt, zuerst bei 450 bis 500 °C während 3 bis 5 Stunden und dann bei 500 bis 550 °C während 3 bis 5 Stunden; und

wobei das Auslagern in Schritt c) durch Auslagern bei 120 bis 150 °C während 7 bis 9 Stunden erfolgt.

**Hierzu 2 Blatt Zeichnungen**

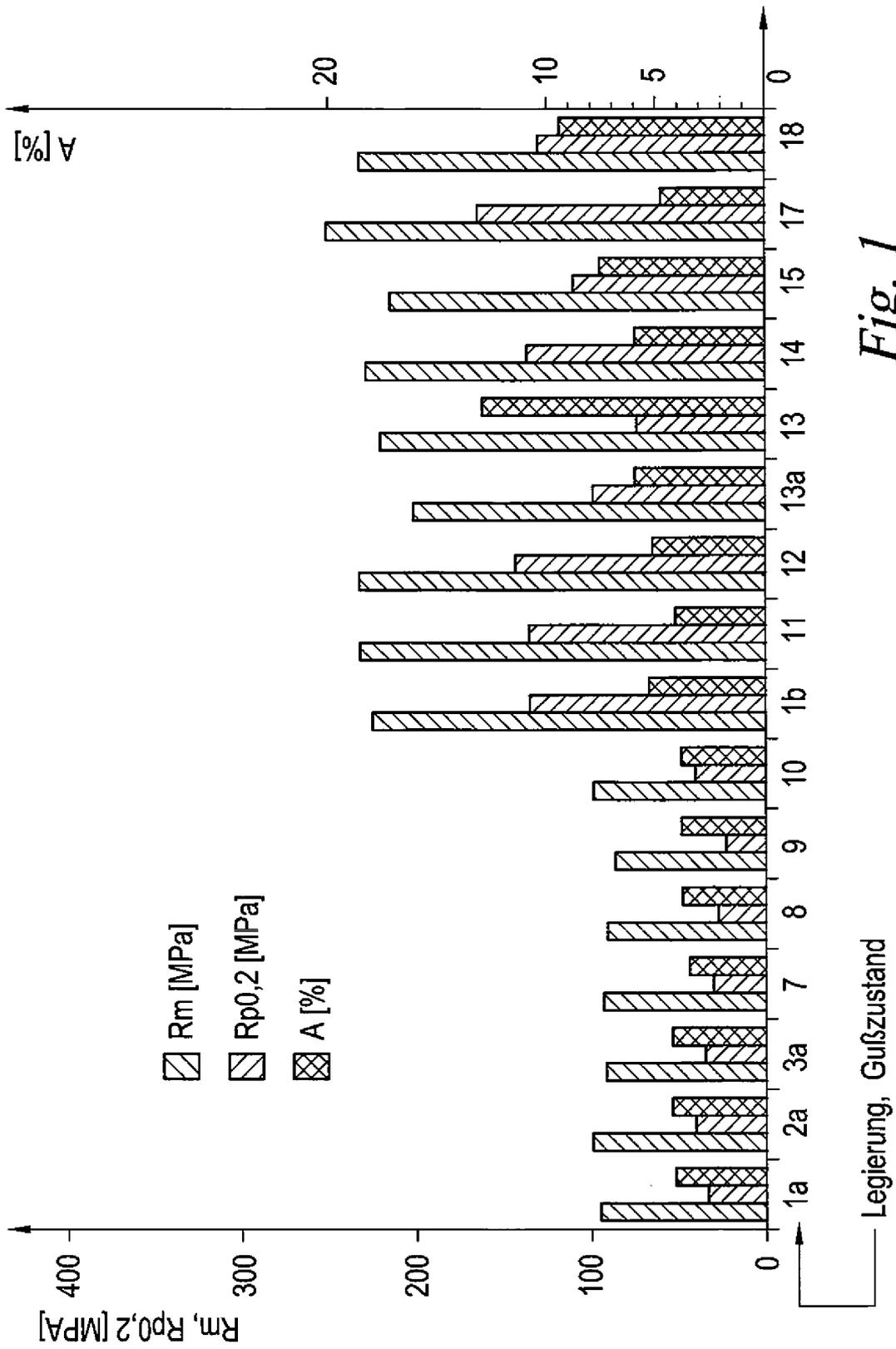


Fig. 1

Legierung, Gußzustand

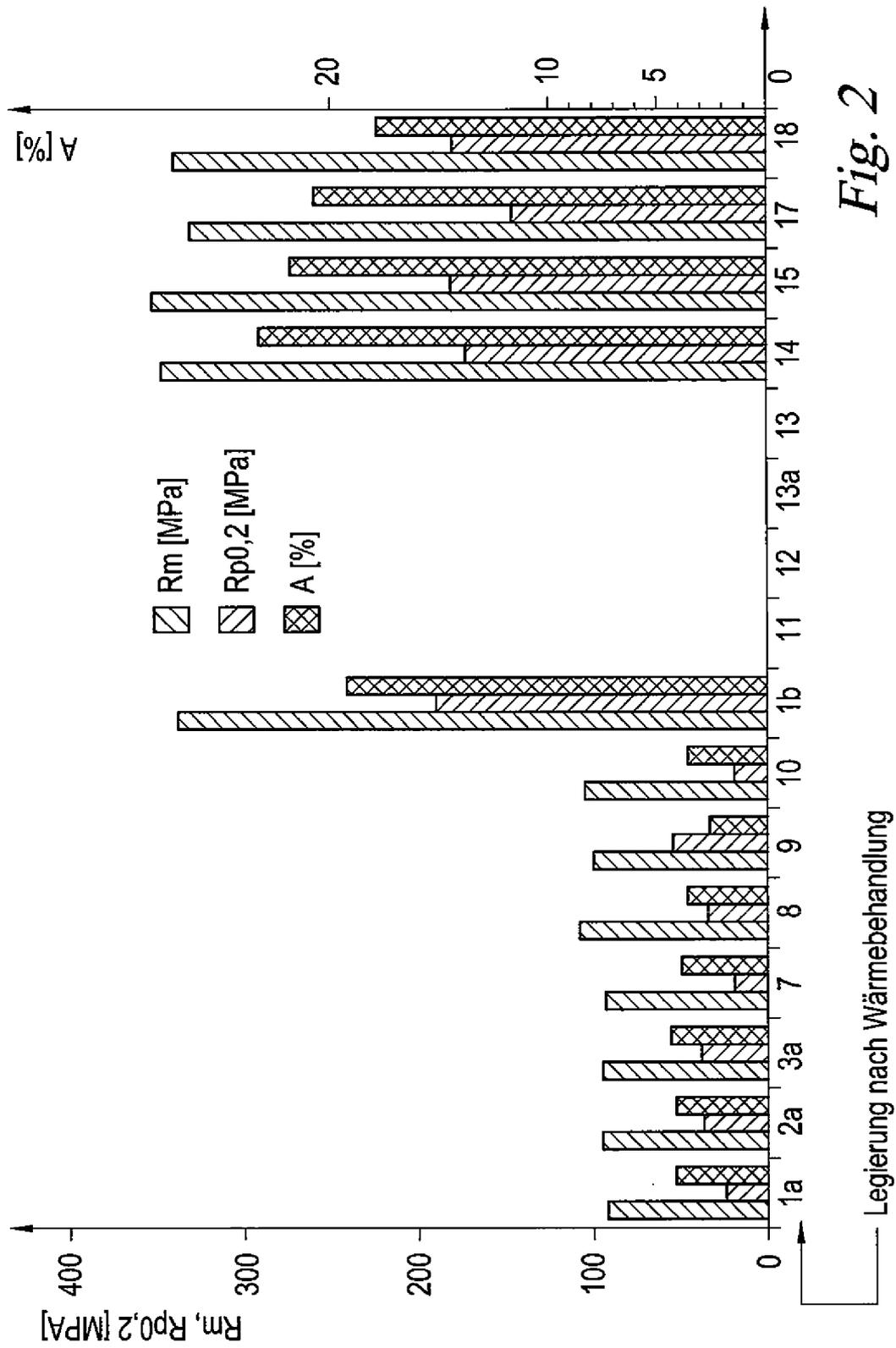


Fig. 2

Legierung nach Wärmebehandlung