

(19)



(11)

EP 2 631 317 A1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:
28.08.2013 Patentblatt 2013/35

(51) Int Cl.:
C22F 1/04 (2006.01)
C22F 1/05 (2006.01)
C22F 1/047 (2006.01)
C22F 1/053 (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **12156623.6**

(22) Anmeldetag: **23.02.2012**

(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

(71) Anmelder: **AMAG rolling GmbH**
5282 Braunau am Inn-Ranshofen (AT)

(72) Erfinder:
• **Pogatscher, Stefan**
8793 Gai (AT)

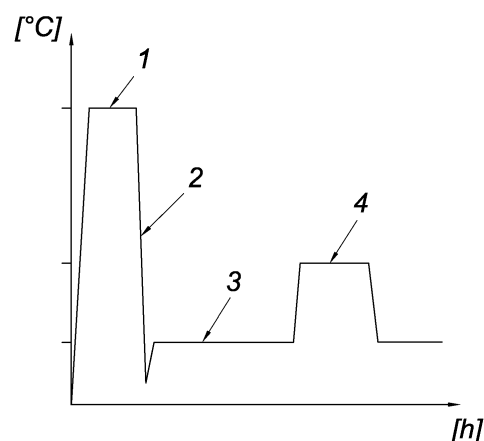
- **Werinos, Marion**
8273 Ebersdorf (AT)
- **Antrekowitsch, Helmut**
8700 Leoben (AT)
- **Uggowitz, Peter J.**
8913 Ottenbach (CH)
- **Ebner, Thomas**
5280 Braunau am Inn (AT)
- **Melzer, Carsten**
5122 Weng/Überackern (AT)

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

(54) **Aushärtbare Aluminiumlegierung sowie Verfahren zur Verbesserung der Warmaushärtungsfähigkeit**

(57) Es wird eine Aluminiumlegierung und ein Verfahren zur Verbesserung der Warmaushärtungsfähigkeit eines Halbzeugs oder Endprodukts, aufweisend eine aushärtbare Aluminiumlegierung auf Al-Mg-Si-, Al-Zn-, Al-Zn-Mg- oder Al-Si-Mg-Basis, gezeigt, bei dem die Aluminiumlegierung in einen Zustand fester Lösung, insbesondere durch Lösungsglühen (1), übergeführt wird, abgeschreckt wird und darauffolgend Ausscheidungen durch eine Kaltaushärtung (3) ausbildet, wobei das Verfahren mindestens eine Maßnahme zur Reduktion eines negativen Effekts der Kaltaushärtung (3) der Aluminium-

legierung auf ihre Warmaushärtung (4) umfasst. Um vorteilhafte Verfahrensverhältnisse zu schaffen, wird vorgeschlagen, dass eine Maßnahme zur Reduktion des negativen Effekts eine Zugabe wenigstens eines in Korrelation mit eingeschreckten Leerstellen tretbaren Legierungselements zur festen Lösung der Aluminiumlegierung umfasst, wodurch sich die Anzahl an am Beginn einer Warmaushärtung (4) mit Ausscheidungen unkorrelierten Leerstellen erhöht, um den negativen Effekt einer Kaltaushärtung (3) der Aluminiumlegierung auf ihre weitere Warmaushärtung (4) durch Mobilisierung dieser unkorrelierten Leerstellen zu reduzieren.

FIG.1**EP 2 631 317 A1**

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine Aluminiumlegierung und ein Verfahren zur Verbesserung der Warmaushärtungsfähigkeit eines Halbzeugs oder Endprodukts, aufweisend eine aushärtbare Aluminiumlegierung auf Al-Mg-Si-, Al-Zn-, Al-Zn-Mg- oder Al-Si-Mg-Basis, bei dem die Aluminiumlegierung in einen Zustand fester Lösung, insbesondere durch Lösungsglühen, übergeführt wird, abgeschreckt wird und darauffolgend Ausscheidungen durch eine Kaltaushärtung ausbildet, wobei das Verfahren mindestens eine Maßnahme zur Reduktion eines negativen Effekts der Kaltaushärtung der Aluminiumlegierung auf ihre Warmaushärtung umfasst.

[0002] Um bei aushärtbaren Aluminiumlegierungen auf Al-Mg-Si-Basis, zum Beispiel der 6xxx-Reihe, den negativen Effekt einer Kaltaushärtung auf eine später durchgeführte Warmaushärtung zu reduzieren, sind verschiedenste Maßnahmen zur Temperaturbehandlung der Aluminiumlegierungen bekannt. Darunter einzuordnen sind beispielsweise eine Stufenabschreckung, ein Stabilisierungsglühen oder auch ein Rückglühen (vgl. Friedrich Ostermann: Anwendungstechnik Aluminium, 2., neu bearbeitete und aktualisierte Auflage, Springer Berlin Heidelberg New York, Seite 152 bis 153, ISBN 978-3-540-71196-4). Derartige Maßnahmen zur Verbesserung der Warmaushärtungsfähigkeit verursachen einen vergleichsweise hohen Verfahrensaufwand, zudem sind sie verhältnismäßig kostenintensiv und unter Umständen auch produktionstechnisch problematisch, wodurch eine Reproduzierbarkeit bzw. eine Einheitlichkeit der Eigenschaften des Produkts schwer erreicht werden können. Gefordert sind hier jedoch insbesondere einheitliche Eigenschaften der Aluminiumlegierung - diese dürfen sich durch Lagerung - zumindest nicht durch begrenzte - bzw. durch die damit verbundene Kaltaushärtung der Aluminiumlegierungen nicht verändern.

[0003] Außerdem ist bei einer AA6013-Aluminiumlegierung bekannt (vgl. Benedikt Klobes: Strukturelle Umordnungen in Aluminiumlegierungen: Ein komplementärer Ansatz aus der Perspektive von Leerstellen und Fremdatomen, Bonn 2010, Erscheinungsjahr 2010, Seiten 104 und 105), einen negativen Effekt einer Kaltaushärtung auf eine darauffolgende Warmaushärtung darauf zurückzuführen, dass die zur Bildung von β'' notwendigen Fremdatome erst durch Auflösung von Ausscheidungen bereitgestellt werden. Diese Ausscheidungen sind alle mit Leerstellen korreliert bzw. sind die Leerstellen in dem Bereich der Ausscheidungen angelagert. Im Gegensatz zur AA6013-Aluminiumlegierung zeigen sich bei anderen 6xxx-Legierungen, die keinen negativen Effekt einer Kaltaushärtung auf ihre Warmaushärtung haben, zu Beginn der Warmaushärtung größere Ausscheidungen und kleiner Agglomerate, aus denen Fremdatome für β'' gewonnen werden können. Der Einfluss einer Kaltaushärtung auf das Warmaushärtungsverfahren von Al-Mg-Si-Legierungen wird hier primär als Auswirkung des Legierungsgehalts verstand-

en.

[0004] Für aushärtbare Aluminiumlegierungen auf Al-Cu-Basis, zum Beispiel für 2xxx-Legierungen, ist es bekannt (vgl. Benedikt Klobes: Strukturelle Umordnungen in Aluminiumlegierungen: Ein komplementärer Ansatz aus der Perspektive von Leerstellen und Fremdatomen, Bonn 2010, Erscheinungsjahr 2010, Seiten 79 und 81), Gold (Au) der 2xxx-Aluminiumlegierungen zuzufügen, um damit deren Kaltaushärtung zu verringern, indem Gold diese Leerstellen einfängt. Derselbe Effekt ist auch bei einer Zugabe von Zinn (Sn) bekannt. Somit kann ein Verfahren zur Kaltaushärtung optimiert werden, allerdings weisen 2xxx-Legierungen bekanntermaßen keine negativen Effekte einer Kaltaushärtung auf eine nachfolgende Warmaushärtung auf.

[0005] Die DE69311089T2 offenbart für pressumformbare Bleche eine aushärtbare Sihaltige Al-Cu-Mg-Aluminiumlegierung. Um eine nachteilige natürliche Alterung bzw. eine säkulare Änderung der Festigkeit vor dem Pressumformen des Blechs zur vermindern, schlägt die DE69311089T2 unter anderem die Verwendung von Zinn (Sn)-, Indium (In)- und Cadmium (Cd)-Legierungselementen vor. Diese Elemente sollen sich nämlich an eingeschreckte Leerstellen binden, um die Zahl an Leerstellen, die als GPB-zonenbildenden Stellen der Al-Cu-Mg Verbindung dienen, zu verringern. Außerdem wird die Zugabe von Silizium beschrieben, um neben der Verzögerung der natürlichen Alterung auch noch eine Verbesserung der Härbarkeit der Aluminiumlegierung zu erreichen. DE69311089T2 beschäftigt sich nicht mit den nachteiligen Effekten einer Kaltaushärtung auf eine darauffolgende Warmaushärtung einer Aluminiumlegierung.

[0006] Es ist daher Aufgabe der Erfindung, ein Verfahren der eingangs geschilderten Art derart zu verbessern, dass dadurch selbst, wenn eine Lagerung des Halbzeugs oder des Endprodukts, aufweisend eine aushärtbare Aluminiumlegierung, in Kauf genommen wird, dessen Warmaushärtungsfähigkeit nicht darunter leidet.

[0007] Die Erfindung löst die gestellte Aufgabe hinsichtlich des Verfahrens dadurch, dass eine Maßnahme zur Reduktion des negativen Effekts eine Zugabe wenigstens eines in Korrelation mit eingeschreckten Leerstellen tretbaren Legierungselements zur Aluminiumlegierung umfasst, wodurch sich die Anzahl an am Beginn einer Warmaushärtung mit Ausscheidungen unkorrelierten Leerstellen erhöht, um den negativen Effekt einer Kaltaushärtung der Aluminiumlegierung auf ihre weitere Warmaushärtung durch Mobilisierung dieser unkorrelierten Leerstellen zu reduzieren.

[0008] Umfasst eine Maßnahme zur Reduktion des negativen Effekts eine Zugabe wenigstens eines in Korrelation mit eingeschreckten Leerstellen tretbaren, insbesondere tretenden, Legierungselements zur Aluminiumlegierung, wodurch sich die Anzahl an am Beginn einer Warmaushärtung mit Ausscheidungen unkorrelierten Leerstellen erhöht, kann eine Aluminiumlegierung geschaffen werden, die eine von Kaltausscheidungen nicht

oder zumindest in geringerem Ausmaß beeinträchtigte Mobilisierung von Leerstellen im Kristallgitter ermöglicht. Dies kann zur Reduktion des negativen Effekts einer Kaltaushärtung der Aluminiumlegierung auf ihre weitere Warmaushärtung erfindungsgemäß genutzt werden, indem diese unkorrelierten Leerstellen mobilisiert werden. Ergänzend kann angemerkt werden, dass als mit Ausscheidungen unkorrelierte Leerstellen jene Leerstellen verstanden werden können, die beispielsweise nicht mit Ausscheidungen verbunden, aufgenommen und/oder von diesen auf andere Weise im Wesentlichen in ihrer Mobilität und/oder Mobilisierbarkeit beeinflusst sind. Im Gegensatz zum Stand der Technik ist es somit nicht mehr erforderlich, auch jene Leerstellen heranzuziehen, deren Mobilität bei einer Warmaushärtung aufgrund einer Korrelation mit Kaltausscheidungen erheblich behindert wird. Somit können die negativen Auswirkungen der als Leerstellengefängnisse agierenden Kaltausscheidungen wenigstens zu Beginn der Warmauslagerung vermindert bzw. eventuell auch gänzlich verhindert werden, wodurch trotz Zwischenlagerung der Aluminiumlegierung eine hinsichtlich Aushärtbarkeit und auch Aushärtungskinetik unbeeinträchtigte Warmauslagerung sichergestellt werden kann. Die von Aluminiumlegierungen auf Al-Mg-Si-, Al-Zn-, Al-Zn-Mg- oder Al-Si-Mg-Basis, insbesondere von 6xxx-Legierungen, bekannte Warmaushärtungsfähigkeit kann daher selbst dann erreicht werden, wenn nicht unmittelbar nach dem Abschrecken der Aluminiumlegierung mit dem Warmauslagern begonnen wird. Außerdem ist die Zugabe des leerstellenaktiven Legierungselements bzw. der leerstellenaktiven Legierungselemente verfahrenstechnisch einfach zu lösen bzw. auch handhabbar, indem diese beispielsweise zur festen Lösung der Aluminiumlegierung zugegeben werden. Auf aufwendige Wärmebehandlungsverfahren, wie diese aus dem Stand der Technik bekannt sind, kann somit verzichtet werden, was nicht zuletzt zu einem erheblichen Kostenvorteil führen kann. Im Allgemeinen ist zu erwähnen, dass unter Halbzeug oder Endprodukt Bleche, Platten, Gussteile etc. verstanden werden kann. Außerdem zeigen sich durch dieses Verfahren auch Vorteile hinsichtlich einer reduzierten Abschreckempfindlichkeit von der Lösungsglühtemperatur, eine Erhöhung der mechanischen Eigenschaften (z.B. Bruchzähigkeit), eine verbesserte Korrosionsbeständigkeit und eine mögliche Verlängerung der Lagerzeit bei Raumtemperatur. Der Gehalt dieses leerstellenaktiven Legierungselements bzw. dieser leerstellenaktiven Legierungselemente ist vorzugsweise auf ein geringes Maß zu beschränken, um damit nicht aufgrund anderer sich eventuell bildender Ausscheidungsstrukturen die Re-Mobilisierbarkeit der Leerstellen zu beeinträchtigen.

[0009] Im Allgemeinen und/oder der Vollständigkeit halber wird erwähnt, dass

- es sich bei einer Aluminiumlegierung auf Al-Mg-Si-Basis um eine Knetlegierung der 6xxx-Reihe, das heißt mit Magnesium und Silizium als Hauptlegie-

rungselementen, handeln kann.

- auch eine Al-Mg-Si(Cu)-Knet- oder Gusslegierung zu einer Aluminiumlegierung auf Al-Mg-Si-Basis gezählt werden kann.
- 5 - es sich bei einer Aluminiumlegierung auf Al-Si-Mg-Basis um eine Gusslegierung der 4xxx-Legierungsreihe (EN AC-4xxx) handeln kann.
- auch eine Al-Si-Mg(Cu) Knet- oder Gusslegierung zu einer Aluminiumlegierung auf Al-Si-Mg-Basis gezählt werden kann.
- 10 - es sich bei einer Aluminiumlegierung auf Al-Zn-Basis oder Al-Zn-Mg-Basis um eine Knetlegierung der 7xxx Legierungsreihe, d. h. mit Zink als Hauptlegierungselement, oder auch um eine Gusslegierung der 7xxx Reihe (EN AC-7xxx), d. h. mit Zink als Hauptlegierungselement, handeln kann.
- 15 - auch eine Al-Zn-Mg(Cu) Knet- oder Gusslegierung zu einer Aluminiumlegierung auf Al-Zn-Mg-Basis gezählt werden kann.
- 20 - durchaus eine Aluminiumlegierung auf Al-Mg-Si-, Al-Zn-, Al-Zn-Mg- oder Al-Si-Mg-Basis für eine Knet- und/oder Gusslegierung Verwendung finden kann, wobei dabei auch Verbundwerkstoffe, die durch Teilchen oder Fasermaterial verstärkt sind, nicht ausgeschlossen werden.
- 25

[0010] Wird bei der Aluminiumlegierung auf Al-Mg-Si- oder Al-Si-Mg-Basis die Anzahl der mit Mg/Si Co-Clustern unkorrelierten Leerstellen erhöht, kann die erhebliche Einschränkung der Mobilität der Leerstellen im Kristallgitter, die diese Cluster auf die Leerstellen ausüben können, vermindert werden. Zusätzlich kann erfindungsgemäß auch die Kaltaushärtung der Aluminiumlegierung behindert werden, was sich insbesondere vorteilhaft bei einer Aluminiumlegierung der 6xxx-Knetlegierungsreihe oder 4xxx-Gusslegierungsreihe genutzt werden kann.

[0011] Besonders vorteilhafte Verfahrensverhältnisse können sich ergeben, wenn das zugegebene Legierungselement einen Anteil von 500 Atom-ppm, in der Aluminiumlegierung ausmacht. Als ausreichend konnte beispielsweise bereits eine Zugabe von unter 200 Atom-ppm festgestellt werden.

[0012] Als zusätzliches Legierungselement bzw. als zusätzliche Legierungselemente kann/können sich Sn, Cd, Sb und/oder In für das Verfahren zur Verbesserung der Warmaushärtungsfähigkeit eines Halbzeugs oder Endprodukts auszeichnen. Es sind jedoch durchaus auch andere Legierungselemente vorstellbar, die mit Leerstellen während der Zwischenlagerung des Halbzeugs oder Endprodukts in Korrelation treten und bei einer Warmauslagerung bzw. Warmaushärtung diese Leerstellen freigeben und zu deren schnellen Re-Mobilisierung beitragen können.

[0013] Als besonders vorteilhaft kann sich herausstellen, wenn wenigstens ein in Korrelation mit eingeschreckten Leerstellen einer Aluminiumlegierung tretbaren, insbesondere tretendes, Legierungselement, insbesondere Sn, Cd, Sb und/oder In, als Zusatz zu einer aus-

härmbaren Aluminiumlegierung, insbesondere auf Al-Mg-Si-, Al-Zn-, Al-Zn-Mg- oder Al-Si-Mg-Basis, zur Erhöhung der Anzahl an am Beginn einer Warmaushärtung mit Ausscheidungen unkorrelierten Leerstellen verwendet wird, um den negativen Effekt einer Kaltaushärtung der Aluminiumlegierung auf ihre weitere Warmaushärtung durch Mobilisierung dieser unkorrelierten Leerstellen zu reduzieren. Insbesondere konnte sich bei dieser 6xxx- oder 7xxx-Aluminiumlegierung eine Verwendung von Sn, Cd, Sb und/oder In, als Zusatz auszeichnen. Die durch solch eine Verwendung erreichte Kombination an Legierungselementen zeigt neben Effekten der Reduktion der Kaltaushärtung, beispielsweise durch ein Zwischenlagern verursacht, bei einer Warmaushärtung überraschend vorteilhafte Eigenschaften hinsichtlich Aushärtbarkeit und Aushärtungskinetik, insbesondere wenn damit die Mobilität der Leerstellen im Kristallgitter verringert wird. Gegenüber 6xxx- und/oder 7xxx-Aluminiumknetlegierungen bzw. 4xxx-, 7xxx-Aluminiumgusslegierungen ohne Gehalt des erfindungsgemäßen Legierungselements bzw. der erfindungsgemäßen Legierungselemente konnten ein deutlicher Zuwachs in einer erreichbaren Härte kombiniert mit einer erheblichen Reduktion der Aushärtungszeit festgestellt werden, was im Wesentlichen auf eine leichtere Re-Mobilisierbarkeit von Leerstellen im Kristallgitter zurückgeführt werden kann.

[0014] Außerdem kann sich als vorteilhaft herausstellen, wenn wenigstens ein in Korrelation mit eingeschreckten Leerstellen einer Aluminiumlegierung tretbaren, insbesondere deren Mobilität im Kristallgitter verringerbaren, Legierungselement, insbesondere Sn, Cd, Sb und/oder In, als Zusatz zu einer aushärtbaren Aluminiumlegierung zur Verringerung der Annihilation von Leerstellen bei einer Warmaushärtung verwendet wird. Dies kann gerade bei Aluminiumlegierungen auf Al-Mg-Si-, Al-Zn-, Al-Zn-Mg- oder Al-Si-Mg-Basis von Vorteil sein. Dadurch kann die Verweildauer der Leerstellen im Kristallgitter deutlich erhöht und dennoch eine derart hohe Mobilität sichergestellt werden, dass eine schnelle Warmaushärtung der Aluminiumlegierung eintritt. Eine Annihilation der Leerstellen durch ein Zunichtemachen etwa in Senken und/oder an Phasengrenzen kann damit deutlich verringert werden, auch wenn vergleichsweise hohe Temperaturen bei einer Warmaushärtung vorherrschen, was bei einer wenigstens zeitweisen Anwendung eines Temperaturbereichs von 200 bis 300 Grad Celsius der Fall sein kann. Überraschend kann damit auch ermöglicht werden, dass die Warmaushärtung der Aluminiumlegierung - und zwar auch ohne vorhergehender Kaltaushärtung - verbesserte Verfahrensparameter zeigt, indem sich beispielsweise ein vorteilhaftes Ansprechen der Aluminiumlegierung im Zuge der Warmaushärtung und auch erhöhte Härtewerte zeigen.

[0015] Wird bei der Aluminiumlegierung auf Al-Mg-Si- oder Al-Si-Mg-Basis die Anzahl an am Beginn einer Warmaushärtung mit Mg/Si Co-Cluster unkorrelierten Leerstellen erhöht, kann erreicht werden, dass die als Leerstellengefängnisse wirkenden Mg/Si Co-Cluster keinen

negativen Einfluss mehr auf die Warmaushärtungsfähigkeit der Aluminiumlegierung nehmen können. Somit kann eine vorhergehende Kaltaushärtung die Keimbildung der β'' Phase nicht mehr erschweren. Dies kann insbesondere für 6xxx-Knetlegierungen, die bei der Warmaushärtung einen negativen Effekt aufgrund einer vorhergehenden Kaltaushärtung aufweisen, genutzt werden. Auch für Gusslegierungen kann dieser technische Effekt genutzt werden, insbesondere bei einer 4xxx-Aluminiumgusslegierung.

[0016] Weist die verwendete Menge des Legierungselements in der Aluminiumlegierung einen Gehalt unter 500 Atom-ppm, vorzugsweise unter 200 Atom-ppm, auf, kann aufgrund der niedrigen Konzentration, nahezu der einem Spurenelement entsprechend, mit vernachlässigbaren Einflüssen auf die strukturellen Eigenschaften der damit behandelten Aluminiumlegierung gerechnet werden. Bekannte Erkenntnisse - insbesondere hinsichtlich der Materialeigenschaften - zu dieser Aluminiumlegierung sind daher ohne Einschränkungen weiter anwendbar, was die Erfindung besonders auszeichnen kann.

[0017] Die Erfindung hat sich weiter die Aufgabe gestellt, eine aushärtbare Aluminiumlegierung auf Al-Mg-Si-, Al-Zn-, Al-Zn-Mg- oder Al-Si-Mg-Basis derart zu verbessern, dass diese Aluminiumlegierung keiner besonderen Handhabung vor einer abschließenden Warmaushärtung bedarf und somit unter anderem auch kostengünstig ist.

[0018] Die Erfindung löste die gestellte Aufgabe hinsichtlich der Aluminiumlegierung dadurch, dass die Aluminiumlegierung zu seinem Hauptlegierungselement bzw. zu seinen Hauptlegierungselementen mindestens ein mit eingeschreckten Leerstellen der Aluminiumlegierung korrelierbares, insbesondere deren Mobilität im Kristallgitter verringerbare, Legierungselement mit einem derartigen Gehalt in Atom-ppm aufweist, dass die Aluminiumlegierung im Wesentlichen mit Ausscheidungen unkorrelierte Leerstellen ausbildet, um den negativen Effekt einer Kaltaushärtung der Aluminiumlegierung auf deren weitere Warmaushärtung durch Mobilisierung dieser unkorrelierten Leerstellen zu reduzieren.

[0019] Weist die Aluminiumlegierung zu seinem Hauptlegierungselement bzw. zu seinen Hauptlegierungselementen mindestens ein mit eingeschreckten Leerstellen der Aluminiumlegierung korrelierbares, insbesondere deren Mobilität im Kristallgitter verringerbare, Legierungselement mit einem derartigen Gehalt in Atom-ppm auf, dass die Aluminiumlegierung im Wesentlichen mit Ausscheidungen unkorrelierte Leerstellen ausbildet, kann diese Aluminiumlegierung zunächst gegenüber einer unerwünschten Kaltaushärtung beständiger bzw. hinsichtlich Anforderungen seiner Lagebeständigkeit verbessert werden. Halbzeug oder Endprodukt solch einer Aluminiumlegierung können dadurch also eine Lagerzeitverlängerung bei Raumtemperatur (RT) erfahren. Kommt nun jedoch dazu, dass diese Legierung auch auf eine Warmaushärtung besonders anspricht, indem durch Mobilisierung dieser unkorrelierten Leerstellen ein

negativer Effekt einer Kaltaushärtung der Aluminiumlegierung auf ihre weitere Warmaushärtung reduziert wird, können damit auch die mechanischen Eigenschaften, insbesondere die Härte, verbessert, sowie eine verbesserte Korrosionsbeständigkeit für Halbzeug oder Endprodukt mit solch einer Aluminiumlegierung geschaffen werden. Unter Halbzeug oder Endprodukt können, Bleche, Platten, Gussteile etc. subsumiert werden. Die erfindungsgemäße Aluminiumlegierung bedarf daher keiner besonderen Handhabung und/oder keines besonderen Verfahrensaufwands vor einer abschließenden Warmaushärtung und ist trotzdem kostengünstig in der Herstellung.

[0020] Weist eine Aluminiumlegierung auf Al-Mg-Si- oder Al-Si-Mg-Basis in Abhängigkeit einer Warmaushärtung im Wesentlichen mit Mg/Si Co-Cluster unkorrelierte Leerstellen auf, kann der negative Effekt einer Kaltaushärtung vermindert werden.

[0021] Die Legierung kann sich insbesondere für ein Warmaushärten eignen, wenn diese als Legierungselement bzw. als Legierungselemente Sn, Cd, Sb und/oder In aufweist.

[0022] Liegt die Konzentration der zusätzlichen Legierungselemente in einer Größenordnung von Spurenelementen, indem das Legierungselement in der die Aluminiumlegierung einen Gehalt unter 500 Atom-ppm, vorzugsweise unter 200 Atom-ppm, aufweist, kann der Einfluss auf das Kristallgitter der Aluminiumlegierung vernachlässigt werden.

[0023] Eine derartige Aluminiumlegierung kann insbesondere für ein Halbzeug oder Endprodukt Verwendung finden, beispielsweise für Bleche, Platten, Profile, Gussteile, Bauteile, Bauelemente (wie Konstruktionsprofile), Bausteine etc.

[0024] In den Figuren ist beispielsweise der Erfindungsgegenstand anhand eines Ausführungsbeispiels dargestellt. Es zeigen

- Fig. 1 eine Wärmebehandlung einer 6xxx-Aluminiumlegierung,
- Fig. 2 eine Darstellung zu Härteveränderungen von 6xxx-Aluminiumlegierungen durch Kaltaushärten,
- Fig. 3 eine Darstellung zu Härteveränderungen durch Warmaushärtung, die der Kaltaushärtungen nach Fig. 2 anschließen und
- Fig. 4 eine Darstellung zu Härteveränderungen von 6xxx-Aluminiumlegierungen bei Warmaushärtungen bei hohen Temperaturen.

[0025] Nach Fig. 1 wird beispielsweise ein herkömmliches thermisches Behandlungsverfahren zur Ausscheidungsbildung bei einer Aluminiumlegierung dargestellt. Die Aluminiumlegierung wird zunächst in einen Zustand fester Lösung gebracht. Zu diesem Zweck wird als Lösungsbehandlung ein Lösungsglühen 1 bei hoher Temperatur im Phasengebiet des homogenen Mischkristalls durchgeführt. Danach erfolgt eine rasche Abkühlung mit

Hilfe eines Abschreckens 2 der Aluminiumlegierung, wodurch der Mischkristall und die thermischen Leerstellen eingefroren bzw. eingeschreckt werden. Durch eine Kaltaushärtung 3, beispielsweise eine natürliche Alterung durch Kaltauslagerung bei Raumtemperatur, beginnt die Ausscheidungssequenz, also die Bildung von Ausscheidungen in der Aluminiumlegierung. Nach der Kaltauslagerung 3 wird die Aluminiumlegierung einer Warmaushärtung 4, beispielsweise einer künstlichen Alterung durch eine Warmauslagerung unterworfen. Das nach Fig. 1 dargestellte thermische Behandlungsverfahren bzw. Ausscheidungshärten umfasst keine Maßnahmen zur Reduktion eines negativen Effekts einer Kaltaushärtung 3 der Aluminiumlegierung auf deren Warmaushärtung 4.

[0026] Nach der Fig. 3 ist somit zu erkennen, dass die durch eine Warmaushärtung mit Hilfe eines Warmauslagerns bei 170 Grad Celsius erreichbare Härte einer hier dargestellten AA6061-Legierung 5 auf Al-Mg-Si-Basis in Relation zur Warmaushärtungszeit vergleichsweise flach ansteigt, was im Zusammenhang mit Härteprüfungen nach Brinell HBW 2,5/62,5 gezeigt ist. Vergleicht man diese Daten mit einer Wärmebehandlung derselben AA6061-Legierung 5, bei der eine Kaltaushärtung vermieden wurde und stattdessen an das Abschrecken 2 eine Warmaushärtung 4 unmittelbar anschließt, was in Fig. 3 nicht dargestellt ist, tritt eine Verzögerung in der Warmaushärtungskinetik sowie eine Verringerung der maximale Aushärtbarkeit der Legierung 5 auf. Ein negativer Effekt einer Kaltaushärtung 3 der Aluminiumlegierung 5 auf deren Warmaushärtung 4 muss nun in Kauf genommen werden.

[0027] Erfindungsgemäß wird dies im Allgemeinen dadurch vermieden, dass der festen Lösung wenigstens ein in Korrelation mit eingeschreckten Leerstellen tretendes Legierungselement zugegeben wird. Dieses besondere Legierungselement - bzw. deren Kombination - erhöht die Anzahl von am Beginn einer Warmaushärtung mit Ausscheidungen unkorrelierten Leerstellen, die bei einer Warmauslagerung schnell mobilisiert und so den negativen Effekt einer Kaltaushärtung 3 der Aluminiumlegierung auf die Warmaushärtung 4 reduziert.

[0028] Sn, Cd, Sb und/oder In sind als zusätzliches Legierungselement bzw. als zusätzliche Legierungselemente hierfür vorstellbar. Die Wirkung eines dieser leerstellenaktiven Spurenelemente, nämlich Zinn (Sn), als Zusatz zu einer AA 6061-Legierung ist in Fig. 3 mit Hilfe der Linie 6 dargestellt. Gegenüber der AA 6061 Legierung 5 ohne Sn ist eine deutliche Verbesserung der Warmaushärtung mit Hilfe eines Warmauslagerns bei 170 Grad Celsius zu erkennen, was im Zusammenhang mit Härteprüfungen nach Brinell HBW 2,5/62,5 gezeigt ist. Der negative Effekt der Kaltaushärtung 3 der Aluminiumlegierung 6 auf ihre Warmaushärtung 4 ist somit geringer, wenngleich überhaupt nicht vorhanden.

[0029] Außerdem ist der Fig. 2 zu entnehmen, dass die AA 6061 Legierung 6, die Sn zusätzlich aufweist, einer deutlich geringeren Kaltaushärtung 3 bei Raumtem-

peratur (RT) unterliegt, was auch hier durch eine Härteprüfung nach Brinell HBW 2,5/62,5 belegt wird. Als Gehalt dieses Legierungselements hat sich einer unter 500 Atom-ppm als ausreichend herausgestellt. Ein Gehalt unter 200 Atom-ppm ist durchaus vorstellbar.

[0030] Im Allgemeinen wird erwähnt, dass es vorteilhaft sein kann, wenn der Gehalt des Legierungselements Sn, Cd, Sb oder In bzw. deren Kombination in der Aluminiumlegierung in der Höhe der Leerstellenkonzentration der Aluminiumlegierung in seinem Zustand fester Lösung liegt.

[0031] Weiter wird im Allgemeinen erwähnt, dass unter Kaltaushärtung einer Aluminiumlegierung eine wenigstens teilweise Kaltaushärtung und damit nicht ausschließlich eine vollständige Kaltaushärtung verstanden werden kann.

[0032] Nach Fig. 4 wird ein weiterer Vorteil des Zusatzes des Legierungselements Sn, Cd, Sb oder In bzw. deren Kombination gezeigt. Hier wird die Veränderung der Härte einer AA 6061 Legierung 5 ohne Sn und einer AA 6061 Legierung 6 mit Sn (470 ppm) gezeigt, wenn diese Legierungen einer Warmaushärtung mit Hilfe einer Warmauslagerung bei 250 Grad Celsius unterworfen werden. Eindeutig ist hier die schnellere Reaktionszeit der Legierung 6 mit Sn sowie der höherer Grad an Härte zu erkennen, wobei auch hier bei der Fig. 4 eine Härteprüfung nach Brinell HBW 2,5/62,5 durchgeführt worden ist. Diese Vorteile der Legierung 6 können dadurch begründet werden, dass auch bei Anwendung eines Temperaturbereichs von 200 bis 300 Grad Celsius eine Annihilation der Leerstellen durch ein Verschwinden in Senken und/oder Phasengrenzen deutlich verringert wird. Die Leerstellen haben nämlich durch ihre Korrelation mit dem bzw. den erfindungsgemäßen Legierungselement bzw. Legierungselementen eine verminderte Mobilität im Kristallgitter, wodurch selbst höhere Temperaturen für eine Warmaushärtung vorteilhaft verwendet werden können. Erhebliche Vorteile können sich auch dadurch ergeben, indem die Aluminiumlegierung direkt nach einem Abschrecken, also ohne Kaltaushärtung, einer Warmaushärtung unterworfen wird. Hier konnte beispielsweise ein schnelleres Ansprechen der Aluminiumlegierung auf seine Aushärtung samt erhöhten Härtewerten festgestellt werden.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Verbesserung der Warmaushärtungsfähigkeit eines Halbzeugs oder Endprodukts, aufweisend eine aushärtbare Aluminiumlegierung auf Al-Mg-Si-, Al-Zn-, Al-Zn-Mg- oder Al-Si-Mg-Basis, bei dem die Aluminiumlegierung in einen Zustand fester Lösung, insbesondere durch Lösungsglühen (1), übergeführt wird, abgeschreckt wird und darauf folgend Ausscheidungen durch eine Kaltaushärtung (3) ausbildet, wobei das Verfahren mindestens eine Maßnahme zur Reduktion eines negativen Effekts

der Kaltaushärtung (3) der Aluminiumlegierung auf ihre Warmaushärtung (4) umfasst, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine Maßnahme zur Reduktion des negativen Effekts eine Zugabe wenigstens eines in Korrelation mit eingeschreckten Leerstellen tretbaren Legierungselements zur Aluminiumlegierung umfasst, wodurch sich die Anzahl an am Beginn einer Warmaushärtung (4) mit Ausscheidungen unkorrelierten Leerstellen erhöht, um den negativen Effekt einer Kaltaushärtung (3) der Aluminiumlegierung auf ihre weitere Warmaushärtung (4) durch Mobilisierung dieser unkorrelierten Leerstellen zu reduzieren.

2. Verfahren, nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** bei der Aluminiumlegierung auf Al-Mg-Si- oder Al-Si-Mg-Basis die Anzahl der mit Mg/Si Co-Cluster unkorrelierten Leerstellen erhöht wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** das zugegebene Legierungselement einen Anteil von 500 Atom-ppm, vorzugsweise unter 200 Atom-ppm, in der Aluminiumlegierung ausmacht.

4. Verfahren nach Anspruch 1, 2 oder 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Aluminiumlegierung Sn, Cd, Sb und/oder In als zusätzliches Legierungselement bzw. als zusätzliche Legierungselemente zugegeben wird bzw. werden.

5. Verwendung wenigstens eines in Korrelation mit eingeschreckten Leerstellen einer Aluminiumlegierung tretbaren, insbesondere deren Mobilität im Kristallgitter verringerbaren, Legierungselements, insbesondere Sn, Cd, Sb und/oder In, als Zusatz zu einer aushärtbaren Aluminiumlegierung, insbesondere auf Al-Mg-Si-, Al-Zn-, Al-Zn-Mg- oder Al-Si-Mg-Basis, zur Erhöhung der Anzahl an am Beginn einer Warmaushärtung (4) mit Ausscheidungen unkorrelierten Leerstellen, um den negativen Effekt einer Kaltaushärtung (3) der Aluminiumlegierung auf ihre weitere Warmaushärtung (4) durch Mobilisierung dieser unkorrelierten Leerstellen zu reduzieren.

6. Verwendung wenigstens eines in Korrelation mit eingeschreckten Leerstellen einer Aluminiumlegierung tretbaren, insbesondere deren Mobilität im Kristallgitter verringerbaren, Legierungselements, insbesondere Sn, Cd, Sb und/oder In, als Zusatz zu einer aushärtbaren Aluminiumlegierung, insbesondere auf Al-Mg-Si-, Al-Zn-, Al-Zn-Mg- oder Al-Si-Mg-Basis, zur Verringerung der Annihilation von Leerstellen bei einer Warmaushärtung (4), insbesondere unter einer wenigstens zeitweisen Anwendung eines Temperaturbereichs von 200 bis 300 Grad Celsius.

7. Verwendung nach Anspruch 5 oder 6, **dadurch ge-**

kennzeichnet, dass bei der Aluminiumlegierung auf Al-Mg-Si- oder Al-Si-Mg-Basis die Anzahl an am Beginn einer Warmaushärtung (4) mit Mg/Si Co-Cluster unkorrelierten Leerstellen erhöht wird.

5

8. Verwendung nach Anspruch 5, 6 oder 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Legierungselement in der Aluminiumlegierung einen Gehalt unter 500 Atom-ppm, vorzugsweise unter 200 Atom-ppm, aufweist.

10

9. Aushärtbare Aluminiumlegierung auf Al-Mg-Si-, Al-Zn-, Al-Zn-Mg- oder Al-Si-Mg-Basis, wobei die Aluminiumlegierung durch eine Kaltaushärtung bedingte Ausscheidungen aufweist, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Aluminiumlegierung zu seinem Hauptlegierungselement bzw. zu seinen Hauptlegierungselementen mindestens ein mit eingeschreckten Leerstellen der Aluminiumlegierung korrelierbares, insbesondere deren Mobilität im Kristallgitter verringerbbares, Legierungselement mit einem derartigen Gehalt in Atom-ppm aufweist, dass die Aluminiumlegierung im Wesentlichen mit diesen Ausscheidungen unkorrelierte Leerstellen ausbildet, um den negativen Effekt einer Kaltaushärtung (3) der Aluminiumlegierung auf ihre weitere Warmaushärtung (4) durch Mobilisierung dieser unkorrelierten Leerstellen zu reduzieren.

15

20

25

10. Aluminiumlegierung nach Anspruch 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Aluminiumlegierung auf Al-Mg-Si- oder Al-Si-Mg-Basis in Abhängigkeit einer Warmaushärtung im Wesentlichen mit Mg/Si Co-Cluster unkorrelierte Leerstellen aufweist.

30

35

11. Aluminiumlegierung nach Anspruch 9 oder 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Aluminiumlegierung als Legierungselement bzw. als Legierungselemente Sn, Cd, Sb und/oder In aufweist.

40

12. Aluminiumlegierung nach Anspruch 9, 10 oder 11, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Legierungselement in der Aluminiumlegierung einen Gehalt unter 500 Atom-ppm, vorzugsweise unter 200 Atom-ppm, aufweist.

45

13. Halbzeug oder Endprodukt aufweisend eine aushärtbare Aluminiumlegierung nach einem der Ansprüche 9 bis 12.

50

55

FIG. 1

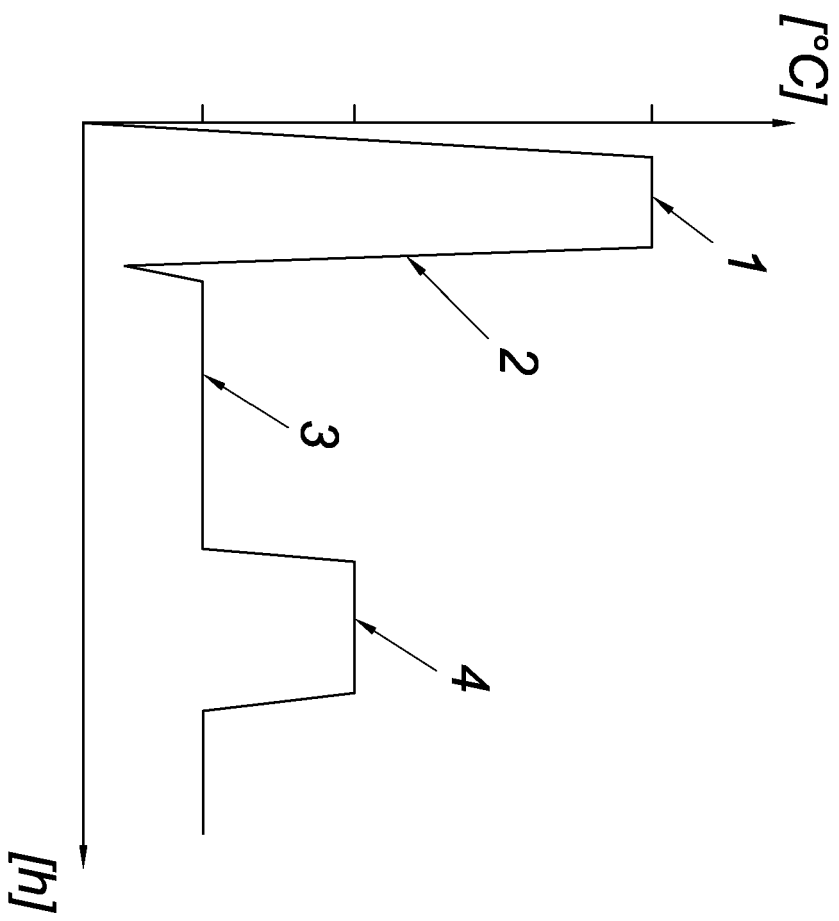


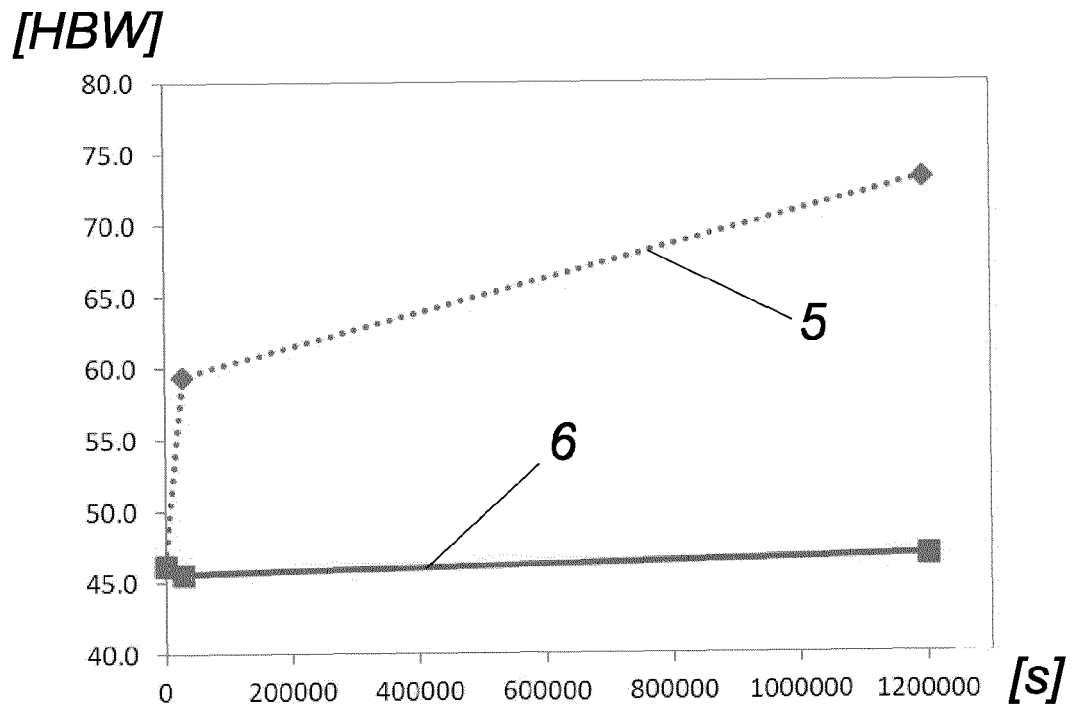
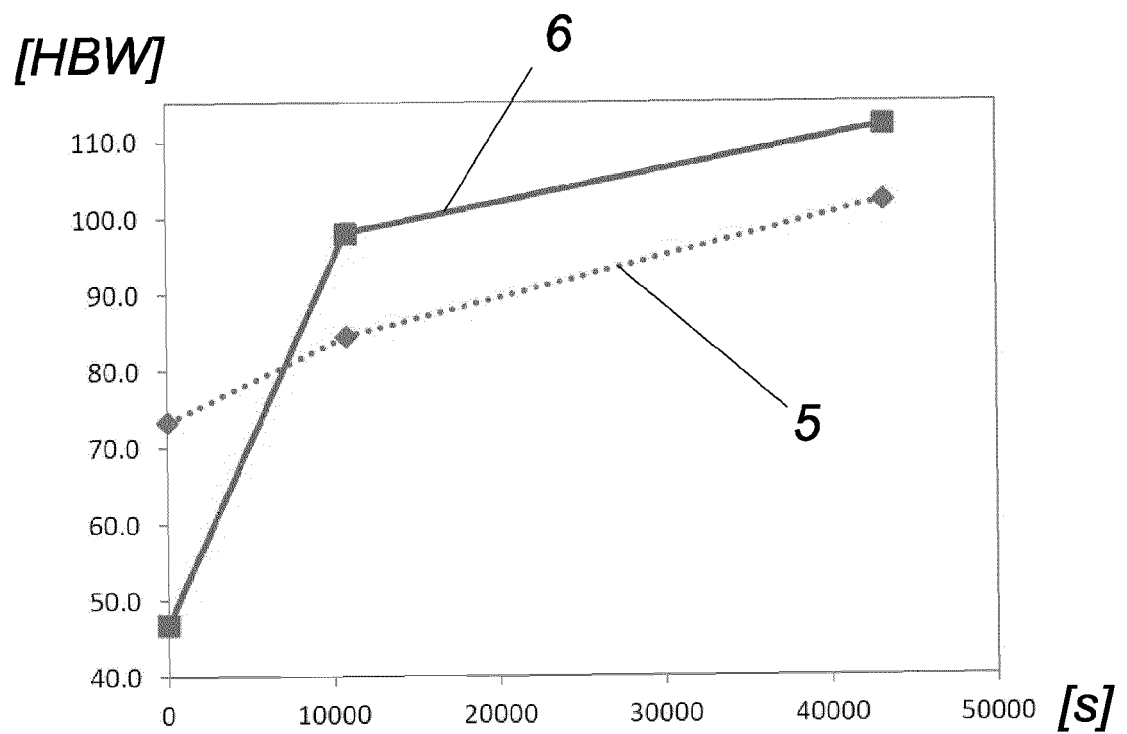
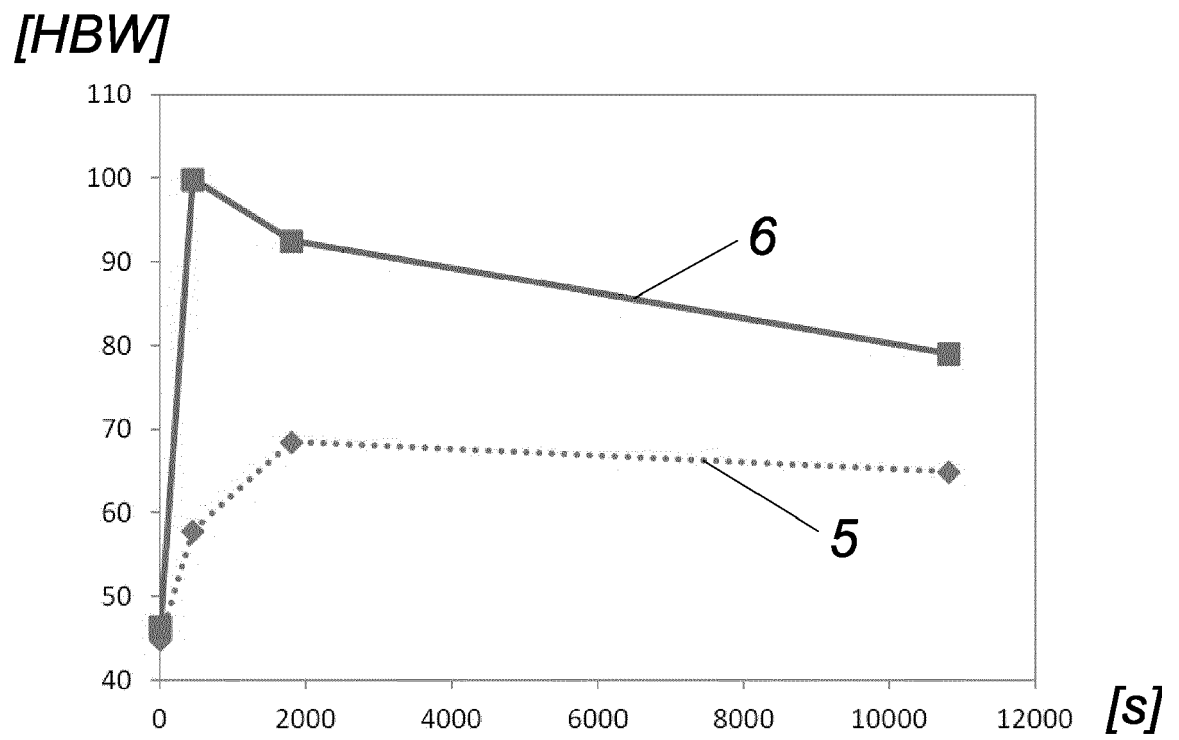
FIG.2**FIG.3**

FIG.4



EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung
EP 12 15 6623

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
X	STULIKOVA ET AL: "Influence of composition on natural ageing of Al-Mg-S", KOVOVE MATERIALY - METAL MATERIALS, Bd. 45, Nr. 2, 1. Januar 2007 (2007-01-01), Seiten 85-90, XP8153273, ISSN: 0023-432X * Seite 85, Spalte 1, letzter Absatz - Spalte 2, Absatz 1 * * Seite 85, rechte Spalte, letzter Absatz - Seite 86, linke Spalte, Absatz 2 * * 3.Results and discussion; Seite 86 - Seite 87; Abbildung 1; Tabelle 1 * * 4.Conclusions; Seite 89 * * das ganze Dokument *	1-13	INV. C22F1/04 C22F1/047 C22F1/05 C22F1/053
X	POGATSCHER S ET AL: "Mechanisms controlling the artificial aging of AlMgSi Alloys", ACTA MATERIALIA, ELSEVIER, OXFORD, GB, Bd. 59, Nr. 9, 3. Februar 2011 (2011-02-03), Seiten 3352-3363, XP028195509, ISSN: 1359-6454, DOI: 10.1016/J.ACTAMAT.2011.02.010 [gefunden am 2011-02-10] * 3.Experimental results; Seite 3354 - Seite 3355; Abbildungen 1-2; Tabelle 1 * * 6.Conclusions; Seite 3362 *	1,5,6,9, 13	RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC) C22F
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort Den Haag		Abschlußdatum der Recherche 6. Juli 2012	Prüfer Ugarte, Eva
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	

 2
EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)



EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung
EP 12 15 6623

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
X	EP 0 613 959 A1 (NIPPON KOKAN KK [JP]) 7. September 1994 (1994-09-07) * Seite 28 - Seite 41; Beispiel 6; Tabellen 7,8 * * Ansprüche 1,3,8,9,11,12,14,15; Abbildung 6 * * Seite 5, Zeilen 25-41 * * Seite 3, Zeilen 27-35 * -----	5,6	RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)
X	WOLVERTON ET AL: "Solute-vacancy binding in aluminum", ACTA MATERIALIA, ELSEVIER, OXFORD, GB, Bd. 55, Nr. 17, 21. September 2007 (2007-09-21), Seiten 5867-5872, XP022264876, ISSN: 1359-6454, DOI: 10.1016/J.ACTAMAT.2007.06.039 * Zusammenfassung * * 4.Summary; Seite 5872 * * 3.2; Seite 5869 - Seite 5870 * -----	5,6	
X	DATABASE WPI Week 199826 Thomson Scientific, London, GB; AN 1998-292505 XP002679385, & JP 10 102178 A (FURUKAWA ELECTRIC CO LTD) 21. April 1998 (1998-04-21) * Zusammenfassung * -----	9-13	
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort Den Haag		Abschlußdatum der Recherche 6. Juli 2012	Prüfer Ugarte, Eva
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 : nichtschriftliche 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	

 2
EPO FORM 1503 03 82 (P04C03)

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

EP 12 15 6623

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.

06-07-2012

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung		Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung
EP 0613959	A1	07-09-1994	DE	69311089 D1		03-07-1997
			DE	69311089 T2		22-01-1998
			EP	0613959 A1		07-09-1994
			US	5580402 A		03-12-1996

JP 10102178	A	21-04-1998	JP	3703919 B2		05-10-2005
			JP	10102178 A		21-04-1998

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 Patentdokumente

- DE 69311089 T2 [0005]

In der Beschreibung aufgeführte Nicht-Patentliteratur

- **FRIEDRICH OSTERMANN.** Anwendungstechnik Aluminium. Springer, 152-153 [0002]
- **LEERSTELLEN ; FREMDATOMEN ; BONN.** Erscheinungsjahr 2010, 2010, 104, 105 [0003]
- **FREMDATOMEN ; BONN.** Erscheinungsjahr 2010, 2010, 79, 81 [0004]