



(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:  
**01.12.2021 Patentblatt 2021/48**

(51) Int Cl.:  
**C22C 21/04** <sup>(2006.01)</sup> **C22C 21/08** <sup>(2006.01)</sup>  
**C22F 1/05** <sup>(2006.01)</sup>

(21) Anmeldenummer: **20176943.7**

(22) Anmeldetag: **27.05.2020**

(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**  
Benannte Erstreckungsstaaten:  
**BA ME**  
Benannte Validierungsstaaten:  
**KH MA MD TN**

(71) Anmelder: **Amag Rolling GmbH**  
**5282 Braunau am Inn - Ranshofen (AT)**

(72) Erfinder:  
• **Tosone, Ramona**  
**5145 Neukirchen an der Enknach (AT)**  
• **SCHMID, Florian**  
**8010 Graz (AT)**  
• **POGATSCHER, Stefan**  
**8700 Leoben (AT)**  
• **UGGOWITZER, Peter J.**  
**8913 Ottenbach (CH)**

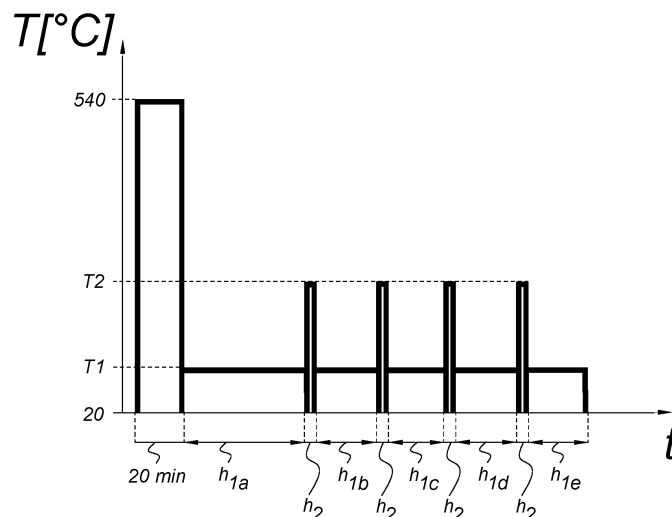
(74) Vertreter: **Jell, Friedrich**  
**Bismarckstrasse 9**  
**4020 Linz (AT)**

(54) **VERFAHREN ZUM AUSHÄRTEN EINES BLECHS ODER BANDS AUS EINER ALUMINIUMLEGIERUNG DER 6XXX REIHE**

(57) Es wird ein Verfahren zum Aushärten eines Blechs oder Bands aus einer Aluminiumlegierung der 6xxx Reihe und ein dadurch hergestelltes Blech oder Band beschrieben. Um das Verfahren zum Aushärten zu beschleunigen wird eine mehrstufige Wärmebehandlung vorgeschlagen, die ein zweites Halten auf einer zweiten Haltetemperatur (T2) im Bereich von 150 bis 250 °C während einer zweiten Haltezeit (h2) sowie ein daran an-

schließendes, zweites beschleunigtes Abkühlen umfasst, wobei das zweite Halten mit anschließendem zweiten beschleunigtem Abkühlen das erste Halten mehrmals unterbricht und dieses erste Halten dadurch in Halteabschnitte, jeweils auf einer ersten Haltetemperatur (T1) im Bereich von 60 bis 140 °C und während einem ersten Haltezeitabschnitt (h1a, h1b, h1c, h1d, h1e), der länger als die zweite Haltezeit (h2) andauert, teilt.

*Fig. 1*



## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Aushärten eines Blechs oder Bands aus einer Aluminiumlegierung der 6xxx Reihe und ein damit hergestelltes Blech oder Band.

**[0002]** Aus dem Stand der Technik ist es bekannt (vgl. Ken Takata et Al., "Improvement of Strength-Elongation Balance of Al-Mg-Si Sheet Alloy by Utilising Mg-Si Cluster and Its Proposed Mechanism", Materials Transactions (2017)), bei Al-Mg-Si Aluminiumlegierungen der 6xxx-Reihe Bruchdehnungs- und Zugfestigkeitswerte zu verbessern, indem nach einem Lösungsglühen und beschleunigten Abkühlen (Wasserabschrecken) die Aluminiumlegierung einer im Wesentlichen Mg-Si-Cluster ausbildenden Wärmebehandlung unterworfen wird. Dies erfolgt beispielsweise bei einer Haltetemperatur von 100 °C (Grad Celsius) während einer Haltezeit von 24 Tagen, was eine vergleichsweise lange Prozesszeit insbesondere in Hinblick auf eine industrielle Fertigung darstellt.

Mit höherer Haltetemperatur kann die Prozesszeit reduziert werden, beispielsweise bei 180 °C auf 8 bis 10 Stunden. Nachteilig bilden sich bei derart höheren Haltetemperatur im Wesentlichen  $\beta''$ -Ausscheidungen, wodurch jene Kombination aus Bruchdehnungs- und Zugfestigkeitswerten, die aus Wärmebehandlungen mit reduzierten Haltetemperaturen bekannt sind, nicht erreicht werden können.

**[0003]** Die Erfindung hat sich daher die Aufgabe gestellt, ein Verfahren der eingangs geschilderten Art derart zu verbessern, dass bei nahezu gleichen Bruchdehnungs- und Zugfestigkeitswerten die Prozesszeit für ein Aushärten mit einer Wärmebehandlung bei vergleichsweise niedrigen Haltetemperaturen reduziert werden kann.

**[0004]** Die Erfindung löst die gestellte Aufgabe durch die Merkmale des Anspruchs 1.

**[0005]** Dadurch, dass die Wärmebehandlung ein zweites Halten auf einer zweiten Haltetemperatur im Bereich von 150 bis 250 °C während einer zweiten Haltezeit sowie ein daran anschließendes, zweites beschleunigtes Abkühlen umfasst, kann zunächst erwartet werden, dass sich - wie bei Wärmebehandlungen auf höheren Haltetemperaturen bekannt - auf der einen Seite Prozesszeiten reduzieren, auf der anderen Seite sich aber nachteilig eine schlechtere Kombination aus Bruchdehnungs- und Zugfestigkeitswerten durch  $\beta''$  Ausscheidungen ergibt.

Letzteres kann jedoch durch die Vorschrift zur Unterbrechung des ersten Haltens gezielt vermieden werden, da das zweite Halten mit anschließendem zweiten beschleunigten Abkühlen das erste Halten mehrmals unterbricht und dieses erste Halten dadurch in Halteabschnitte, jeweils auf einer ersten Haltetemperatur im Bereich von 60 bis 140 °C und während einem ersten Haltezeitabschnitt, der länger als die zweite Haltezeit andauert, teilt.

Mithilfe des unterbrechenden zweiten Haltens im Zusammenwirken mit dem zweiten beschleunigten Abkühlen kann eine vergleichsweise hohe Anzahl an zusätzlichen Leerstellen in der 6xxx-Legierung erzeugt und eingeschreckt werden, die beim anschließenden ersten Halten die Mg-Si-Clusterbildung unterstützt und damit die Prozesszeit des Aushärtens unter erstem Halten erheblich reduziert.

Erfindungsgemäß können daher bei 6xxx-Aluminiumlegierungen (also AlMgSi-Legierungen der 6000er-Reihe) jene Bruchdehnungs- und Zugfestigkeitswerte deutlich schneller erreicht werden, welche bei Aushärtung mit einer Ausbildung von im Wesentlichen Mg-Si-Clustern unter vergleichsweise langen Prozesszeiten bekannt sind.

**[0006]** Vorzugsweise liegt die erste Haltetemperatur im Bereich von 80 bis 120 °C, um bei kürzeren ersten Haltezeitabschnitten dennoch eine vergleichsweise hohe Mg-Si-Clusterbildung bei der 6xxx-Aluminiumlegierung sicherstellen zu können. Vorstehendes ist durch eine erste Haltetemperatur im Bereich von bei 90 bis 110 °C weiter verbesserbar.

**[0007]** Die ersten Haltezeitabschnitte sind kleiner gleich 12 Stunden, um im Wesentlichen alle eingeschreckten Leerstellen zur Ausbildung von Mg-Si-Clustern zu nützen. Vorzugsweise liegen die ersten Haltezeitabschnitte im Bereich von 2 bis 8 Stunden, um damit eine ausreichende Anzahl an eingeschreckten Leerstellen zur Ausbildung von Mg-Si-Clustern zu nützen. Vorstehendes kann durch erste Haltezeitabschnitte im Bereich von 3 bis 6 Stunden weiter verbessert werden.

**[0008]** Liegt die zweite Haltetemperatur im Bereich von 170 bis 230 °C kann ein Temperaturreahmen vorgeben werden, in welchem unter Berücksichtigung einer vergleichsweise kurzen zweiten Haltezeit, mit reduzierter Neigung zu  $\beta''$  Ausscheidungen vorteilhaft eine hohe Anzahl an Leerstellen erzeugt werden können. Vorstehendes ist durch eine zweite Haltetemperatur im Bereich von 190 bis 210 °C weiter verbesserbar.

**[0009]** Vorzugsweise ist die zweite Haltezeit des zweiten Haltens kleiner gleich 15 Minuten, um ausreichende Leerstellen bei geringer Ausscheidungsneigung in der 6xxx-Legierung zu schaffen.

**[0010]** Das Verfahren zur Aushärtung der 6xxx-Legierung kann weiter verbessert werden, wenn die zweite Haltezeit ( $h_2$ ) in Sekunden bei mittlerer Kristallkorngröße (KG), gemessen nach dem Linienschnittverfahren ASTM E112, in Mikrometer und bei zweiter Haltetemperatur ( $T_2$ ) in Grad Celsius folgende Bedingungen erfüllt:

$$h_2 \geq (A1 + B1 \cdot KG) \cdot \exp\left(-\frac{T_2}{C1}\right) + (D1 + E1 \cdot KG)$$

$$h_2 \leq (A_2 + B_2 \cdot KG) \cdot \exp\left(-\frac{T_2}{C_2}\right) + (D_2 + E_2 \cdot KG)$$

mit folgenden Parametern

A1= -26400, B1= 5000, C1= 22,00, D1= 1,25 und E1= 0,15  
A2= -125000, B2= 29700, C2= 20,75, D2= -0,55 und E2= 0,65

**[0011]** Vorzugsweise sind die ersten Haltetemperaturen über das gesamte erste Halten gleich. Vorzugsweise sind mehrere oder alle erste Haltezeitabschnitte gleich. Vorzugsweise ist das mehrmalige zweite Halten auf einer zweiten Haltetemperatur während einer zweiten Haltezeit gleich. Vorzugsweise dauert der erste Haltezeitabschnitt der ersten Haltezeitabschnitte länger als die nachfolgenden ersten Haltezeitabschnitte an.

**[0012]** Insbesondere erfolgt das erste und/oder zweite beschleunigte Abkühlen mit einer Abkühlrate von mindestens 20 °C/s, insbesondere von mindestens 50 °C/s, vorzugsweise von mindestens 80 °C/s, erfolgt, um damit die beim zweiten Halten gebildeten Leerstellen zuverlässig einschrecken zu können.

**[0013]** Vorzugsweise erfolgt das Aufheizen vom ersten Halten auf das zweite Halten mit einer Aufheizrate von mindestens 10 °C/s, insbesondere mindestens 50 °C/s.

**[0014]** Vorzugsweise weist die 6xxx-Aluminiumlegierung von 0,2 bis 1,5 Gew.-% Magnesium (Mg) und von 0,2 bis 1,5 Gew.-% Silizium (Si) auf - was beim ersten Halten zu einem großen Ausscheidungsdruck für die Bildung von Mg-Si-Clustern und beim zweiten Halten zu einer erhöhten Leerstellendichte führen kann.

Optional kann die 6xxx-Aluminiumlegierung ein oder mehrere Elemente aufweisen: bis 1,1 Gew.-% Kupfer (Cu) und/oder bis 0,7 Gew.-% Eisen (Fe) und/oder bis 1,0 Gew.-% Mangan (Mn) und/oder bis 0,35 Gew.-% Chrom (Cr) und/oder bis 0,25 Gew.-% Zink (Zn) und/oder bis 0,15 Gew.-% Titan (Ti) und/oder bis 0,1 Gew.-% Vanadium (V) und/oder bis 0,2 Gew.-% Zirkon (Zr) und/oder bis 0,2 Gew.-% Zinn (Sn).

Als Rest weist die Aluminiumlegierung Aluminium sowie herstellungsbedingt unvermeidbare Verunreinigungen mit jeweils maximal 0,05 Gew.-% und gesamt höchstens 0,15 Gew.-% auf.

Zudem kann die Aluminiumlegierung von 0,2 bis 1,2 Gew.-% Magnesium (Mg) aufweisen, um die Bildung von Mg-Si-Clustern weiter zu erhöhen.

**[0015]** Vorzugsweise ist die Aluminiumlegierung vom Typ AA6005, AA6016, AA6061, AA6063 oder AA6082.

**[0016]** Vorzugsweise weist das Blech oder Band eine Dicke von kleiner 5 mm, insbesondere von 3 mm auf, um mit dem kurzzeitigen Unterbrechen des ersten Haltens eine ausreichende Anzahl an Leerstellen zu erzeugen und unerwünschte Ausscheidungen zu unterbinden.

**[0017]** Außerdem hat sich die Erfindung die Aufgabe gestellt, ein einer Aushärtung unterworfenen Blech oder Band mit vergleichsweise hohen Bruchdehnungs- und Zugfestigkeitswerten zu schaffen.

**[0018]** Die Erfindung löst die gestellte Aufgabe durch die Merkmale des Anspruchs 13.

**[0019]** Dadurch dass das Blech oder Band dem erfindungsgemäßen Verfahren zur Aushärtung unterworfen worden ist, kann damit eine ausreichend hohen 0,2 %-Dehngrenze  $R_{p0,2} > 200$  MPa und eine ausreichend hohen Bruchdehnung A von  $> 20$  % erreicht werden - dies mit im Wesentlichen Mg-Si-Clustern in der Aluminiummatrix.

**[0020]** Vorzugsweise weist die Aluminiumlegierung eine Clusterdichte von mindestens  $2 \times 10^{24}$  Cluster/m<sup>3</sup> mit einem Guinier Radius  $> 1$  nm (Nanometer) und mit einem Median-Guinier Radius von  $> 1,3$  nm, gemessen mit einer Atomsonden-Tomographie (LEAP) vom Typ LEAP 3000HR, auf.

**[0021]** Vorzugsweise liegt die Breite der ausscheidungsfreien Zonen an den Korngrenzen zwischen 3 und 80 nm (Nanometer) liegt, um einen negativen Einfluss auf die Dehnungswerte des Blechs oder Bands zu beschränken - dies umso mehr, wenn die Breite der ausscheidungsfreien Zonen an den Korngrenzen zwischen 5 und 50 nm liegt.

**[0022]** Vorzugsweise weisen die Mg- und Si-haltigen Ausscheidungen, insbesondere vom Typ Mg<sub>2</sub>Si, an den Korngrenzen eine mittlere Größe von 30 bis 100 nm (Nanometer) auf, um ausreichende Festigkeit bei hohen Dehnwerten sicherstellen zu können - dies insbesondere, wenn die Ausscheidungen an den Korngrenzen eine mittlere Größe von 50 bis 70 nm aufweisen.

**[0023]** Zum Nachweis der erzielten Effekte wurden gewalzte Halbzeuge, nämlich als Feinbleche ausgebildete Bleche A, B und C mit je einer Blechdicke von 1,7 mm (Millimeter) und einer AA6016 Aluminiumlegierung mit

Mg Gew.-%	Si Gew.-%	Cu Gew.-%	Fe Gew.-%	Mn Gew.-%	Zn Gew.-%	Ti Gew.-%	Cr Gew.-%
0,65	1,16	0,17	0,17	0,10	0,04	0,02	0,04

und als Rest Aluminium sowie herstellungsbedingt unvermeidbaren Verunreinigungen mit jeweils maximal 0,05 Gew.-% und gesamt höchstens 0,15 Gew.-% hergestellt.

**[0024]** Diese Bleche A, B und C werden unterschiedlichen Verfahren V1, V2, V3 zur Aushärtung unterworfen. Diese Verfahren V1, V2, V3 weisen alle andere Wärmebehandlungen auf, die an ein Lösungsglühen bei 540 °C (Grad Celsius) für 2 min (Minuten) und ein daran anschließendes, erstes beschleunigtes Abkühlen (nämlich Wasserabschrecken) anschließen.

#### Verfahren V1 (Stand der Technik):

**[0025]** Dieses Verfahren ist aus dem Stand der Technik bekannt, bei dem ein Feinblech A, an das Lösungsglühen und das erste beschleunigte Abkühlen anschließend, einer einstufigen Wärmebehandlung unterworfen wird. Diese einstufige Wärmebehandlung besteht aus einem ersten Halten mit einer ersten Haltetemperatur (T1) bei 100 °C und einer ersten Haltezeit (h1) von 7 Tagen aufweist.

**[0026]** Zum Unterschied zum Verfahren V1 sind die Wärmebehandlungen der erfindungsgemäßen Verfahren V2, V3 mehrstufig - wie in Fig. 1 zu erkennen ist.

Diese Mehrstufigkeit bildet sich unter einem viermaligen Unterbrechen eines ersten Haltens durch ein zweites Halten samt zweiten beschleunigtem Abkühlen. Dadurch teilt sich das erste Halten in Halteabschnitte.

Diese Halteabschnitte sind voneinander einerseits in den ersten Haltezeitabschnitten h1a bzw. h1b, h1c, h1d, h1e unterschiedlich, andererseits in der ersten Haltetemperatur T1 gleich - wobei letzteres jedoch nicht zwingend der Fall sein muss. Jeder Halteabschnitt kann seine individuelle Haltetemperatur T1 während des individuellen ersten Haltezeitabschnitts h1a, h1b, h1c, h1d bzw. h1e aufweisen. Die erste Haltetemperatur T1 bzw. ersten Haltetemperaturen T1 der ersten Haltezeitabschnitte h1a, h1b, h1c, h1d, h1e müssen nur die Bedingung von 60 bis 140 °C erfüllen.

#### Verfahren V2 (erfindungsgemäß):

**[0027]** Feinblech B wurde anschließend an das Lösungsglühen und das erste beschleunigte Abkühlen einer mehrstufigen Wärmebehandlung in folgender Reihenfolge unterworfen:

- a. erstes Halten auf einer ersten Haltetemperatur T1 bei 100 °C während eines ersten Haltezeitabschnitts h1a von 3 Stunden;
- b. Erwärmen unter Einbringung in ein Metallbad mit einer Aufheizrate von mehr als 100 °C/s (Grad Celsius pro Sekunde) auf eine zweite Haltetemperatur T2;
- c. zweites Halten auf einer zweiten Haltetemperatur T2 bei 250 °C während einer zweiten Haltezeit h2 von 12 Sekunden, wobei damit die zweite Haltezeit h2 bei einer Korngröße KG von 50 µm die Bedingung  $11.35 \text{ Sekunden} \leq h2 \leq 39.91 \text{ Sekunden}$  erfüllt wird;
- d. zweites beschleunigtes Abkühlen unter Einbringung in ein Metallbad mit einer Abkühlrate von 80 °C/s auf eine Raumtemperatur (20 °C);
- e. Erwärmen unter Einbringung in ein Ölbad mit einer Aufheizrate von 10 °C/s auf die erste Haltetemperatur T1;
- f. erstes Halten auf einer ersten Haltetemperatur T1 bei 100 °C während eines ersten Haltezeitabschnitts h1b bzw. h1c bzw. h1d bzw. h1e von 1 Stunde;

wobei anschließend die Schritte b bis f dreimal wiederholt werden und nach diesen Wiederholungen anschließend das Feinblech B auf Raumtemperatur, gegebenenfalls beschleunigt, abgekühlt wird - wie dies in Fig. 1 zu erkennen ist.

**[0028]** Außerdem kann in Fig. 1 erkannt werden, dass die ersten Haltezeitabschnitte h1a, h1b, h1c, h1d und h1e deutlich länger als die zweite Haltezeit h2 andauern (vgl. Stunde in Relation zu Sekunden).

#### Verfahren V3 (erfindungsgemäß):

**[0029]** Verfahren V3 unterscheidet sich vom Verfahren V2 ausschließlich im Punkt c, indem das zweite Halten auf einer zweiten Haltetemperatur T2 bei 205 °C während einer zweiten Haltezeit h2 von 45 Sekunden durchgeführt wird. Auch diese Haltezeit erfüllt einer Korngröße KG von 50 µm die Bedingung  $28.82 \text{ Sekunden} \leq h2 \leq 101.60 \text{ Sekunden}$ .

**[0030]** Die dem Verfahren V1, V2 bzw. V3 zur Aushärtung unterworfenen Bleche A, B, C wurden mittels Zugversuchs hinsichtlich ihrer mechanischen Kennwerte 0,2 %-Dehngrenze  $R_{p0,2}$ , Zugfestigkeit  $R_m$ , Gleichmaßdehnung  $A_g$  und Bruchdehnung A untersucht.

Tabelle 1: Mechanische Kennwerte samt der Wärmebehandlungsdauer (WBD)

Blech	R <sub>p0,2</sub> [MPa]	R <sub>m</sub> [MPa]	A <sub>g</sub> [%]	A [%]	WBD
A	222	331	22,8	28,4	7 Tage
B	200	296	17,4	21,0	7 Stunden
C	234	329	20,2	28,5	7 Stunden

**[0031]** Wie der Tabelle 1 zu entnehmen, erzielen die Bleche B, C bei deutlich reduzierten Prozesszeiten des Aushärtens nahezu gleiche mechanische Kennwerte - wie dies bei Blech A der Fall ist und außerdem auch in Fig. 2 erkennbar ist.

**[0032]** Insbesondere weist das Blech C im Vergleich mit dem Blech A sogar verbesserte mechanische Kennwerte bei der 0,2 %-Dehngrenze auf, die bekanntermaßen bei Blech A nur mit einer äußerst langen Prozesszeit von 7 Tage erreichbar sind.

**[0033]** So ergab eine metallurgische Untersuchung von Blech B und C folgende Ergebnisse:

Blech B:

Breite der ausscheidungsfreien Zonen an den Korngrenzen 69 nm.

Mittlere Größe der Ausscheidungen vom Typ Mg<sub>2</sub>Si an den Korngrenzen 70 nm.

Blech C:

Breite der ausscheidungsfreien Zonen an den Korngrenzen 31 nm.

Mittlere Größe der Ausscheidungen vom Typ Mg<sub>2</sub>Si an den Korngrenzen 56 nm.

Clusterdichte von  $2,55 \times 10^{24}$  Cluster/m<sup>3</sup> mit einem Median-Guinier Radius von 1,7 nm.

**[0034]** Blech C weist im Vergleich zu Blech B sowohl eine geringe mittlere Größe der Ausscheidungen als auch eine geringere Breite der ausscheidungsfreien Zonen auf, was die erhöhten Festigkeitswerte bei höheren Dehnungswerten nach Tabelle 1 erklärt.

**[0035]** Erfindungsgemäß kann daher anhand der Verfahren V2 und V3 ein deutlich schnelleres Verfahren zur Aushärtung von 6xxx-Aluminiumlegierungen geschaffen werden, mit dem auch herausragende Bruchdehnungs- und Zugfestigkeitswerte aufgrund der Aushärtung der Aluminiumlegierung unter Bildung von im Wesentlichen Mg-Si-Clustern erreicht werden.

**[0036]** Insbesondere bei einer gegenüber dem Verfahren V2 niedrigeren zweiten Haltetemperatur (T2 bei 205 °C) des Verfahrens V3 kann eine deutliche Verbesserung in Richtung eines Optimums erkannt werden, der im Bereich von 190 bis 210 °C, liegt.

**[0037]** Im Allgemeinen wird festgehalten, dass "insbesondere" als "more particularly" ins Englische übersetzt werden kann. Ein Merkmal, dem "insbesondere" vorangestellt ist, ist als fakultatives Merkmal zu betrachten, das weggelassen werden kann, und stellt damit keine Einschränkung, beispielsweise der Ansprüche, dar. Das gleiche gilt für "vorzugsweise", ins Englische übersetzt als "preferably".

## Patentansprüche

1. Verfahren zum Aushärten eines Blechs oder Bands aus einer Aluminiumlegierung der 6xxx-Reihe mit folgenden Schritten:

Lösungsglühen des Blechs oder Bands,

erstes beschleunigtes Abkühlen des lösungsgeglühten Blechs oder Bands und Wärmebehandlung des abgeschreckten Blechs oder Bands, welche Wärmebehandlung ein erstes Halten auf einer ersten Haltetemperatur (T1) im Bereich von 60 bis 140 °C umfasst,

**dadurch gekennzeichnet, dass** die Wärmebehandlung

ein zweites Halten auf einer zweiten Haltetemperatur (T2) im Bereich von 150 bis 250 °C während einer zweiten Haltezeit (h2) sowie

ein daran anschließendes, zweites beschleunigtes Abkühlen umfasst, wobei das zweite Halten mit anschlie-

ßendem zweiten beschleunigtem Abkühlen das erste Halten mehrmals unterbricht und dieses erste Halten dadurch in Halteabschnitte, jeweils auf einer ersten Haltetemperatur (T1) im Bereich von 60 bis 140 °C und während einem ersten Haltezeitabschnitt (h1a, h1b, h1c, h1d, h1 e), der länger als die zweite Haltezeit (h2) andauert, teilt.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die erste Haltetemperatur (T1) im Bereich von 80 bis 120 °C, insbesondere bei 90 bis 110 °C, liegt.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** die ersten Haltezeitabschnitte (h1a, h1b, h1c, h1d, h1e) kleiner gleich 12 Stunden sind, insbesondere im Bereich von 2 bis 8 Stunden, vorzugsweise im Bereich von 3 bis 6 Stunden, liegen.
4. Verfahren nach Anspruch 1, 2 oder 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** die zweite Haltetemperatur (T2) im Bereich von 170 bis 230 °C, insbesondere im Bereich von 190 bis 210 °C, liegt.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** die zweite Haltezeit (h2) des zweiten Haltens keiner gleich 15 Minuten ist.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** die zweite Haltezeit (h2) in Sekunden bei mittlerer Kristallkorngröße (KG) in Mikrometer und bei zweiter Haltetemperatur (T2) in Grad Celsius folgende Bedingungen erfüllt:

$$h2 \geq (A1 + B1 \cdot KG) \cdot \exp\left(-\frac{T2}{C1}\right) + (D1 + E1 \cdot KG)$$

$$h2 \leq (A2 + B2 \cdot KG) \cdot \exp\left(-\frac{T2}{C2}\right) + (D2 + E2 \cdot KG)$$

mit folgenden Parametern

A1= -26400, B1= 5000, C1= 22,00, D1= 1,25 und E1= 0,15  
A2= -125000, B2= 29700, C2= 20,75, D2= -0,55 und E2= 0,65

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** die ersten Haltetemperaturen (T1) über das gesamte erste Halten gleich sind und/oder die mehreren oder alle ersten Haltezeitabschnitte (h1a, h1b, h1c, h1d, h1e) gleich sind und/oder das mehrmalige zweite Halten auf einer zweiten Haltetemperatur (T2) während einer zweiten Haltezeit (h2) gleich ist.
8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** das erste und/oder zweite beschleunigte Abkühlen mit einer Abkühlrate von mindestens 20 C/s, insbesondere von mindestens 50 °C/s, vorzugsweise von mindestens 80 °C/s, erfolgt.
9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Aufheizen vom ersten Halten auf das zweite Halten mit einer Aufheizrate von mindestens 10 °C/s, insbesondere von mindestens 50 °C/s, erfolgt.
10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Aluminiumlegierung von 0,2 bis 1,5 Gew.-%, insbesondere von 0,2 bis 1,2 Gew.-%, Magnesium (Mg), von 0,2 bis 1,5 Gew.-% Silizium (Si), optional

bis 1,1	Gew.-%	Kupfer (Cu),
bis 0,7	Gew.-%	Eisen (Fe),
bis 1,0	Gew.-%	Mangan (Mn),
bis 0,35	Gew.-%	Chrom (Cr),
bis 0,25	Gew.-%	Zink (Zn),
bis 0,15	Gew.-%	Titan (Ti),

## EP 3 916 118 A1

(fortgesetzt)

bis 0,1	Gew.-%	Vanadium (V),
bis 0,2	Gew.-%	Zirkon (Zr),
bis 0,2	Gew.-%	Zinn (Sn),

und als Rest Aluminium sowie herstellungsbedingt unvermeidbare Verunreinigungen aufweist.

11. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Aluminiumlegierung vom Typ AA6005, AA6016, AA6061, AA6063 oder AA6082 ist.
12. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 11, **dadurch gekennzeichnet**, das Blech oder Band eine Dicke von kleiner 5 mm, insbesondere kleiner 3 mm, aufweist.
13. Blech oder Band aus einer, nach einem Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 12 ausgehärteten Aluminiumlegierung der 6xxx-Reihe, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Blech oder Band eine 0,2%-Dehngrenze ( $R_{p0,2}$ ) > 200 MPa und eine Bruchdehnung (A) von > 20 % aufweist.
14. Blech oder Band nach Anspruch 13, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Aluminiumlegierung eine Clusterdichte von mindestens  $2 \times 10^{24}$  Cluster/m<sup>3</sup> mit einem Guinier Radius > 1 nm und mit einem Median-Guinier Radius von > 1,3 nm aufweist.
15. Blech oder Band nach Anspruch 13 oder 14, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Breite der ausscheidungsfreien Zonen an den Korngrenzen zwischen 3 und 80 nm, insbesondere zwischen 5 und 50 nm, liegt.
16. Blech oder Band nach Anspruch 13, 14 oder 15, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Mg- und Si-haltigen Ausscheidungen, insbesondere vom Typ Mg<sub>2</sub>Si, an den Korngrenzen eine mittlere Größe von 30 bis 100 nm, insbesondere von 50 bis 70 nm, aufweisen.

Fig. 1

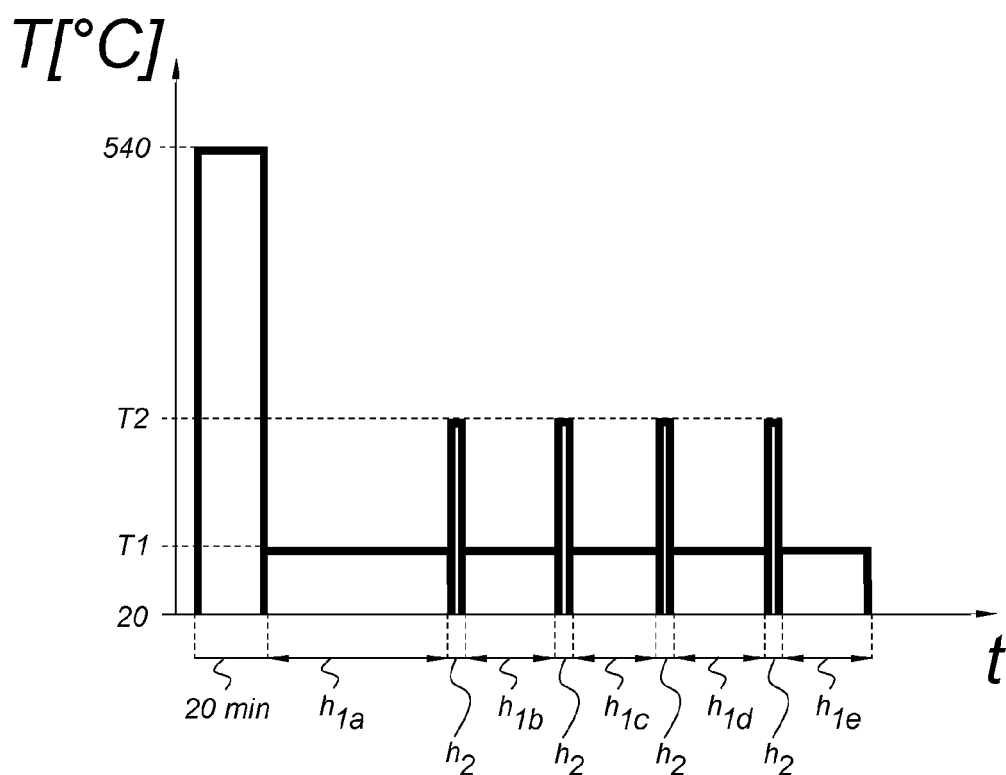
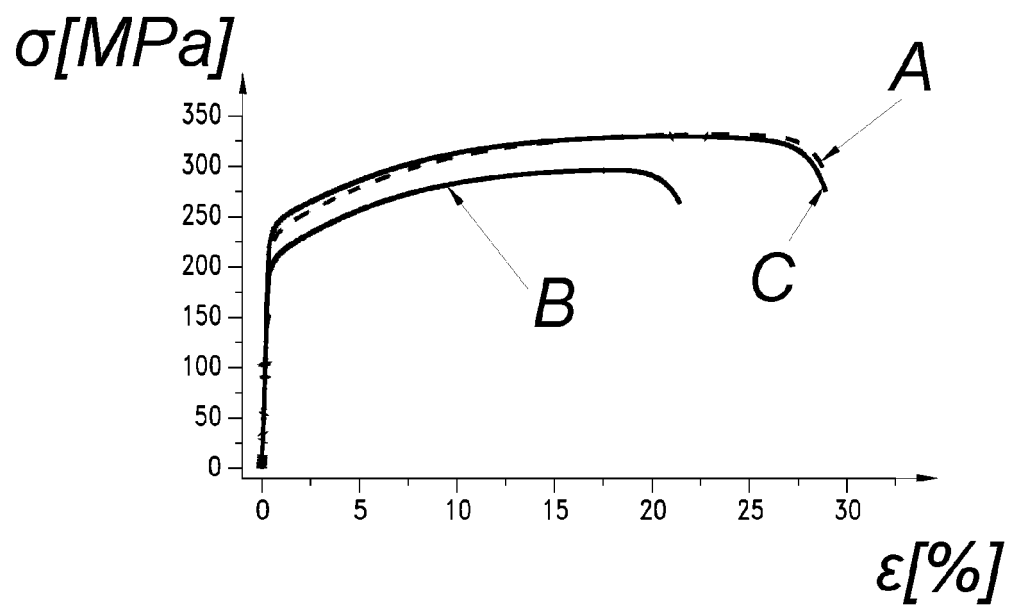


Fig. 2







## EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

 Nummer der Anmeldung  
EP 20 17 6943

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
X	G MRÓWKA-NOWOTNIK: "Influence of chemical composition variation and heat treatment on microstructure and mechanical properties of 6xxx alloys", ARCHIVES OF MATERIALS SCIENCE AND ENGINEERING, Bd. 46, Nr. 2, 2. Dezember 2010 (2010-12-02), Seiten 98-107, XP055726454, * Zusammenfassung * * Tabelle 5 *	13	INV. C22C21/04 C22C21/08 C22F1/05
X	JP 2011 038136 A (KOBE STEEL LTD) 24. Februar 2011 (2011-02-24) * Zusammenfassung * * Beispiel 1; Tabelle 1 * * Beispiel 1; Tabelle 3 *	13,14	
X	JP 2013 060627 A (KOBE STEEL LTD) 4. April 2013 (2013-04-04) * Zusammenfassung * * Beispiel 13; Tabelle 1 * * Beispiel 28; Tabelle 3 *	13,14	
A	US 2017/044650 A1 (HARRISON NIA R [US] ET AL) 16. Februar 2017 (2017-02-16) * Zusammenfassung *	1-16	
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC) C22C C22F
Recherchenort <b>Den Haag</b>		Abschlußdatum der Recherche <b>1. September 2020</b>	Prüfer <b>Rosciano, Fabio</b>
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : mündliche Offenbarung P : Zwischenliteratur		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	

EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)

**ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT  
 ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR.**

EP 20 17 6943

5 In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patentdokumente angegeben.  
 Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am  
 Diese Angaben dienen nur zur Unterrichtung und erfolgen ohne Gewähr.

01-09-2020

10	Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
	JP 2011038136 A	24-02-2011	JP 5432631 B2 JP 2011038136 A	05-03-2014 24-02-2011
15	JP 2013060627 A	04-04-2013	CN 102994819 A JP 5985165 B2 JP 2013060627 A KR 20130029023 A	27-03-2013 06-09-2016 04-04-2013 21-03-2013
20	US 2017044650 A1	16-02-2017	CN 106435415 A DE 102016113599 A1 US 2017044650 A1	22-02-2017 16-02-2017 16-02-2017
25				
30				
35				
40				
45				
50				
55				

EPO FORM P0461

Für nähere Einzelheiten zu diesem Anhang : siehe Amtsblatt des Europäischen Patentamts, Nr.12/82

**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 Nicht-Patentliteratur**

- **KEN TAKATA et al.** Improvement of Strength-Elongation Balance of Al-Mg-Si Sheet Alloy by Utilising Mg-Si Cluster and Its Proposed Mechanism. *Materials Transactions*, 2017 [0002]