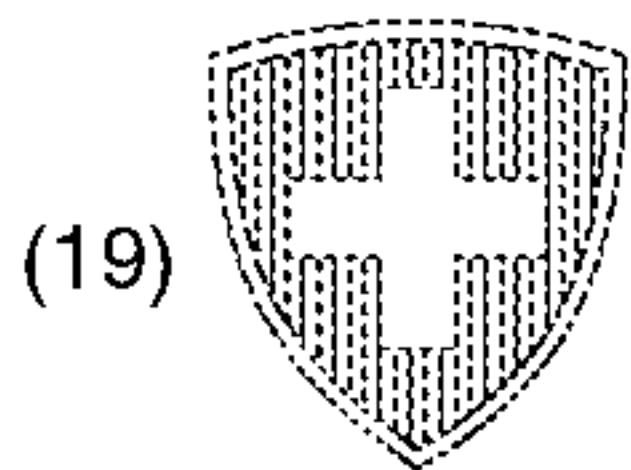




SCHWEIZERISCHE EIDGENOSSENSCHAFT  
EIDGENÖSSISCHES INSTITUT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

(11) CH 714 442 B1

(51) Int. Cl.: C22C 21/02 (2006.01)  
B22D 17/00 (2006.01)  
C22C 1/10 (2006.01)  
C22C 32/00 (2006.01)

Erfindungspatent für die Schweiz und Liechtenstein  
Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

(12) PATENTSCHRIFT

(21) Anmeldenummer: 00580/19

(22) Anmeldedatum: 23.03.2018

(43) Anmeldung veröffentlicht: 29.11.2018

(30) Priorität: 25.05.2017  
CN 201710376448.7

(24) Patent erteilt: 30.04.2020

(45) Patentschrift veröffentlicht: 30.04.2020

(73) Inhaber:  
JIANGSU UNIVERSITY, NO. 301, Xuefu Road  
Zhenjiang, Jiangsu 212013 (CN)

(72) Erfinder:  
Yutao Zhao, Jiangsu 212013 (CN)  
Xizhou Kai, Jiangsu 212013 (CN)  
Gang Chen, Jiangsu 212013 (CN)  
Fei Chen, Jiangsu 212013 (CN)  
Laida Yin, Jiangsu 212013 (CN)  
Min Yin, Jiangsu 212013 (CN)

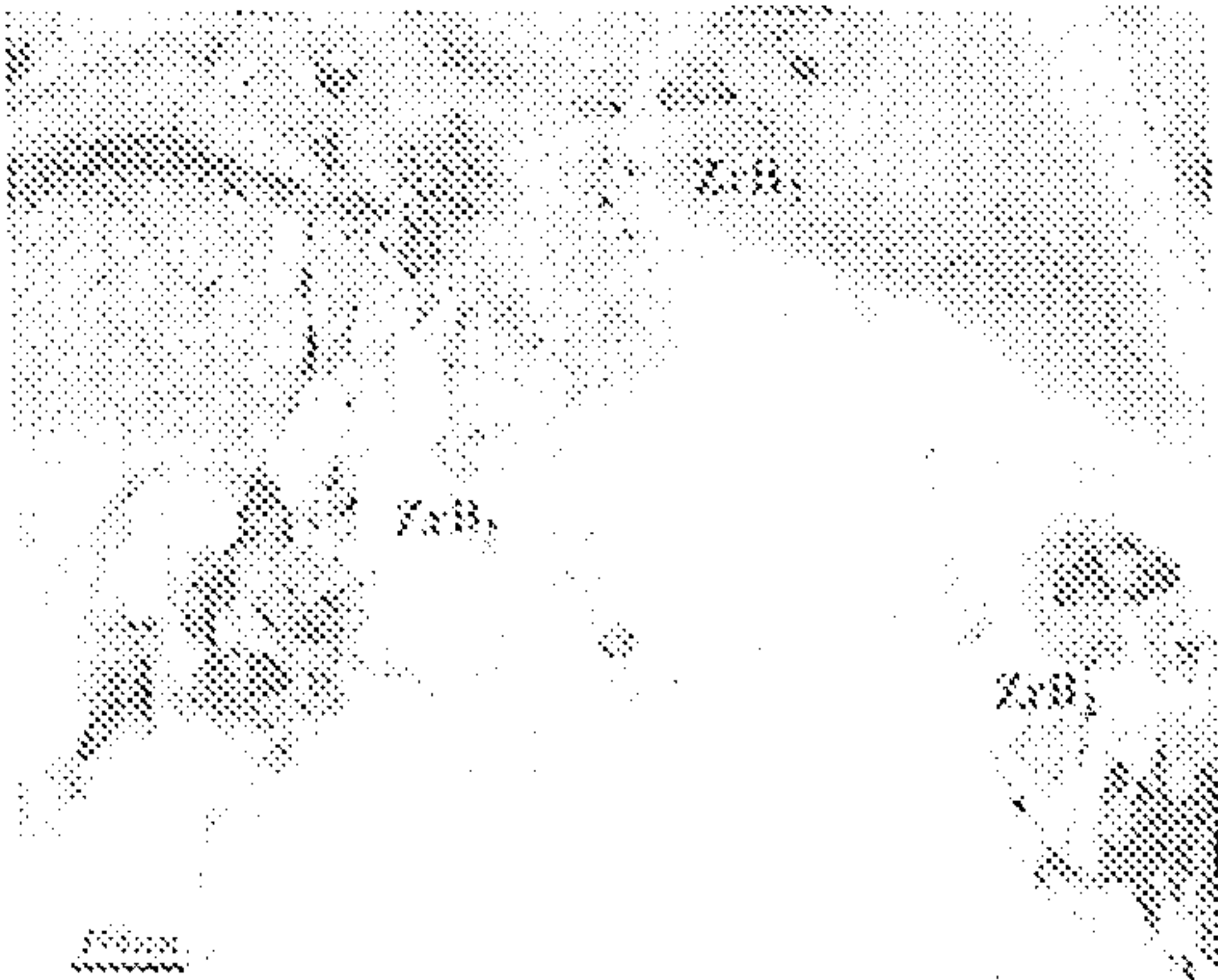
(74) Vertreter:  
Abrema agence brevet et marques, Ganguillet,  
Avenue du Théâtre 16, P.O. Box 5027  
1002 Lausanne (CH)

(86) Internationale Anmeldung:  
PCT/CN 2018/080114

(87) Internationale Veröffentlichung:  
WO 2018/214631

(54) Aluminiumlegierung für eine Schwingungsdämpfungs­komponente eines Automobilmotors und Druckgussverfahren.

(57) Die Erfindung betrifft eine Aluminiumlegierung für eine Schwingungsdämpfungs­komponente eines Automobilmotors, dadurch gekennzeichnet, dass die Aluminiumlegierung Nano-ZrB<sub>2</sub>-Keramikpartikeln und folgende Elementen enthält: 8.0 Gew.% ≤ Si ≤ 11.0 Gew.%, 2.0 Gew.% ≤ Cu ≤ 3.5 Gew.%, 3.0 Gew.% ≤ Zr ≤ 5.0 Gew.%, 0.5 Gew.% ≤ B ≤ 1.0 Gew.%, 1.5 Gew.% ≤ Zn ≤ 2.5 Gew.%, 0.5 Gew.% ≤ Mg ≤ 1.0 Gew.%, 1.0 Gew.% ≤ Fe ≤ 1.5 Gew.%, 0.5 Gew.% ≤ Mn ≤ 1.0 Gew.%, 0.5 Gew.% ≤ Ni ≤ 1.0 Gew.%, 0.1 Gew.% ≤ Er ≤ 0.15 Gew.%, Restmenge Al. Die Erfindung betrifft auch ein Druckgussverfahren zur Herstellung eines Druckgussteils aus einer Aluminiumlegierung für eine Schwingungsdämpfungs­komponente eines Automobilmotors,





**Beschreibung****TECHNISCHES GEBIET**

**[0001]** Die vorliegende Erfindung betrifft eine Aluminiumlegierung für eine Schwingungsdämpfungskomponente eines Automotors und ein Druckgussverfahren zur Herstellung eines Druckgussteils aus einer Aluminiumlegierung.

**STAND DER TECHNIK**

**[0002]** Mit der Entwicklung von Leichtfahrzeugen werden die herkömmlichen Schwingungsdämpfungskomponenten des Automotors (wie Schwingungsdämpfungshalterungen und Schwingungsdämpfungsgehäuse) aus hochfestem Stahl allmählich durch Aluminiumlegierungsbauteile ersetzt, unter denen werden AlSi9Cu3-Aluminiumlegierungs-Druckgussteile weit verbreitet als Sicherheitsteile des Antriebssystems mit komplexer Struktur wie Schwingungsdämpfungshalterungen, Schwingungsdämpfungsgehäuse und Ölpumpengehäuse und dergleichen von Automotoren eingesetzt. Einerseits hat die AlSi9Cu3-Legierung selbst eine geringe Hochplastizität und Ermüdungsbeständigkeit (Zugfestigkeit 260 MPa; Streckgrenze 140 MPa, Dehnung 1%; Belastung  $\pm 7,6$  kN, Ermüdungszeit der Prüfbank 500'000 Male); andererseits haben die nach dem herkömmlichen Druckgussverfahren hergestellten Teile mehr Poren (innere Hohlräume in der anatomischen Ebene: Anzahl  $\leq 1/\text{cm}^2$ , Porendurchmesser  $\leq 0.5$  mm) und können nicht effektiv wärmebehandelt und vorgespannt werden (Lösung + Alterung oder Alterung bei hoher Temperatur), was dazu führt, dass die Ausfällungsphase des Gussteils üblicherweise eine grobe nadelartige oder folienartige Struktur hat, die zu einem technischen Engpass zum Verbessern der Leistung des Aluminium-Druckgussteils wird. Dadurch haben AlSi9Cu3-Druckgussteile Probleme wie Deformation, Bruch und Dichtungsfehler während der harten Betriebsdauer, die den Betrieb des Motors beeinträchtigen und erhebliche Sicherheitsrisiken verursachen.

**[0003]** Die Anwendung von partikelverstärkten Aluminiummatrix-Verbundwerkstoffen mit geringem Gewicht und niedrigen Produktionskosten hat sich zu einem neuen Trend bei Automobilteilen entwickelt, aber die zusätzliche Zugabe von Partikelverstärkungskörpern weist eine schwache Bindung an der Grenzfläche zwischen den Partikeln und der Matrix und eine geringe Zähigkeit auf; in den letzten Jahren sind die in-situ-partikelverstärkte Aluminiumlegierungen zu einem Brennpunkt geworden, vor allem hat die In-situ-Nanopartikelverstärkungs-Aluminiumlegierung zeichnet gute Zähigkeit und starke Ermüdungsfestigkeit und ist ein ideales leichtgewichtiges Material, und die Gleichmäßigkeit der Verteilung der Nanopartikel in der Matrix ist der Schlüssel zu ihrer Leistungsfähigkeit. Aufgrund dessen stellt die vorliegende Erfindung eine In-situ-Nanopartikel-Verstärkung der AlSi9Cu3-Aluminiumlegierung für eine Schwingungsdämpfungskomponente des Automotors zur Verfügung und entwickelt eine progressive Druckgießtechnik mit hoher Dichte, mittels rascher Erstarrungskristallisation eines Druckgussteils wird eine gleichförmige Verteilung von Nanopartikeln in einer Matrix ermöglicht und die Verstärkungsfunktion der Nanoverstärkungskörper vollständig ausübt; mit der progressiven Druckgießtechnik mit hoher Dichte wird das Problem vermieden, dass die herkömmliche abrupte Druckgießrate eine große Anzahl von Poren im Gussteil verursacht und die Wärmebehandlung nicht effektiv durchgeführt werden kann, und die mechanischen Eigenschaften der Druckgussteile sind signifikant verbessert.

**[0004]** Verglichen mit den Dokumenten des Standes der Technik offenbart das chinesische Erfindungspatent mit der Anmeldungsnummer CN201611179327.5 und der Bezeichnung „Walztechnik eines mikrolegierten Aluminium-basierten Verbundmaterials“ eine in-situ-partikelverstärkte AlSi9Cu3-Legierung und eine Restwärme-Direktwalztechnik für diese, während die vorliegende Erfindung eine in-situ-nanopartikelverstärkte AlSi9Cu3-Legierung mit hoher Leistungsfähigkeit und ihre progressive Druckgießtechnik mit hoher Dichte offenbart. Das chinesische Erfindungspatent mit der Anmeldenummer CN200610118386.1 und der Bezeichnung „Stranggießverfahren für die Automotormotorhalterung aus Aluminiumlegierung“ offenbart eine Motorhalterung, die mit der Technik von Stranggießen hergestellt ist, allerdings ist die verwendete Legierung keine Druckgussaluminiumlegierung aus AlSi9Cu3. Das chinesische Erfindungspatent mit der Anmeldenummer CN201611213315.X und der Bezeichnung „Herstellungstechnik eines Schwingungsdämpfersitzes“ offenbart ein Verfahren, bei dem durch eine strenge Kontrolle des Drucks und der Zeit des Druckhaltens während des Druckgießprozesses und ein Entfernen eines nicht ausreichend dicht ausgebildeten Abschnitts der Drehnietfläche die Ermüdungsbeständigkeit des Stützsitzes verbessert wird, während bei dem vorliegenden Patent die Hochplastizität und die Ermüdungsbeständigkeit der Schwingungsdämpfungskomponenten durch In-Situ-Nanoverstärkung und Druckgießtechnik mit hoher Dichte verbessert werden. Das französische Erfindungspatent mit der Anmeldenummer FR2969176A1 und der Bezeichnung „Procédé de fabrication d'une piece en alliages d'aluminium moulé avec trempe après démoulage“ offenbart eine Technik zum Herstellen von AlSi9Cu3-Automobilkomponenten mit einem herkömmlichen Gießverfahren, während die vorliegende Erfindung das Problem löst, dass die mit hocheffizientem Gießverfahren hergestellten AlSi9Cu3-Schwingungsdämpfungskomponenten eine schlechte und Ermüdungsbeständigkeit Hochplastizität aufweisen. Das deutsche Erfindungspatent mit der Anmeldenummer DE102008039976A1 und der Bezeichnung „Wärmebehandelndes heißisostatisches Pressen von Leichtmetallgußbauteilen“ offenbart ein Verfahren zum Verbessern der Leistungen von Leichtlegierungsteile wie AlSi9Cu3 usw. durch heißisostatisches Pressen, während bei der Technik des vorliegenden Patents durch progressives Druckgießen eine Hochleistungs-AlSi9Cu3-Motorschwingungsdämpfungskomponente mit hoher Dichte erhalten wird.



**INHALT DER VORLIEGENDEN ERFINDUNG**

**[0005]** Die vorliegende Erfindung zielt darauf ab, hinsichtlich der Mängel der derzeit bestehenden AlSi9Cu3-Druckgussaluminiumlegierung für die Schwingungsdämpfungskomponenten eines Automotors, dass sie eine schlechte Hochplastizität und Ermüdungsbeständigkeit hat und insbesondere die hohen technischen Anforderungen der Hochleistungsmotorkomponenten an die Festigkeit, Ermüdungsbeständigkeit und Schlagfestigkeit nicht erfüllen kann, durch eine Regulierung der Legierungszusammensetzung und eine In-situ-Nanoverstärkung und sowie in Kombination mit einem nichtlinearen Hochdruck-Druckgießen eine Verstärkung des In-Situ-Nano-Keramik verstärkungskörpers für das Innere und die Grenze der Körner zu realisieren, während der Gehalt, das Verrunden und die Verfeinerung der Ausfällungsphase der Legierung erhöht werden, um die Hochplastizität, die Ermüdungsbeständigkeit und die Dämpfungsleistung der Druckgussprodukte signifikant zu verbessern.

**[0006]** Bei der mit der Technik der vorliegenden Erfindung hergestellten Schwingungsdämpfungshalterung und Gehäuse für einen Automotors kann die Zugfestigkeit 352 MPa, die Streckgrenze 285 MPa und die Dehnung 10.6% erreichen. Das Endprodukt wird durch eine spezielle Bank auf die Haltbarkeit geprüft. Die minimale Anzahl von Zyklen beträgt 1 Million Mal, was weit über der Anforderung an 500'000 Mal des Kunden liegt, die deutsche Volkswagen-Norm (Schwingungsdämpfungshalterung) DIN EN1706-1998 und die japanische Mazda-Norm MES MM 621 -ADC12 (Schwingungsdämpfungsgehäuse) erreicht und zugleich die Leistung (Zugfestigkeit von 300 MPa, Streckgrenze 210 MPa und Dehnung von 7.5%) der mit dem Niederdruckgussverfahren (Niederdruckguss + Lösung + Alterungswärmebehandlung) mit niedrigem Wirkungsgrad und hohen Kosten hergestellten Schwingungsdämpfungshalterung übertrifft.

**[0007]** Bei einer hochfesten Anti-Ermüdungs-In-Situ-Nanoverstärkungs-Aluminiumlegierung für eine Schwingungsdämpfungskomponente eines Automotors und einem Druckgussverfahren mit hoher Dichte für diese gemäß der vorliegenden Erfindung wird durch eine Regulierung der Legierungszusammensetzung und eine In-situ-Nanoverstärkung sowie in Kombination mit einem optimierten nichtlinearen Hochdruck-Druckgussverfahren ein Druckgussteil erhalten, bei dem das Innere und die Grenze der Körner eine große Menge an gleichmäßig verstreuten Nano-ZrB<sub>2</sub>-Keramikverstärkungskörpern enthalten und das Innere der Körner eine Nano-Al<sub>3</sub>Er-Ausfällungsphase enthält und die Ausfällungsphasen der Legierung einschließlich eutektischer Si-Phase, Mg<sub>2</sub>Si-Phase, Al<sub>2</sub>Cu-Phase und Fe-Phase fein und verrundet sind. Durch die Dispersionsverstärkung von Nanoverstärkungskörpern und Nanoausfällungsphase, die Grenzflächendämpfungswirkung und die Kornfeinungsfunktion der durch das Er-Element mit geringer Löslichkeit in der Legierungsschmelze generierten Al<sub>3</sub>Er-Phase werden die Hochplastizität, die Ermüdungsbeständigkeit und die Dämpfungsleistung der Legierungsbauteile signifikant verbessert; durch die Erhöhung des Gehalts an Mg-, Zn- und Fe-Elementen und die Einführung des Mn- und Ni-Elements werden die Legierungsverstärkungsphasen wie Al-Fe-Phase usw. im Vergleich zur herkömmlichen AlSi9Cu3-Legierung wirksam verfeinert und gerundet, während eine gute Druckgussleistung sichergestellt und der Gehalt an der Verstärkungsphase der Legierung erhöht wird, so dass die mit den Legierungen der vorliegenden Erfindung hergestellten Bauteile die Eigenschaften mit hoher Hochplastizität, hoher Ermüdungsbeständigkeit und guter Dämpfungsleistung darstellen.

**[0008]** Das Herstellungsverfahren der vorliegenden Erfindung umfasst die folgenden Schritte:

- (1) Legierungsschmelzen: Die AlSi9Cu3-Legierung wird auf 750 bis 780°C geschmolzen und für 10 min warm gehalten. Die AlSi9Cu3-Legierung ist eine handelsübliche Legierung, und ihre Elemente der spezifischen chemischen Zusammensetzung haben die folgenden Massenanteile in Prozent: Si 8.0-11.0, Cu 2.0-3.5, Zn 1.0-1.5, Mg 0.3-0.5, Fe < 0.8, Mn 0.1-0.5, während die Restmenge Al ist.
- (2) In-situ-Synthetisieren von Nano-ZrB<sub>2</sub>-Keramikverstärkungskörpern: die Al-Zr- und Al-B-Zwischenlegierungen werden zu der Schmelze zugegeben, die in Schritt (1) geschmolzen und warm gehalten wird, und ihre Temperatur erhöht sich schnell auf 840-860°C, gleichzeitig wird die Schmelze mittels eines Graphit-Rührerrotors gerührt, um eine vollständige Mischung der Legierungen zu fördern, wobei die Wärmehaltung 10-15 min dauert, so dass die Zr- und B-Elemente in den Legierungen unter Wirkung einer Triebkraft mit reduzierter freier Energie reagieren und die Nano-ZrB<sub>2</sub>-Keramikverstärkungskörper synthetisieren, anschließend wird die Temperatur auf 730-750°C gesenkt und warm gehalten. Dadurch erreichen die Massenanteile in Prozent von Zirkonium und Bor in den Legierungen von Schritt (2) Zr: 3.0-5.0, B: 0.5-1.0.
- (3) Einführen des Er- und Ni-Elements, Einstellen des Gehalts an Fe- und Mn-Elementen in der Legierung und Raffinieren und Entgasen: Zugabe der Al-Er-, Al-Fe- und Al-Mn-Zwischenlegierungen und des reinen Ni-Elements zu der in Schritt (2) erhaltenen Verbundschmelze, gleichzeitig wird eine vollständige Mischung der Legierungen durch Rühren mittels eines Graphit-Rührerrotors gefördert, wobei die Wärmehaltung und Rührung 10-15 min dauern; dann werden pulverförmige Verbundraffinationsmittel mit einer Teilchengröße von weniger als 500 µm durch den hohlen Kanal des Graphit-Rotors mit Inertgas in die Schmelze geblasen, um die Schmelze zu raffinieren und zu entgasen, um die beim Hochtemperaturschmelzen und -reagieren der Legierungen erzeugten Schlacken und des in der Schmelze gelösten Wasserstoffs zu entfernen, wobei die Raffinationstemperatur 730-750°C und die Raffinations- und Wärmehaltungszeit 25-30 min beträgt. Schließlich



ist der Gehalt an Erbium-Nickel-Eisen-Elementen in der Legierung von Schritt (3) wie folgt: Er: 0.1-0.15, Fe: 1.0-1.5, Mn: 0.5-1.0, Ni 0.5-1.0.

- (4) Einstellen des Gehalts an Mg- und Zn-Elementen: Die in Schritt (3) erhaltene Schmelze wird auf 660 bis 700°C abgekühlt und warm gehalten, anschließend werden reines Mg und reines Zn unter Verwendung einer Glocke in die Schmelze nach Raffinieren und Entgasen gedrückt, Starten des Graphit-Rührerrotors und Rühren mit niedriger Geschwindigkeit, die Wärmehaltung und Rührung dauern > 15 min, damit sich Mg, Zn in der Legierung lösen und ein Einatmen der Schmelze vermieden wird und der Gehalt an Magnesium und Zink in der Legierung von Schritt (4) Mg: 0.5-1.0 und Zn: 1.5-2.5 erreicht.
- (5) Nichtlineares Hochdruck-Druckgießen: Die in Schritt (4) erhaltene Verbundschmelze wird in die Wärmeschutzverpackung der Druckgussmaschine eingebracht, und ein mit Nanoverbundstoffen verstärktes Druckgussteil wird durch Druckgießen unter Verwendung eines optimierten nichtlinearen Druckgießverfahrens erhalten, wobei bei der Injektionsgeschwindigkeit es sich um eine von klein bis groß werdende parabolische Injektion handelt, um eine nichtlineare Füllung mit einer langsamen Füllung von 2.5-3 m/s in früher Stufe und einer momentanen Hochgeschwindigkeitsfüllung zum Schluss (maximale Injektionsgeschwindigkeit von 40-50 m/s und Druckgießdruck von 100-150 MPa).
- (6) Alterungsbehandlung: Für das in Schritt (5) erhaltene Druckgussteil wird eine Alterungsbehandlung (natürliches Altern oder künstliches Altern) durchgeführt, um ein In-Situ-Nanoverstärkungs-Aluminiumlegierungs-Druckgussteil mit hoher Ermüdungsbeständigkeit und guter Dämpfungsleistung zu erhalten.

**[0009]** Die Al-Zr-, Al-B-, Al-Er-, Al-Fe- und Al-Mn-Zwischenlegierungen sind bevorzugt Zwischenlegierungen mit einem hohen Gehalt an Legierungselementen, wie Al-10Zr, Al-10B, Al-20Er, Al-20Fe und Al-10Mn.

**[0010]** Das In-situ-Synthetisieren von Nano-ZrB<sub>2</sub>-Keramikverstärkungskörpern bezieht sich darauf, dass mit den thermodynamisch-kinetischen Eigenschaften, dass in dem mehrbasigen Legierungssystem ZrB<sub>2</sub> eine niedrige freie Gibbs-Energie hat und Zr eine niedrige Löslichkeit und einen niedrigen thermischen Diffusionskoeffizienten in Al hat, nach der Einführung von Zr- und B-Element in die Legierung werden nanoskalige ZrB<sub>2</sub>-Keramikpartikel in situ in der Schmelze synthetisiert, wobei die ZrB<sub>2</sub>-Keramikpartikel eine Größe von 20-80 nm und einen Gehalt von 2-6 Gew.-% der Masse der Legierung haben, und wobei die Synthetisierungstemperatur 840-860°C beträgt. Daher im Erstarrungsprozess der Legierungsschmelze können die In-situ-Nano-ZrB<sub>2</sub>-Keramikpartikel als heterogenen Keimbildungskern dienen, um die Keimbildungsrate der Legierung zu verbessern und die Körner zu verfeinern, und schließlich sind die Partikel innerhalb der Legierungskörner enthalten und dispergiert, um die Festigkeit und die Ermüdungsbeständigkeit der Legierung signifikant zu verbessern; andererseits werden die Nano-ZrB<sub>2</sub>-Keramikpartikel, die nicht zum Keimbildungskern geworden sind, während des Kornwachstums in der Grenze der Körner dispergiert, was die Grenze der Körner wirksam festsetzen und die Migration der Grenze der Körner verhindern kann, dadurch wird die Dämpfungsfunktion der Grenzfläche maximal entfaltet und die Dämpfungsleistung der Legierung verbessert, während die Festigkeit der Legierung verbessert wird.

**[0011]** Das Einführen des Er- und Ni-Elements und Einstellen des Gehalts an Fe- und Mn-Elementen in der Legierung und Raffinieren und Entgasen beziehen sich darauf, dass Er von 0.1-0.15 Gew.-% in die Legierung eingeführt wird, einerseits wird mittels der niedrigen Löslichkeit von Er in der Aluminiumschmelze (0.1 Gew.-%) der heterogene Keimbildungskern von Al<sub>3</sub>Er aus der Legierungsschmelze ausgefällt, um die Keimbildungsrate von Aluminium zu erhöhen und die Legierungskörner zu verfeinern; andererseits sind die Er-Elemente in der Legierung gelöst, deshalb wird während des Legierungsalterungsprozesses eine feine, gut auf die Aluminiummatrix-Gitter abgestimmte L<sub>12</sub>-Nano-Al<sub>3</sub>Er-Ausfällungsphase im Inneren der Körner ausgefällt, um die Alterungsfestigkeit und die Ermüdungsbeständigkeit des Legierungsdruckgussteils signifikant zu verbessern; die Erhöhung des Gehalts an Fe-Elementen in der Legierung zielt darauf ab, den Gehalt an Fe-Ausfällungsphase in der Legierung zu erhöhen, dadurch wird die Festigkeit der Legierung verbessert, während die Antihafteffekt der Legierung weiterhin verbessert wird, um ein durch die Erhöhung des Gehalts an der Ausfällungsphase der Legierung und die Reduzierung des Expansionskoeffizienten verursachtes Problem mit schwieriger Entformung und Haftung am Formwerkzeug zu vermeiden; die Einführung des Ni-Elements und die Erhöhung des Gehalts am Mn-Element zielen darauf ab, es durch eine Umwandlung von Ni, Mn und der nadelartigen  $\beta$ -Fe-Phase in der Legierung in eine  $\alpha$ -Al(Mn,Fe)Si- und eine  $\alpha$ -Al(Ni,Fe)Si-Phase in einer Blockform oder einer Form eines chinesischen Schriftzeichens zu vermeiden, dass eine Erhöhung des Fe-Gehalts eine große Menge an nadelartiger  $\beta$ -Fe-Phase erzeugt und somit die plastische Zähigkeit der Legierung reduziert wird.

**[0012]** Die Einstellung des Gehalts an Mg- und Zn-Elementen bezieht sich darauf, den Gehalt an der Ausfällungsphase in der Legierung weiterhin zu erhöhen, um die Festigkeit und die Ermüdungsbeständigkeit der Legierung zu verbessern, während die Dämpfungsleistung der Legierung durch die erhöhte Phasengrenze verbessert wird.

**[0013]** Das nichtlineare Hochdruck-Druckgussverfahren bezieht sich darauf, eine neuartige Druckgussmaschine mit programmierbar gesteuerter Druckgießzylindergeschwindigkeit in Kombination mit einem optimierten nichtlinearen Hochdruck-Druckgussverfahren zu verwenden, um eine Turbulenz und Luftverschleppung im Füllungsprozess der Schmelze zu vermeiden, die Entgasung des Formhohlraums zu begünstigen und bei momentaner Hochgeschwindigkeit und Hochdruck zum Befüllen des Formhohlraums das Einweichen und Dispergieren von Nanoverstärkungskörpern zu fördern, so dass ein



Druckgussprodukt mit wenigen Gewebedefekten und hervorragender Leistung erhalten wird. Bei der Injektionsgeschwindigkeit handelt es sich um eine von klein bis groß werdende parabolische Injektion, um eine nichtlineare Füllung mit einer langsamen Füllung von 2.5-3 m/s in früher Stufe und einer momentanen Hochgeschwindigkeitsfüllung zum Schluss (maximale Injektionsgeschwindigkeit von 40-50 m/s und Druckgießdruck von 100-150 MPa).

[0014] Bei der Hochtemperaturalterungswärmebehandlung kann mit dem Vorteil eines niedrigen Porositätsgehalts des progressiven Druckgussteils die Alterungswärmebehandlungstemperatur des Werkstücks erhöht werden, um die effektive Ausfällung der Verstärkungsphase und das Verrunden der Siliziumphase zu fördern, dabei hat die Alterungswärmebehandlungstemperatur einen Bereich von 200°C-350°C.

## KURZE BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNG

[0015]

Figur 1(a) zeigt ein metallographisches Strukturdiagramm eines herkömmlichen AlSi9Cu3-Druckgussteils, Figur 1(b) zeigt ein metallographisches Strukturdiagramm einer mit der vorliegenden Erfindung hergestellten In-situ-Nanoverstärkungs-Aluminiumlegierungs-Schwingungsdämpfungshalterungs-Druckgussteils mit guter Festigkeit, Ermüdungsbeständigkeit und guter Dämpfungsleistung, aus dem beiden metallographischen Strukturdiagrammen kann es herausgefunden werden, dass bei dem mit der Technik des vorliegenden Patents hergestellten Druckgussteil die nadelartige Ausfällungsphase verschwindet und in körnige oder kurzscheibenförmige verrundete Ausfällungsphase umgewandelt wird, was den Dispersionsgrad der Ausfällungsphase verbessert und die Hochplastizität und die Ermüdungsleistung des Werkstücks fördert.

Figur 2 zeigt ein TEM-Strukturdiagramm einer mit der vorliegenden Erfindung hergestellten In-situ-Nanoverstärkungs-Aluminiumlegierungs-Schwingungsdämpfungshalterungs-Druckgussteils, aus dem Strukturdiagrammen kann es herausgefunden werden, dass bei dem mit der Technik des vorliegenden Patents hergestellten Druckgussteil eine In-situ-Nano-ZrB<sub>2</sub>-Keramikverstärkungsphase und eine feinere Al<sub>3</sub>Er-Gleichmäßigkeits-Nano-Ausfällungsphase im Inneren und an der Grenze der Körner vorhanden sind, was förderlich für eine umfassende Verbesserung der Hochplastizität, der Ermüdungsbeständigkeit und der Dämpfungsleistung des Werkstücks ist.

## AUSFÜHRLICHE BESCHREIBUNG

[0016] Im Zusammenhang mit Figuren wird die Ausführungsform der vorliegenden Erfindung im Folgenden näher erläutert: die folgenden Ausführungsbeispiele werden unter der Voraussetzung der technischen Lösung der vorliegenden Erfindung umgesetzt, dabei werden ausführliche Ausführungsbeispiele und spezifische Bedienungsabläufe offenbart, jedoch ist der Schutzzumfang der vorliegenden Erfindung nicht auf die folgenden Ausführungsbeispiele beschränkt.

### Ausführungsbeispiel 1

[0017] Unter Verwendung von Al-10Zr, Al-10B, Al-20Er, Al-20Fe, Al-10Mn-Zwischenlegierungen und reinem Ni, reinem Mg, reinem Zn und AlSi9Cu3 als Rohmaterialien wird die optimierte nichtlineare Hochdruck-Druckgusstechnik zur Herstellung einer Schwingungsdämpfungshalterung für einen Automotormotor verwendet.

[0018] Die geschmolzene 500 kg handelsübliche AlSi9Cu3-Legierung (760°C) wird in den Zwischenwärmehalteofen überführt, dann werden die Al-10Zr- und Al-10B-Zwischenlegierungen zu dem Wärmehalteofen zugegeben und auf 850°C erhitzt, während der Graphit-Rührerrotor verwendet wird, um die Legierung zu rühren, damit eine vollständige Mischung der Legierung gefördert wird, die Wärmehaltungszeit beträgt 15 min, dann wird die Legierung auf 750°C abgekühlt und warm gehalten; Zugabe von Al-20Er, Al-20Fe und Al-10Mn und reines Ni zu der Schmelze, nach Rühren und Wärmehaltung für 15 min werden pulverförmige Verbundraffinationsmittel mit einer Teilchengröße von weniger als 500 µm durch den hohlen Kanal des Graphit-Rotors mit Inertgas in die Schmelze geblasen, um die Schmelze zu raffinieren und zu entgasen, um die beim Hochtemperaturschmelzen und -reagieren der Legierungen erzeugten Schlacken und des in der Schmelze gelösten Wasserstoffs zu entfernen, wobei die Raffinationszeit 30 min beträgt und die Temperatur auf 750°C gehalten wird, nach Raffinieren und Entgasen wird die Schmelze auf 680°C abgekühlt, anschließend werden reines Mg und reines Zn unter Verwendung einer Glocke in die Schmelze nach Raffinieren und Entgasen gedrückt, Starten des Graphit-Rührerrotors und Rühren mit niedriger Geschwindigkeit, die Wärmehaltung und Rührung dauern 18 min, damit die endgültige Zusammensetzung der Legierung Si 9.5, Cu 3, Zr 3.5, B 0.75, Zn 1.5, Mg 0.8, Fe 1.3, Mn 1.0, Ni 0.7, Er 0.12 erreicht, während die Restmenge Al ist, am Ende wird aus der erhaltenen Verbundschmelze mit optimiertem nichtlinearem Hochdruck-Druckgussverfahren eine Schwingungsdämpfungshalterung hergestellt, dabei erfolgt in der frühen Stufe eine langsame Füllung von 3 m/s, um eine Advektionsfüllung zu realisieren und eine reibungslose Entgasung des Formhohlraums zu fördern, zum Augenblick des Vollfüllens des Formhohlraums (Gusskopf nicht vollgefüllt) wird die Injektionsgeschwindigkeit auf 40 m/s erhöht, und der Druck wird auf 100 MPa gehalten, die Druckhaltungszeit beträgt 15 s, um eine Druckguss-Schwingungsdämpfungshalterung zu erhalten.

[0019] Der Druckgussrohling nach Abschneiden des Gusskopfs und der Grate wird zur künstlichen Alterung in einen Wärmebehandlungssofen gegeben, die Alterungstemperatur beträgt 300°C und die Alterungszeit beträgt 8 Stunden.



**[0020]** Die Probenanalyse zeigt, dass die Härte der Schwingungsdämpfungshalterung größer als 97 HBS ist, die Zugfestigkeit 352 MPa erreicht, die Streckgrenze 285 MPa erreicht, die Dehnung 10.6% beträgt und die Lebensdauer der Zugfestigkeitstests bei einer Last von 7.6 kN mehr als  $2 \times 10^6$  Mal beträgt. Das Endprodukt wird durch eine spezielle Bank auf die Haltbarkeit geprüft. Die minimale Anzahl von Zyklen beträgt 1 Million Mal, was weit über der Anforderung an 500'000 Mal des Kunden liegt. Das Produkt erfüllt die deutsche Volkswagen-Norm (Schwingungsdämpfungshalterung) DIN EN1706-1998 und die japanische Mazda-Norm MES MM 621-ADC12 (Schwingungsdämpfungsgehäuse). Figur 1(b) zeigt ein metallographisches Strukturdiagramm einer mit dem Verfahren der vorliegenden Erfindung hergestellten Schwingungsdämpfungshalterung, aus dem Diagrammen kann es herausgefunden werden, dass im Vergleich zu herkömmlichen Druckgussteilen AlSi9Cu3 bei dem mit dem vorliegenden Patent hergestellten Druckgussteil die nadelförmige Ausfällungsphase verschwindet und in körnige oder kurzscheibenförmige verrundete Ausfällungsphase umgewandelt wird, was den Dispersionsgrad der Ausfällungsphase verbessert und die Hochplastizität und die Ermüdungsleistung des Werkstücks fördert. Figur 2 zeigt ein TEM-Strukturdiagramm einer mit dem Verfahren des vorliegenden Ausführungsbeispiels hergestellten Schwingungsdämpfungshalterungs-Druckgussteils, aus dem Diagrammen kann es herausgefunden werden, dass bei dem mit dem vorliegenden Patent hergestellten Druckgussteil eine große Menge an In-situ-Nano-ZrB<sub>2</sub>-Keramikverstärkungsphase und eine feinere Gleichmäßigkeits-Nano-Al<sub>3</sub>Er-Ausfällungsphase im Inneren und an der Grenze der Körner vorhanden sind, was förderlich für eine umfassende Verbesserung der Hochplastizität, der Ermüdungsbeständigkeit und der Dämpfungsleistung des Werkstücks ist.

### Ausführungsbeispiel 2

**[0021]** Unter Verwendung von Al-10Zr, Al-5B, Al-10Er, Al-10Fe, Al-10Mn-Zwischenlegierungen und reinem Ni, reinem Mg, reinem Zn und AlSi9Cu3 als Rohmaterialien wird die optimierte nichtlineare Hochdruck-Druckgusstechnik zur Herstellung eines Schwingungsdämpfungsgehäuses für einen Automotormotor verwendet. (mit komplexer Struktur des Gehäuses besteht eine hohe Schwierigkeit zum Füllen und zum Entgasen, in der Regel wird der Gehalt an Mg reduziert und der Druck des Druckgießens erhöht, um die Leistung und die Ausbeute des Druckgussteils zu erhöhen).

**[0022]** Die geschmolzene 500 kg handelsübliche AlSi9Cu3-Legierung (750°C) wird in den Zwischenwärmehalteofen überführt, dann werden die Al-10Zr- und Al-5B-Zwischenlegierungen zu dem Wärmehalteofen zugegeben und auf 840°C erhitzt, während der Graphit-Rührerrotor verwendet wird, um die Legierung zu rühren, damit eine vollständige Mischung der Legierung gefördert wird, die Wärmehaltungszeit beträgt 10 min, dann wird die Legierung auf 740°C abgekühlt und warm gehalten; Zugabe von Al-10Er, Al-10Fe und Al-10Mn und reines Ni zu der Schmelze, nach Rühren und Wärmehaltung für 10 min werden pulverförmige Verbundraffinationsmittel mit einer Teilchengröße von weniger als 500 µm durch den hohlen Kanal des Graphit-Rotors mit Inertgas in die Schmelze geblasen, um die Schmelze zu raffinieren und zu entgasen, um die beim Hochtemperaturschmelzen und -reagieren der Legierungen erzeugten Schlacken und des in der Schmelze gelösten Wasserstoffs zu entfernen, wobei die Raffinationszeit 25 min beträgt und die Temperatur auf 740°C gehalten wird, nach Raffinieren und Entgasen wird die Schmelze auf 660°C abgekühlt, anschließend werden reines Mg und reines Zn unter Verwendung einer Glocke in die Schmelze nach Raffinieren und Entgasen gedrückt, Starten des Graphit-Rührerrotors und Rühren mit niedriger Geschwindigkeit, die Wärmehaltung und Rührung dauern 20 min, damit die endgültige Zusammensetzung der Legierung Si 11, Cu 3.5, Zr 5.0, B 1.0, Zn 2.0, Mg 0.5, Fe 1.5, Mn 1.0, Ni 0.5, Er 0.15 erreicht, während die Restmenge Al ist, am Ende wird aus der erhaltenen Verbundschmelze mit optimiertem nichtlinearem Hochdruck-Druckgussverfahren ein Schwingungsdämpfungsgehäuse hergestellt, dabei erfolgt in der frühen Stufe eine langsame Füllung von 5 m/s, um eine Advektionsfüllung zu realisieren und eine reibungslose Entgasung des Formhohlraums zu fördern, zum Augenblick des Vollfüllens des Formhohlraums (Gusskopf nicht vollgefüllt) wird die Injektionsgeschwindigkeit auf 50 m/s erhöht, und der Druck wird auf 150 MPa gehalten, die Druckhaltungszeit beträgt 15 s, um ein Druckguss-Schwingungsdämpfungsgehäuse zu erhalten.

**[0023]** Der Druckgussrohling nach Abschneiden des Gusskopfs und der Grate wird zur künstlichen Alterung in einen Wärmebehandlungssofen gegeben, die Alterungstemperatur beträgt 250°C und die Alterungszeit beträgt 10 Stunden.

**[0024]** Die Probenanalyse zeigt, dass die Härte der Schwingungsdämpfungshalterung größer als 92 HBS ist, die Zugfestigkeit 315 MPa erreicht, die Streckgrenze 243 MPa erreicht, die Dehnung 8,9% beträgt und die Lebensdauer der Zugfestigkeitstests bei einer Last von 7,6 kN mehr als  $1.5 \times 10^6$  Mal beträgt. Das Endprodukt wird durch eine spezielle Bank auf die Haltbarkeit geprüft. Die minimale Anzahl von Zyklen beträgt 1 Million Mal, was weit über der Anforderung an 500'000 Mal des Kunden liegt.

### Ausführungsbeispiel 3

**[0025]** Unter Verwendung von Al-10Zr, Al-5B, Al-20Er, Al-20Fe, Al-5Mn-Zwischenlegierungen und reinem Ni, reinem Mg, reinem Zn und AlSi9Cu3 als Rohmaterialien wird die optimierte nichtlineare Hochdruck-Druckgusstechnik zur Herstellung eines Ölpumpengehäuses für einen Automotormotor verwendet.

**[0026]** Die geschmolzene 500 kg handelsübliche AlSi9Cu3-Legierung (780°C) wird in den Zwischenwärmehalteofen überführt, dann werden die Al-10Zr- und Al-SB-Zwischenlegierungen zu dem Wärmehalteofen zugegeben und auf 860°C erhitzt, während der Graphit-Rührerrotor verwendet wird, um die Legierung zu rühren, damit eine vollständige Mischung der Legierung gefördert wird, die Wärmehaltungszeit beträgt 15 min, dann wird die Legierung auf 750°C abgekühlt und warm



gehalten; Zugabe von Al-20Er, Al-20Fe und Al-50Mn und reines Ni zu der Schmelze, nach Rühren und Wärmehaltung für 10 min werden ultrafeine pulverförmige Raffinationsmittel durch den hohlen Kanal des Graphit-Rotors mit Inertgas in die Schmelze geblasen, um die Schmelze zu raffinieren und zu entgasen, um die beim Hochtemperaturschmelzen und -reagieren der Legierungen erzeugten Schlacken und des in der Schmelze gelösten Wasserstoffs zu entfernen, wobei die Raffinationszeit 30 min beträgt und die Temperatur auf 750°C gehalten wird, nach Raffinieren und Entgasen wird die Schmelze auf 680°C abgekühlt, anschließend werden reines Mg und reines Zn unter Verwendung einer Glocke in die Schmelze nach Raffinieren und Entgasen gedrückt, Starten des Graphit-Rührerrotors und Rühren mit niedriger Geschwindigkeit, die Wärmehaltung und Rührung dauern 20 min, damit die endgültige Zusammensetzung der Legierung Si 11, Cu 2.5, Zr 5.0, B 1.0, Zn 2.5, Mg 1.0, Fe 1.5, Mn 1.0, Ni 1.0, Er 0.1 erreicht, während die Restmenge Al ist, am Ende wird aus der erhaltenen Verbundschmelze mit optimiertem nichtlinearem Hochdruck-Druckgussverfahren ein Ölpumpengehäuse hergestellt, dabei erfolgt in der frühen Stufe eine langsame Füllung von 4 m/s, um eine Advektionsfüllung zu realisieren und eine reibungslose Entgasung des Formhohlraums zu fördern, zum Augenblick des Vollfüllens des Formhohlraums (Gusskopf nicht vollgefüllt) wird die Injektionsgeschwindigkeit auf 50 m/s erhöht, und der Druck wird auf 130 MPa gehalten, die Druckhaltungszeit beträgt 15 s, um ein Druckguss-Ölpumpengehäuse zu erhalten.

**[0027]** Der Druckgussrohling nach Abschneiden des Gusskopfs und der Grate wird zur künstlichen Alterung in einen Wärmebehandlungssofen gegeben, die Alterungstemperatur beträgt 220°C und die Alterungszeit beträgt 15 Stunden.

**[0028]** Die Probenanalyse zeigt, dass die Härte der Schwingungsdämpfungshalterung größer als 93 HBS ist, die Zugfestigkeit 330 MPa erreicht, die Streckgrenze 250 MPa erreicht, die Dehnung 7.8% beträgt und die Lebensdauer der Zugfestigkeitstests bei einer Last von 7.6 kN mehr als  $1.2 \times 10^6$  Mal beträgt. Das Endprodukt wird durch eine spezielle Bank auf die Haltbarkeit geprüft. Die minimale Anzahl von Zyklen beträgt 1 Million Mal, was weit über der Anforderung an 500'000 Mal des Kunden liegt.

### Vergleichsausführungsform

#### Vergleichsausführungsbeispiel 1

**[0029]** Unter Verwendung von AlSi9Cu3-Legierung wird die optimierte nichtlineare Hochdruck-Druckgusstechnik zur Herstellung einer Schwingungsdämpfungshalterung für einen Automobilmotor verwendet.

**[0030]** Mittels der optimierten nichtlinearen Hochdruck-Druckgusstechnik wird die geschmolzene 500 kg handelsübliche AlSi9Cu3-Legierung (700°C) zum Herstellen einer Schwingungsdämpfungshalterung für einen Automobilmotor verwendet, und für den Druckgussrohling nach Abschneiden des Gusskopfs und der Grate wird eine künstliche Alterung durchgeführt, die Alterungstemperatur beträgt 300°C und die Alterungszeit beträgt 8 Stunden.

**[0031]** Die Probenanalyse zeigt, dass die Härte der Schwingungsdämpfungshalterung größer als 82 HBS ist, die Zugfestigkeit 285 MPa erreicht, die Streckgrenze 193 MPa erreicht, die Dehnung 6.4% beträgt und die Lebensdauer der Zugfestigkeitstests bei einer Last von 7.6 kN mehr als  $1 \times 10^6$  Mal beträgt.

#### Vergleichsausführungsbeispiel 2

**[0032]** Unter Verwendung von Al-10Zr, Al-10B, Al-20Er, Al-20Fe, Al-10Mn-Zwischenlegierungen und reinem Ni, reinem Mg, reinem Zn und AlSi9Cu3 als Rohmaterialien wird eine Schwingungsdämpfungshalterung für einen Automobilmotor mit einer herkömmlichen Druckgusstechnik hergestellt.

**[0033]** Die In-situ-Synthese von Nano-ZrB<sub>2</sub>-Verstärkungskörpern und die Regulierung der Legierungszusammensetzung sind gleich wie in dem ersten Ausführungsbeispiel, dadurch wird eine Legierungsschmelze mit einer Temperatur von 680°C und einer Zusammensetzung von Si 9.5, Cu 3, Zr 3.5, B 0.75, Zn 1.5, Mg 0.8, Fe 1.3, Mn 1.0, Ni 0.7, Er 0.12 und Restmenge von Al erhalten, mit einem herkömmlichen Druckgussverfahren wird eine Druckguss-Schwingungsdämpfungshalterung erhalten.

**[0034]** Mit einem gleichen Alterungsverfahren gleich wie im Ausführungsbeispiel 1 wird eine Alterungsbehandlung für das Druckgussteil durchgeführt.

**[0035]** Die Probenanalyse zeigt, dass die Härte der Schwingungsdämpfungshalterung größer als 93 HBS ist, die Zugfestigkeit 335 MPa erreicht, die Streckgrenze 263 MPa erreicht, die Dehnung 9.2% beträgt und die Lebensdauer der Zugfestigkeitstests bei einer Last von 7.6 kN mehr als  $1.8 \times 10^6$  Mal beträgt.

### Patentansprüche

1. Aluminiumlegierung für eine Schwingungsdämpfungskomponente eines Automobilmotors, dadurch gekennzeichnet, dass die Aluminiumlegierung Nano-ZrB<sub>2</sub>-Keramikpartikeln und folgende Elementen enthält : 8.0 Gew.%  $\leq$  Si  $\leq$  11.0 Gew.%, 2.0 Gew.%  $\leq$  Cu  $\leq$  3.5 Gew.%, 3.0 Gew.%  $\leq$  Zr  $\leq$  5.0 Gew.%, 0.5 Gew.%  $\leq$  B  $\leq$  1.0 Gew.%, 1.5 Gew.%  $\leq$  Zn  $\leq$  2.5 Gew.%, 0.5 Gew.%  $\leq$  Mg  $\leq$  1.0 Gew.%, 1.0 Gew.%  $\leq$  Fe  $\leq$  1.5 Gew.%, 0.5 Gew.%  $\leq$  Mn  $\leq$  1.0 Gew.%, 0.5 Gew.%  $\leq$  Ni  $\leq$  1.0 Gew.%, 0.1 Gew.%  $\leq$  Er  $\leq$  0.15 Gew.%, Restmenge Al.



2. Druckgussverfahren zur Herstellung eines Druckgussteils aus einer Aluminiumlegierung für eine Schwingungsdämpfungs-komponente eines Automotors, dass es die folgenden Schritte umfasst:
  - (1) einen Schritt von Legierungsschmelzen, wobei eine AlSi<sub>9</sub>Cu<sub>3</sub>-Legierung, die aus  $8.0 \text{ Gew.}\% \leq \text{Si} \leq 11.0 \text{ Gew.}\%$ ,  $2.0 \text{ Gew.}\% \leq \text{Cu} \leq 3.5 \text{ Gew.}\%$ ,  $1.0 \text{ Gew.}\% \leq \text{Zn} \leq 1.5 \text{ Gew.}\%$ ,  $0.3 \text{ Gew.}\% \leq \text{Mg} \leq 0.5 \text{ Gew.}\%$ ,  $\text{Fe} \leq 0.8 \text{ Gew.}\%$ ,  $0.1 \text{ Gew.}\% \leq \text{Mn} \leq 0.5 \text{ Gew.}\%$ , Restmenge Al, und die auf  $750\text{-}780^\circ\text{C}$  geschmolzen und warm gehalten ist;
  - (2) einen Schritt, in dem Nano-ZrB<sub>2</sub>-Keramikverstärkungskörpern in der geschmolzen AlSi<sub>9</sub>Cu<sub>3</sub>-Legierung aus Schritt (1) in situ synthetisiert werden, durch Al-Zr- und Al-B-Zwischenlegierungen zu der geschmolzen AlSi<sub>9</sub>Cu<sub>3</sub>-Legierung aus Schritt (1) hinzugefügt werden, so dass der Gehalt an Zr und B in der resultierenden Verbundschmelze jeweils  $3.0 \text{ Gew.}\%$  bis  $5.0 \text{ Gew.}\%$  und  $0.5 \text{ Gew.}\%$  bis  $1.0 \text{ Gew.}\%$  bestehen, die unter Rühren mittels eines Graphit-Rührerrotors für 10 bis 15 Minuten auf einer Temperatur von  $840\text{-}860^\circ\text{C}$  gehalten wird, und nachher die Temperatur dieser resultierenden Verbundschmelze auf  $730\text{-}750^\circ\text{C}$  abgekühlt wird;
  - (3) einen Schritt, wobei Al-Er-, Al-Fe- und Al-Mn-Zwischenlegierungen, und Ni-Element zu der aus Schritt (2) resultierenden Verbundschmelze zugegeben werden, so dass der Er-Gehalt  $0.1 \text{ Gew.}\%$  bis  $0.15 \text{ Gew.}\%$ , der Fe-Gehalt  $1.0 \text{ Gew.}\%$  bis  $1.5 \text{ Gew.}\%$ , der Mn-Gehalt  $0.5 \text{ Gew.}\%$  bis  $1.0 \text{ Gew.}\%$  und der Ni-Gehalt  $0.5 \text{ Gew.}\%$  bis  $1.0 \text{ Gew.}\%$  in der aus Schritt (3) resultierenden Verbundschmelze bestehen, wobei nachdem die unter Rühren mittels eines Graphit-Rührerrotors und unter Wärmehaltung für 10 bis 15 Minuten gehalten wird, die aus Schritt (3) resultierende Verbundschmelze Raffinations- und Entgasensverfahren unterworfen wird, an denen pulverförmigen Verbundraffinationsmitteln einer Teilchengröße  $<500 \mu\text{m}$ , inert Gas, Raffinationstemperatur von  $730\text{-}750^\circ\text{C}$  und Raffinations- und Wärmehaltungszeit 25-30 Minuten verwendet werden;
  - (4) einen Schritt, wobei Mg und Zn-Elemente unter Verwendung einer Glocke in der auf  $660\text{-}700^\circ\text{C}$  abgekühlten aus Schritt (3) resultierenden Verbundschmelze gedrückt werden, so dass der Mg-Gehalt  $0.5 \text{ Gew.}\%$  bis  $1.0 \text{ Gew.}\%$  und der Zn-Gehalt  $1.5 \text{ Gew.}\%$  bis  $2.5 \text{ Gew.}\%$  in der aus Schritt (4) resultierenden Verbundschmelze bestehen, die danach unter Rühren mittels eines Graphit-Rührerrotors und unter Wärmehaltung für  $>15$  Minuten gehalten wird;
  - (5) einen Schritt, wobei die aus Schritt (4) resultierende Verbundschmelze einem nichtlinearen Druckgießverfahren unterzogen wird, bei dem die Injektionsgeschwindigkeit einer zunehmenden parabolischen Injektion dieser aus Schritt (4) resultierende Verbundschmelze im Formhohlraums der Druckgussmaschine entspricht;
  - (6) einen Schritt, wobei der aus Schritt (5) resultierende Druckgussteil eine Alterungsbehandlung durchgeführt wird.
3. Druckgussverfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Al-Zr-, Al-B-, Al-Er-, Al-Fe- und Al-Mn-Zwischenlegierungen aus Al-10Zr-, Al-10B-, Al-20Er-, Al-20Fe- oder Al-10Mn-Legierungen ausgewählt werden.
4. Druckgussverfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass die aus Schritt (2) Verbundschmelze die ZrB<sub>2</sub>-Keramikpartikeln in eine Größe von 20-80 nm und einen Gehalt dieser ZrB<sub>2</sub>-Keramikpartikeln von 2-6 Gew. % enthält.
5. Druckgussverfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Aluminiumlegierung eine mit Nanopartikeln aus ZrB<sub>2</sub>-Keramik verstärkte Aluminiummatrix enthält, bei der das Innere und die Grenze der Körner gleichmäßig verteilten Nano-ZrB<sub>2</sub>-Keramikverstärkungskörpern enthalten und das Innere der Körner eine Nano-Al<sub>3</sub>Er-Ausfällungsphase mit einer Größe von 2-10 nm enthält.
6. Druckgussverfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass die zunehmende parabolische Injektion der aus Schritt (4) resultierende Verbundschmelze im Formhohlraums der Druckgussmaschine einen nichtlinearen Füllung. mit einer Injektionsgeschwindigkeit 2.5-3 m/s in früher Stufe bis einer maximalen Injektionsgeschwindigkeit 40-50 m/s zum Schluss entspricht, und dass der Druckgießdruck 100-150 MPa beträgt.
7. Druckgussteil hergestellt von einem Druckgussverfahren nach einem der Ansprüche 2 bis 6.



## Figure 1

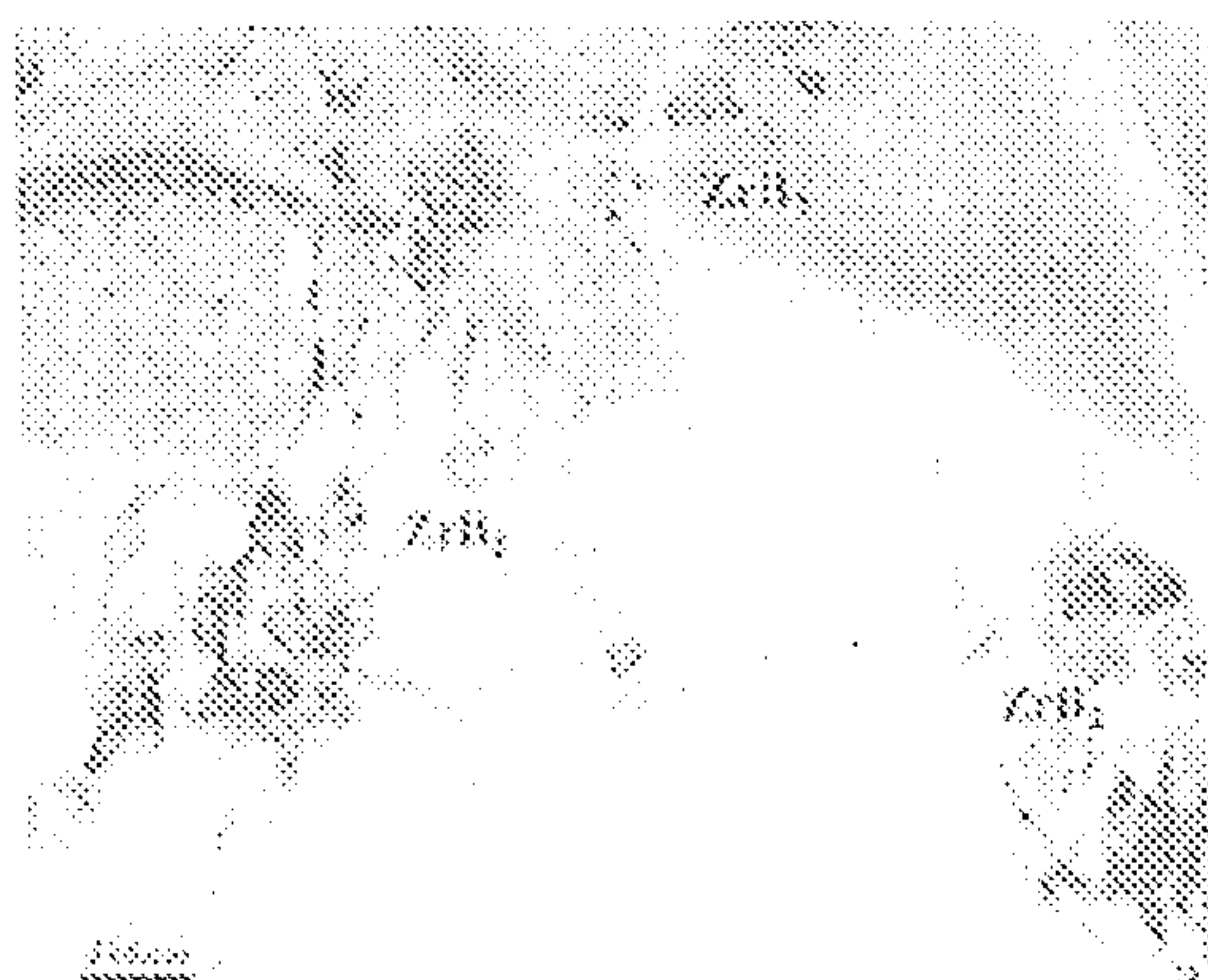


Figure 2