



(11) EP 3 825 428 A1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG(43) Veröffentlichungstag:
26.05.2021 Patentblatt 2021/21(51) Int Cl.:
C22C 21/02 (2006.01) **C22C 21/04 (2006.01)**
C22F 1/043 (2006.01)(21) Anmeldenummer: **19211356.1**(22) Anmeldetag: **25.11.2019**

(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
KH MA MD TN**

(71) Anmelder:

- **AMAG casting GmbH**
5282 Braunau am Inn-Ranshofen (AT)
- **Audi AG**
85045 Ingolstadt (DE)
- **Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg**
91054 Erlangen (DE)

(72) Erfinder:

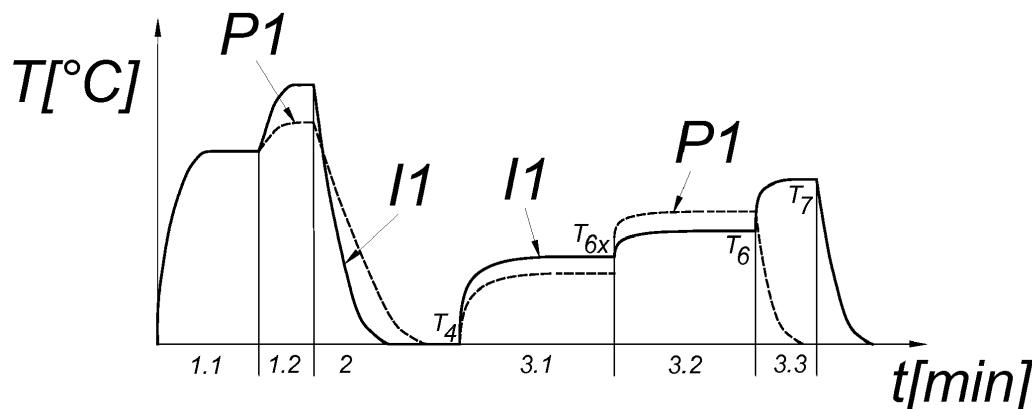
- **HUMMEL, Marc**
74363 Güglingen (DE)
- **KOHLHEPP, Marius**
74321 Bietigheim-Bissingen (DE)
- **MÜLLER, Robin**
92224 Amberg, (DE)
- **HÖPPEL, Heinz Werner**
91058 Erlangen, (DE)
- **FRAGNER, Werner**
5271 Moosbach, (AT)

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

(54) DRUCKGUSSBAUTEIL UND VERFAHREN ZUR HERSTELLUNG EINES DRUCKGUSSBAUTEILS

(57) Es wird ein Verfahren zur Herstellung eines Druckgussbauteils und ein damit hergestelltes Druckgussbauteil gezeigt. Erfindungsgemäß wird eine hervorragende Stanznieteignung erreicht, wenn das Druckgussbauteil eine aushärtbaren Aluminiumlegierung mit folgenden Legierungsbestandteilen: von 5,0 bis 9,0 Gew.-% Silizium (Si), von 0,25 bis 0,5 Gew.-% Magnesium (Mg) und als Rest Aluminium sowie herstellungs-

bedingt unvermeidbare Verunreinigungen mit jeweils maximal 0,05 Gew.-% und gesamt höchstens 0,15 Gew.-%, wobei das Druckgussbauteil eine Streckgrenze ($R_{p0,2}$) von größer 190 MPa und eine Bruchdehnung (A5) von größer gleich 7 % aufweist und Gleichmaßdehnung (Ag) und Einschnürdehnung (Az) die Bedingung $Az \geq Ag/2$ erfüllt.

Fig. 1

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Druckgussbauteil und ein Verfahren zur Herstellung dieses Druckgussbauteils.

[0002] Um bei einem dünnwandigen Druckgussbauteil, beispielsweise bei Strukturauteilen für Kraftfahrzeuge, die Festigkeit ($R_{p0,2}$, R_m) und die Duktilität (bzw. Bruchdehnung A_5) in ein gewünschtes Verhältnis zueinander zu bringen - damit beispielsweise crashrelevante FDI-Werte [FDI=Festigkeits-Duktilitäts-Index, der sich aus Materialkennwerten R_m , $R_{p0,2}$ und A_5 berechnet, nämlich $FDI = (R_m + 3 \cdot R_{p0,2}) / 4 \cdot A_5 / 100$] im Automobilbereich zu erfüllen sind -, schlägt die EP3176275A1 eine Wärmebehandlung einer Al-Si-Aluminiumlegierung mit einem zweistufigen Glühen, Abschrecken und dreistufigen Warmauslagern vor. Dieses Verfahren führt auch zu einer guten Stanznieteignung - also einem Fügen durch Umformen -, was im Wesentlichen von der Duktilität des Druckgussbauteils abhängig ist. Insbesondere bedarf es beim Stanznieten unter Verwendung einer Dommatrize im Vergleich zu anderen Matrizen (Flachmatrize, Kugelmatrize etc.) der höchsten Verformungsfähigkeit am Druckgussbauteil. Ist die Verformungsfähigkeit des Materials nicht ausreichend, entstehen matrizenseitig Risse im Druckgussbauteil. Eine weitere Verbesserung der Stanznieteignung durch Erhöhung der Duktilität bedingt wiederum Verluste bei der Festigkeit - was nachteilig crashrelevante FDI-Werte reduziert.

[0003] Die Erfindung hat sich außerdem ausgehend vom eingangs geschilderten Stand der Technik die Aufgabe gestellt, ein Druckgussbauteil zu schaffen, das sich im Vergleich zu bekannten Druckgussbauteilen in einer verbesserten Stanznieteignung bei gleicher Bruchdehnung und Festigkeit auszeichnet.

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

[0005] Indem das Druckgussbauteil eine aushärtbare Aluminiumlegierung mit 5,0 bis 9,0 Gew.-% Silizium (Si) und von 0,25 bis 0,5 Gew.-% Magnesium (Mg) und als Rest Aluminium sowie herstellungsbedingt unvermeidbare Verunreinigungen mit jeweils maximal 0,05 Gew.-% und gesamt höchstens 0,15 Gew.-% aufweist, kann eine vergleichsweise hohe Streckgrenze ($R_{p0,2}$) von größer 190 MPa und auch eine Bruchdehnung A_5 von größer gleich 7 % ermöglicht werden.

Si: 5,0 bis 9,0 Gew.-% Silizium (Si), was einen reduzierten Anteil im Vergleich mit dem Stand der Technik darstellt, kann den Anteil an rissauslösenden Primärphasen (nämlich eutektischen Siliziumpartikel) deutlich verringern. Damit reduziert sich deren negativer Einfluss beim Fügen durch Umformen.

Mg: 0,25 bis 0,5 Gew.-% Magnesium (Mg) kann eine Streckgrenze ($R_{p0,2}$) von größer 190 MPa ermöglichen.

Besonders aber verbessert sich durch die Stanznieteignung des Druckgussbauteils, weil Gleichmaßdehnung (A_g) und Einschnürdehnung (A_z) die Bedingung $A_z \geq A_g / 2$ erfüllen. Dadurch kann dieses hochfeste Druckgussbauteil selbst bei dünnwandiger Ausführung rissfrei einem Fügen durch Umformen, beispielsweise Stanznieten oder Durchsetzfügen, unterworfen werden.

Zusätzlich zu Si und Mg kann die Aluminiumlegierung optional ein oder mehrere Legierungselemente der Gruppe aufweisen: bis 0,8 Gew.-% Mangan (Mn), von 0,08 bis 0,35 Gew.-% Zink (Zn), von 0,08 bis 0,35 Gew.-% Chrom (Cr), bis 0,30 Gew.-% Zirkonium (Zr), bis 0,25 Gew.-% Eisen (Fe), bis 0,15 Gew.-% Titan (Ti), bis 0,20 Gew.-% Kupfer (Cu), bis 0,025 Gew.-% Strontium (Sr), bis 0,2 Gew.-% Vanadium (V) und/oder bis 0,2 Gew.-% Molybdän (Mo).

[0006] Vorgenannte Stanznieteignung ist weiter verbesserbar, wenn das Druckgussbauteil eine Gleichmaßdehnung (A_g) von mindestens 6 % und eine Einschnürdehnung (A_z) von mindestens 4 % aufweist.

[0007] Weiteres sind in der erfindungsgemäßen Aluminiumlegierung für Silizium (Si) und/oder Zink (Zn) und/oder Magnesium (Mg) und/oder Mangan (Mn) und/oder Kupfer (Cu) und/oder Eisen (Fe) und/oder Titan (Ti) und/oder Strontium (Sr) folgender Gehalt oder folgende Gehalte vorstellbar:

- von mehr als 6,5 bis 9,0 Gew.-% Silizium (Si)
insbesondere von mehr als 6,5 bis 8 Gew.-% Silizium (Si)
- von 0,3 bis 0,5 Gew.-% Magnesium (Mg)
- von 0,3 bis 0,6 Gew.-% Mangan (Mn)
- von 0,15 bis 0,3 Gew.-% Zink (Zn)
insbesondere von 0,15 bis 0,25 Gew.-% Zink (Zn)
- von 0,10 bis 0,20 Gew.-% Kupfer (Cu)
- von 0,10 bis 0,25 Gew.-% Eisen (Fe)
insbesondere von 0,15 bis 0,25 Gew.-% Eisen (Fe)
- von 0,05 bis 0,15 Gew.-% Titan (Ti)
- von 0,015 bis 0,025 Gew.-% Strontium (Sr)

[0008] Besonders hohe FDI-Werte sind erreichbar, wenn die aushärtbare Aluminiumlegierung von mehr als 6,5 bis 9,0 Gew.-% Silizium (Si), insbesondere von mehr als 6,5 bis 8 Gew.-% Silizium (Si), aufweist.

Si: $6,5 < \text{Gew.-\% Silizium (Si)} \leq 9,0$ können beispielsweise bei ausreichend guter Gießbarkeit der Legierung auch rissauslösende Primärphasen reduziert werden, was das Fügen durch Umformen noch weiter verbessern kann - dies

um so mehr, wenn die Bedingung $6,5 < \text{Gew.-\% Silizium (Si)} \leq 8,0$ erfüllt wird.

[0009] Festigkeit und Duktilität sind weiter zu verbessern, wenn die Aluminiumlegierung von 0,15 bis 0,3 Gew.-% Zink (Zn) und/oder von 0,3 bis 0,5 Gew.-% Magnesium (Mg) aufweist.

- 5 Zn: Ein Gehalt von 0,15 bis 0,3 Gew.-% Zink (Zn) kann die Duktilität des Druckgussbauteils weiter verbessern. Bevorzugt weist Zink (Zn) einen Gehalt von 0,15 bis 0,25 Gew.-% auf.
 Mg: Ein Gehalt von 0,3 bis 0,5 Gew.-% Magnesium (Mg) kann die Streckgrenze ($R_{p0,2}$) weiter erhöhen.

10 **[0010]** Die Gießbarkeit der Druckgusslegierung kann weiter verbessert werden, wenn die Aluminiumlegierung von 0,3 bis 0,6 Gew.-% Mangan (Mn) aufweist.

[0011] Die Festigkeit der Aluminiumlegierung kann mit einem Gehalt an Kupfer (Cu) von 0,10 bis 0,20 Gew.-% weiter erhöht werden.

Zudem kann durch diesen Gehalt an Kupfer die Aluminiumlegierung einen höheren Gehalt an Sekundäraluminium aufweisen, was weiter erhöht werden kann, wenn die Aluminiumlegierung 0,15 bis 0,25 Gew.-% Eisen (Fe) aufweist.

15 Dies insbesondere, wenn die Aluminiumlegierung von 0,15 bis 0,25 Gew.-% Eisen (Fe) aufweist.

[0012] Duktilität und Festigkeit der Aluminiumlegierung kann mit 0,05 bis 0,15 Gew.-% Titan (Ti) verbessert, wobei von 0,015 bis 0,025 Gew.-% Strontium (Sr) die Duktilität weiter optimieren kann.

[0013] Vorstellbar ist weiter, dass die Aluminiumlegierung bis 0,05 Gew.-% Mangan (Mn) und/oder bis 0,05 Gew.-% Kupfer (Cu) aufweist.

20 Mn: Ein Gehalt an Mangan (Mn) bis 0,05 Gew.-% kann zu einer signifikanten Duktilitätssteigerung führen. Solch eine Beschränkung des Mangangehalts kann nämlich den Anteil an rissauslösenden Primärphasen (manganhaltigen intermetallischen Phasen) noch weiter reduzieren, welche das Gussbauteil strukturell schwächen würden, insbesondere beim Fügen durch Umformen.

25 Cu: Ein Gehalt an Kupfer (Cu) bis 0,05 Gew.-% kann zudem die Rissneigung weiter reduzieren, was das Fügen durch Umformen weiter erleichtern bzw. das Stanznielen weiter verbessern kann.

30 **[0014]** Das erfindungsgemäße Druckgussbauteil ist insbesondere als Karosseriekomponente für ein Kraftfahrzeug geeignet. Vorzugsweise ist das Druckgussbauteil mit dem anderen Bauteil über eine Stanzniete fest verbunden. Das Druckgussbauteil ist vorzugsweise als Karosseriekomponente Teil eines Kraftfahrzeugs.

[0015] Die Erfindung hat sich ausgehend vom eingangs geschilderten Stand der Technik die Aufgabe gestellt, das Verfahren zu verändern, um bei nahezu gleichbleibenden FDI-Werten am Druckgussbauteil, die Stanznieteignung weiter zu verbessern. Zudem soll das Verfahren einfach handhabbar und reproduzierbar ausgeführt werden können.

[0016] Die Erfindung löst die gestellte Aufgabe hinsichtlich des Verfahrens durch die Merkmale des Anspruchs 8.

35 **[0017]** Wird eine aushärtbare Aluminiumlegierung mit 5,0 bis 9,0 Gew.-% Silizium (Si) und von 0,25 bis 0,5 Gew.-% Magnesium (Mg) und als Rest Aluminium sowie herstellungsbedingt unvermeidbare Verunreinigungen mit jeweils maximal 0,05 Gew.-% und gesamt höchstens 0,15 Gew.-% verwendet, kann eine besondere Wärmebehandlung durchgeführt werden.

40 Si: Mit 5,0 bis 9,0 Gew.-% Silizium (Si) kann zunächst aufgrund der Untergrenze von 5,0 Gew.-% die Gießbarkeit der Aluminiumlegierung auch bei komplexen Konturen sichergestellt werden. Zudem kann aufgrund der Obergrenze von 9,0 Gew.-% Silizium (Si) die Aluminiumlegierung auf eine Glühbehandlung bei höheren Temperaturen vorbereitet werden.

45 Mg: Mit 0,25 bis 0,5 Gew.-% Magnesium (Mg) kann die Aluminiumlegierung zur Erreichung einer erhöhten Festigkeit, insbesondere Streckgrenze ($R_{p0,2}$), vorbereitet werden.

Auf Basis dieser Si- und Mg-Gehalte wird sohin die Al-Si-Legierung für eine erhöhte Festigkeit bei reduzierter Duktilität vorbereitet - nämlich, indem ein erstes Glühen bei einer Temperatur im Bereich von 320 °C (Grad Celsius) bis 450 °C über eine Zeitspanne von 20 bis 75 Minuten und ein zweites Glühen bei einer Temperatur im Bereich von 510 °C bis 540 °C über eine Zeitspanne von 5 bis 35 Minuten erfolgt, also bei erhöhten Temperaturen gegenüber dem Stand der Technik. Durch das, dem Glühen anschließende Abschrecken mit einem Temperaturgradienten im Bereich von größer 4 K/s werden die Eigenschaften (erhöhte Festigkeit bei reduzierter Duktilität) am Druckgussbauteil eingestellt.

50 **[0018]** Eine Verschiebung der mechanischen Eigenschaften von Duktilität in Richtung Festigkeit kann in weiterer Folge durch eine Überalterung des Druckgussbauteils mithilfe einer zumindest dreistufigen Warmauslagerung kompensiert werden.

Hierzu hat sich als vorteilhaft herausgestellt, wenn eine erste Warmauslagerung bei einer Temperatur im Bereich von 100 °C bis 180 °C über eine Zeitspanne von 40 Minuten bis 150 Minuten, eine zweite Warmauslagerung bei einer Temperatur im Bereich von 180 °C bis 300 °C über eine Zeitspanne von 30 Minuten bis 100 Minuten und eine dritte Warmaus-

lagerung bei einer Temperatur im Bereich von 230 °C bis 300 °C über eine Zeitspanne von 5 Minuten bis 120 Minuten erfolgen. Damit kann ein T7-Zustand am Druckgussbauteil erreicht werden, welcher nicht nur vorgegebenen FDI-Werte aus Festigkeit ($R_{p0.2}$, R_m) und Duktilität bzw. Bruchdehnung A_5 erfüllt, sondern überraschend auch eine deutliche Erhöhung der Stanzniereignung aufweist.

5 Untersuchungen ergaben, dass das erfundungsgemäße Verfahren besonders Einfluss auf das Verhältnis zwischen Einschnürdehnung (A_z) und Gleichmaßdehnung (A_g) nimmt, welche Einschnürdehnung A_z sich durch die Gleichung $A_z = A(bzw. A_5) - A_g$ bestimmt. Erfundungsgemäß ergibt sich sohin bei einer vergleichsweise hochfesten Al-Si-Aluminiumlegierung im Zustand T7 eine Einschnürdehnung A_z , welche größer gleich $A_g/2$ ist - was ein rissfreies Stanzen sicherstellt, insbesondere auch ein Stanzen unter Verwendung einer Dommatrize, was matrizenseitig besonders hohe Verformungsfähigkeit vom Druckgussbauteil fordert.

10 Dies ist auch bei einem dünnwandigen Druckgussbauteil erreichbar, beispielsweise für den Karosseriebau, welche derzeit einem Fügen durch Umformen, vor allem einem Stanzen, nicht zuverlässig zugänglich waren.

Zudem bedarf das erfundungsgemäße Verfahren im Vergleich zu bekannten anderen Verfahren lediglich einer Adaptierung in Temperatur und Haltedauer - was vergleichsweise einfach handhabbar ist und so die Reproduzierbarkeit des 15 Verfahrens verbessert.

Durch das erfundungsgemäße Verfahren kann sohin die Herstellung eines Druckgussbauteils sicherstellen, das eine Streckgrenze ($R_{p0.2}$) von größer 190 MPa und eine Bruchdehnung (A_5) von größer gleich 7 % aufweist und dessen Gleichmaßdehnung (A_g) und Einschnürdehnung (A_z) die Bedingung $A_z \geq A_g/2$ erfüllt.

20 [0019] Vorzugsweise kann das hergestellte Druckgussbauteil eine Gleichmaßdehnung (A_g) von mindestens 6 % und eine Einschnürdehnung (A_z) von mindestens 4 % aufweisen. Zusätzlich zu Si und Mg kann die Aluminiumlegierung folgende weitere Legierungselemente optional aufweisen, nämlich bis 0,8 Gew.-% Mangan (Mn), von 0,08 bis 0,35 Gew.-% Zink (Zn), von 0,08 bis 0,35 Gew.-% Chrom (Cr), bis 0,30 Gew.-% Zirkonium (Zr), bis 0,25 Gew.-% Eisen (Fe), bis 0,15 Gew.-% Titan (Ti), bis 0,20 Gew.-% Kupfer (Cu), bis 0,025 Gew.-% Strontium (Sr), bis 0,2 Gew.-% Vanadium (V) und/oder bis 0,2 Gew.-% Molybdän (Mo).

25 [0020] Die Einschnürdehnung A_z ist weiter verbesserbar, wenn das erste Glühen bei einer Temperatur im Bereich von 390 °C bis 410 °C und/oder über eine Zeitspanne von 50 Minuten bis 70 Minuten erfolgt. Zudem kann durch diesen vergleichsweise engen Temperatur- und Zeitbereich reproduzierbarer auf die mechanischen Eigenschaften am fertigen Druckgussbauteil Einfluss genommen werden.

30 [0021] Erfolgt das zweite Glühen bei einer Temperatur im Bereich von 520 °C bis 535 °C, insbesondere von 525 °C bis 535 °C, und/oder über eine Zeitspanne von 25 bis 30 Minuten, ist beispielsweise aufgrund der vergleichsweise kurzen Haltedauer ein Verzug am Druckgussbauteil vermeidbar. Dies verbessert zudem auch die Reproduzierbarkeit des Verfahrens.

35 [0022] Die Festigkeitswerte können in vergleichsweise engen Grenzen eingestellt werden, wenn das Abschrecken mit einem Temperaturgradienten im Bereich von 7 K/s bis 20 K/s erfolgt. Dieses beschleunigte Abkühlen kann beispielsweise durch Abkühlung an bewegter Luft, etc. erfolgen.

40 [0023] Vorzugsweise erfolgt die erste Warmauslagerung bei einer Temperatur im Bereich von 140 °C bis 160 °C und/oder über eine Zeitspanne von 110 Minuten bis 130 Minuten, um das Druckgussbauteil zunächst in einen T64-Zustand zu versetzen.

[0024] Ein T6-Zustand am Druckgussbauteil wird erreicht, indem die zweite Warmauslagerung bei einer Temperatur im Bereich von 190 °C bis 210 °C und/oder über eine Zeitspanne von 50 Minuten bis 70 Minuten erfolgt.

45 [0025] Erfolgt die dritte Warmauslagerung bei einer Temperatur im Bereich von 230 °C bis 270 °C und/oder über eine Zeitspanne von 10 Minuten bis 30 Minuten, sind am Druckgussbauteil Festigkeit und Duktilität noch genauer einstellbar. Insbesondere aber ist damit eine vergleichsweise hohe Einschnürdehnung (A_z) erreichbar, was die Rissgefahr beim Stanzen des Druckgussbauteils noch weiter reduzieren kann.

50 [0026] Zum Nachweis der erzielten Effekte wurden aus verschiedenen Gusslegierungen dünnwandige Gussbauteile im Druckgussverfahren hergestellt. In den Figuren ist der Erfindungsgegenstand beispielhaft dargestellt. So zeigen

- Fig. 1 eine Ansicht zum Ablauf der erfundungsgemäßen Wärmebehandlung,
- Fig. 2a abgerissener Querschliff von zwei stanzgenieteten Bauteilen, wobei das untere Bauteil ein Druckgussbauteil nach dem Stand der Technik ist,
- Fig. 2b eine dreidimensionale, matrizenseitige Ansicht der Fig. 2a,
- Fig. 3a abgerissener Querschliff von zwei stanzgenieteten Bauteilen, wobei es sich beim unteren Bauteil um das erfundungsgemäße Druckgussbauteil handelt, und
- Fig. 3b eine dreidimensionale, matrizenseitige Ansicht der Fig. 3a.

55 [0027] Die Zusammensetzungen der untersuchten Legierungen sind in der Tabelle 1 angeführt, wobei zu den in dieser Tabelle angeführten Legierungselementen als Rest Aluminium und herstellungsbedingt unvermeidbare Verunreinigungen mit jeweils maximal 0,05 Gew.-% und gesamt höchstens 0,15 Gew.-% hinzukommen.

Tabelle 1: Übersicht zu den Aluminiumlegierungen

Legierungen	Si Gew.-%	Mg Gew.-%	Mn Gew.-%	Fe Gew.-%	Zn Gew.-%	Zr Gew.-%	Ti Gew.-%	Sr Gew.-%
AISi10Mg0,4Mn	10,5	0,4	0,61	<0,22	0,2	0,15	0,06	0,02
AISi7Mg0,4	7	0,4	0,05	≤0,15	0,2	0,15	0,06	0,02

[0028] Die Legierungen AISi7Mg0,4 bewegen sich in den erfindungsgemäßen Gehaltsgrenzen nach den unabhängigen Ansprüchen. Legierung AISi10Mg0,4Mn weist im Vergleich zu Legierung AISi7Mg0,4 einen wesentlich höheren Si-Gehalt auf - und liegt diesbezüglich sohin außerhalb der erfindungsgemäßen Gehaltsgrenzen.

[0029] Die Druckgussbauteile P1 (Stand der Technik) und I1 (erfindungsgemäß) mit den diesbezüglichen Al-Si-Aluminiumlegierungen wurden nach Tabelle 2 folgender Wärmebehandlung unterzogen:

Tabelle 2: Übersicht zur Wärmebehandlung

Bauteil	Legierung	Glühen		Abschrecken	Warmauslagern		
		erstes	zweites		erstes	zweites	drittes
P1	AISi10Mg0,4Mn	400 °C 1 h	510 °C 30 min	3 K/s	120 °C 2 h	230 °C 1 h	
I1	AISi7Mg0,4	400 °C 1 h	530 °C 30 min	7 K/s	150 °C 2 h	200 °C 1 h	250 °C 20 min

[0030] In der Fig. 1 ist der Ablauf der erfindungsgemäßen Wärmebehandlung näher dargestellt: Zuerst erfolgt ein zweistufiges Glühen, nämlich ein erstes Glühen 1.1 und ein daran anschließendes zweites Glühen 1.2, darauffolgend ein Abschrecken 2 und nach einer gewissen Lagerzeit eine dreistufige Warmauslagerung mit einem ersten Erwärmten 3.1, einem anschließenden zweiten Erwärmten 3.2 und einem anschließenden dritten Erwärmten 3.3. Das Gussbauteil I1 durchschreitet bei dieser Wärmebehandlung verschiedenste Zustände von T4, T6x, T6 bis zu T7, wie in Fig. 1 zu erkennen.

In Fig. 1 ist auch der Unterschied beim zweiten Glühen 1.2 zwischen der Erfindung I1 und dem Stand der Technik P1 zu erkennen. So erfolgt das zweite Glühen im Stand der Technik P1 mit einer deutlich niedrigeren Temperatur als bei der Erfindung I1.

[0031] Im Gegensatz zur Erfindung fehlt dem Gussbauteil P1 ein drittes Warmauslagern. Wesentliche Unterschiede finden sich auch in den Parametern des zweiten Glühens - diese Unterschiede führt insgesamt dazu, dass sich nach der Wärmebehandlung das Gussbauteil P1 im Zustand T6 befindet.

[0032] Die beiden Druckgussteile P1 und I1 wurden schließlich auf ihre mechanischen Eigenschaften hin untersucht. Hierzu wurden Streckgrenze $R_{p0,2}$, Zugfestigkeit R_m , Bruchdehnung A_5 sowie die Gleichmaßdehnung A_g bestimmt. Die erhaltenen Messwerte sind in der Tabelle 3 zusammengefasst. Die Einschnürdehnung A_z wurde aus Bruchdehnung A_5 und Gleichmaßdehnung A_g errechnet.

Tabelle 3: mechanische Kennwerte

Bauteil	$R_{p0,2}$ [MPa]	R_m [MPa]	A_5 [%]	A_g [%]	A_z [%] = $A_5 - A_g$
P1	195	277	12,8	8,7	3,7
I1	195	250	12,4	6,7	6,1

[0033] Gemäß Tabelle 3 weist das erfindungsgemäße Druckgussbauteil I1 eine deutlich höhere Einschnürdehnung (A_z) auf - womit das Druckgussbauteil I1 eine besonders gute Stanznieteignung aufweist bzw. generell für ein Fügen durch Umformen besonders geeignet ist.

[0034] Diese Eignung wurde durch ein Stanznielen unter Verwendung einer Dommatrize geprüft - und zwar wurde ein Aluminiumblech A der 6xxx Reihe matrizenseitig mit dem Druckgussbauteil P1 bzw. mit dem Druckgussbauteil I1 matrizenseitig unter Verwendung eines Nietelements N stanzgenietet. Die Ergebnisse dieses Stanzniets sind in den Figuren 2a, 2b bzw. 3a, 3b ersichtlich.

[0035] So sind im Querschliff nach Fig. 2a zur AISi10Mg0,4Mn im T6-Zustand mehrere Risse R zu erkennen, wohingegen im Querschliff nach Fig. 3a zur erfindungsgemäßen Al-Si7Mg0,4-Legierung im hochfesten T7-Zustand keine

Risse zu erkennen sind.

Zudem zeigt die AlSi10Mg0,4Mn T6 nach Fig. 2b zahlreiche tiefe Risse matrizenseitig, wohingegen die Risse bei Al-Si7Mg0,4 T7 deutlich feiner ausgeprägt sind. Deren Anzahl ist zwar höher, jedoch sind diese aufgrund ihrer geringen Breite und Tiefe unkritisch. Erfindungsgemäß verbessert sich sohin ein Niet-Ergebnis signifikant gegenüber dem Stand der Technik.

[0036] Aus diesem Grund weist auch das erfindungsgemäße Druckgussbauteil I1 beispielsweise eine besonders gute Eignung für dünnwandige Formteile an einer Karosserie eines Fahrzeugs, vorzugsweise eines Kraftfahrzeugs, auf.

10 Patentansprüche

1. Druckgussbauteil aus einer aushärtbaren Aluminiumlegierung mit folgenden Legierungsbestandteilen:

15 von 5,0 bis 9,0 Gew.-% Silizium (Si),
von 0,25 bis 0,5 Gew.-% Magnesium (Mg)

und optional

20 bis 0,8 Gew.-% Mangan (Mn),
von 0,08 bis 0,35 Gew.-% Zink (Zn),
von 0,08 bis 0,35 Gew.-% Chrom (Cr),
bis 0,30 Gew.-% Zirkonium (Zr),
25 bis 0,25 Gew.-% Eisen (Fe),
bis 0,15 Gew.-% Titan (Ti),
bis 0,20 Gew.-% Kupfer (Cu),
bis 0,025 Gew.-% Strontium (Sr),
bis 0,2 Gew.-% Vanadium (V),
30 bis 0,2 Gew.-% Molybdän (Mo),

und als Rest Aluminium sowie herstellungsbedingt unvermeidbare Verunreinigungen mit jeweils maximal 0,05 Gew.-% und gesamt höchstens 0,15 Gew.-%,
wobei das Druckgussbauteil

35 eine Streckgrenze ($R_{p0,2}$) von größer 190 MPa und
eine Bruchdehnung (A_5) von größer gleich 7 % aufweist und Gleichmaßdehnung (A_g) und Einschnürdehnung (A_z) die Bedingung $A_z \geq A_g/2$ erfüllt.

- 40 2. Druckgussbauteil nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** dieses Druckgussbauteil
eine Gleichmaßdehnung (A_g) von mindestens 6 % und
eine Einschnürdehnung (A_z) von mindestens 4 % aufweist.
- 45 3. Druckgussbauteil nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** die aushärtbare Aluminiumlegierung
von mehr als 6,5 bis 9,0 Gew.-% Silizium (Si),
insbesondere von mehr als 6,5 bis 8 Gew.-% Silizium (Si),
und/oder
von 0,3 bis 0,5 Gew.-% Magnesium (Mg),
50 und/oder
von 0,3 bis 0,6 Gew.-% Mangan (Mn),
und/oder
von 0,15 bis 0,3 Gew.-% Zink (Zn),
insbesondere von 0,15 bis 0,25 Gew.-% Zink (Zn),
55 und/oder
von 0,10 bis 0,20 Gew.-% Kupfer (Cu),
und/oder
von 0,10 bis 0,25 Gew.-% Eisen (Fe),

insbesondere von 0,15 bis 0,25 Gew.-% Eisen (Fe),
und/oder
von 0,05 bis 0,15 Gew.-% Titan (Ti),
und/oder
5 von 0,015 bis 0,025 Gew.-% Strontium (Sr)
aufweist.

4. Druckgussbauteil nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** die aushärtbare Aluminiumlegierung

10 bis 0,05 Gew.-% Mangan (Mn) und/oder
bis 0,05 Gew.-% Kupfer (Cu)

aufweist.

- 15 5. Karosseriekomponente für ein Kraftfahrzeug mit einem Druckgussbauteil (I1) nach einem der Ansprüche 1 bis 4.

6. Karosseriekomponente nach Anspruch 5, mit mindestens einer Stanzniere (N) und mit einem anderen Bauteil (A), wobei das Druckgussbauteil (I1) mit dem anderen Bauteil (A) über die Stanzniere (N) fest verbunden ist.

- 20 7. Kraftfahrzeug mit einer Karosseriekomponente nach Anspruch 5 oder 6.

8. Verfahren zur Herstellung eines Druckgussbauteils nach einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei das Verfahren eine Wärmebehandlung mit folgenden Schritten in der angegebenen Reihenfolge umfasst:

25 Zumindest zweistufiges Glühen, umfassend wenigstens
ein erstes Glühen bei einer Temperatur im Bereich von 320 °C bis 450 °C über eine Zeitspanne von 20 Minuten
bis 75 Minuten, und
ein zweites Glühen bei einer Temperatur im Bereich von 510 °C bis 540 °C über eine Zeitspanne von 5 Minuten
30 bis 35 Minuten,
Abschrecken mit einem Temperaturgradienten im Bereich von größer 4 K/s und
zumindest dreistufige Warmauslagerung, umfassend wenigstens eine
erste Warmauslagerung bei einer Temperatur im Bereich von 100 °C bis 180 °C über eine Zeitspanne von 40
Minuten bis 150 Minuten, eine
35 zweite Warmauslagerung bei einer Temperatur im Bereich von 180 °C bis 300 °C über eine Zeitspanne von 30
Minuten bis 100 Minuten und eine
dritte Warmauslagerung bei einer Temperatur im Bereich von 230 °C bis 300 °C über eine Zeitspanne von 5
Minuten bis 120 Minuten.

- 40 9. Verfahren nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** das erste Glühen bei einer Temperatur im Bereich von 390 °C bis 410 °C und/oder über eine Zeitspanne von 50 Minuten bis 70 Minuten erfolgt

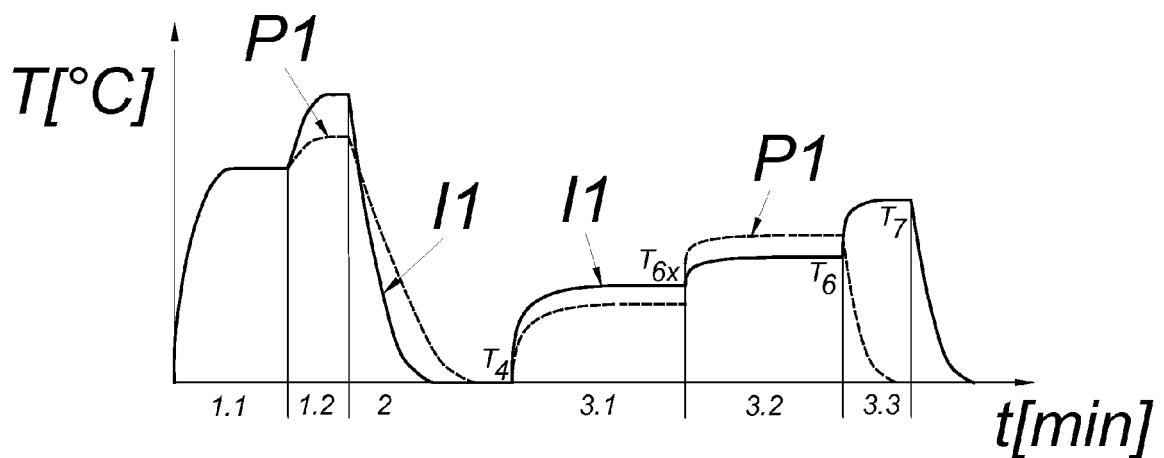
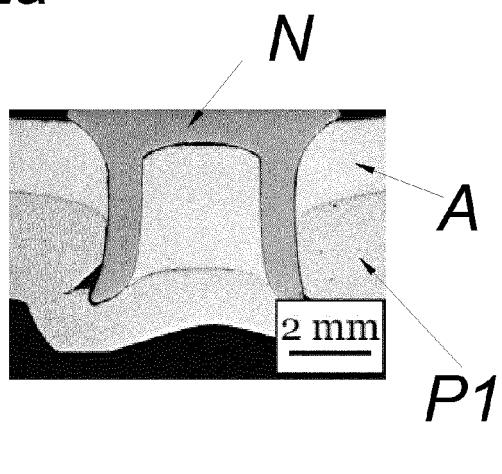
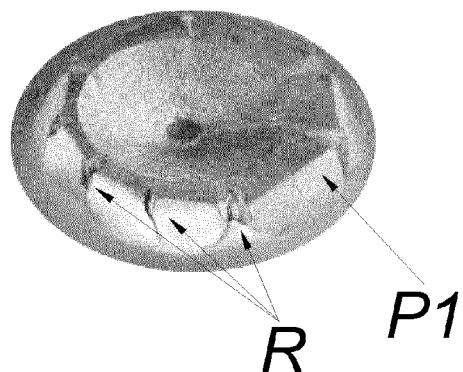
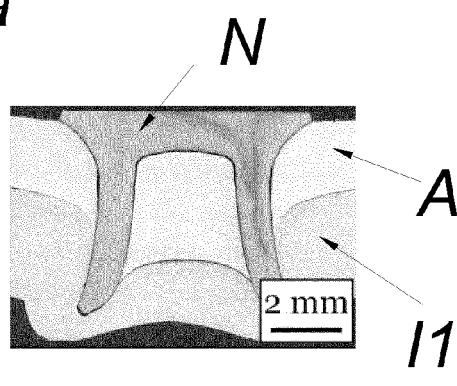
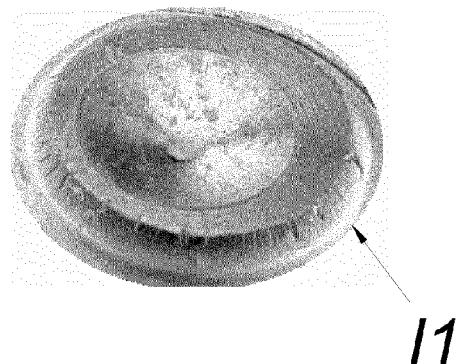
10. Verfahren nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** das zweite Glühen bei einer Temperatur im Bereich von 520 °C bis 535 °C, insbesondere von 525 °C bis 535 °C, und/oder über eine Zeitspanne von 25 bis 30 Minuten erfolgt.

- 45 11. Verfahren nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Abschrecken mit einem Temperaturgradienten im Bereich von 7 K/s bis 20 K/s erfolgt.

- 50 12. Verfahren nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** die erste Warmauslagerung bei einer Temperatur im Bereich von 140 °C bis 160 °C und/oder über eine Zeitspanne von 110 Minuten bis 130 Minuten erfolgt.

13. Verfahren nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** die zweite Warmauslagerung bei einer Temperatur im Bereich von 190 °C bis 210 °C und/oder über eine Zeitspanne von 50 Minuten bis 70 Minuten erfolgt.

- 55 14. Verfahren nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** die dritte Warmauslagerung bei einer Temperatur im Bereich von 230 °C bis 270 °C und/oder über eine Zeitspanne von 10 Minuten bis 30 Minuten erfolgt.

Fig. 1*Fig. 2a**Fig. 2b**Fig. 3a**Fig. 3b*



EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung
EP 19 21 1356

5

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betriefft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
10	A CN 106 244 957 A (SHANGHAI HUIZHONG AUTOMOTIVE) 21. Dezember 2016 (2016-12-21) * Zusammenfassung; Tabelle 2 * -----	1-14	INV. C22C21/02 C22C21/04 C22F1/043
15	A SCHNEIDER W ET AL: "WAERMEBEHANDLUNG VON ALUMINIUM-GUSSLEGIERUNGEN FUER DAS VAKUUM-DRUCKGIESSEN. TEIL 4: ERGEBNISSE VON AUSLAGERUNGSVERSUCHEN", GIESSEREI,, Bd. 83, Nr. 19, 30. September 1996 (1996-09-30), Seiten 23-27, XP000627093, ISSN: 0016-9765 * Seiten 24-27 *	1-14	
20	A EP 2 138 593 A2 (BDW TECHNOLOGIES GMBH [DE]) 30. Dezember 2009 (2009-12-30) * Beispiele 1-3 *	1-14	
25	A JP H01 283336 A (HONDA MOTOR CO LTD) 14. November 1989 (1989-11-14) * Zusammenfassung; Tabelle 1 *	1-14	
30			RECHERCHIERTE SACHGEBiete (IPC)
35			C22C C22F
40			
45			
50	1 Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt		
55	Recherchenort München	Abschlußdatum der Recherche 25. Mai 2020	Prüfer González Junquera, J
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 Anmelde datum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument			

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

EP 19 21 1356

5 In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patendokumente 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.

25-05-2020

10	Im Recherchenbericht angeführtes Patendokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
	CN 106244957 A	21-12-2016	KEINE	
15	EP 2138593 A2	30-12-2009	CA 2669706 A1 DE 102008029864 A1 EP 2138593 A2 JP 2010031360 A US 2009314392 A1	24-12-2009 07-01-2010 30-12-2009 12-02-2010 24-12-2009
20	JP H01283336 A	14-11-1989	JP H0791624 B2 JP H01283336 A	04-10-1995 14-11-1989
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 Patentdokumente

- EP 3176275 A1 [0002]