(19) Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 11 2007 002 016 T5** 2009.07.23

(12) **Veröffentlichung**

der internationalen Anmeldung mit der
(87) Veröffentlichungs-Nr.: **WO 2008/026333**
in deutscher Übersetzung (Art. III § 8 Abs. 2 IntPatÜG)
(21) Deutsches Aktenzeichen: **11 2007 002 016.4**
(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/JP2007/053726**
(86) PCT-Anmeldetag: **28.02.2007**
(87) PCT-Veröffentlichungstag: **06.03.2008**
(43) Veröffentlichungstag der PCT Anmeldung
in deutscher Übersetzung: **23.07.2009**

(51) Int Cl.[8]: ***C22C 23/00*** (2006.01)
C22C 23/02 (2006.01)
C22C 23/04 (2006.01)
C22C 32/00 (2006.01)

(30) Unionspriorität:
2006-237926 **01.09.2006** **JP**
2007-026904 **06.02.2007** **JP**

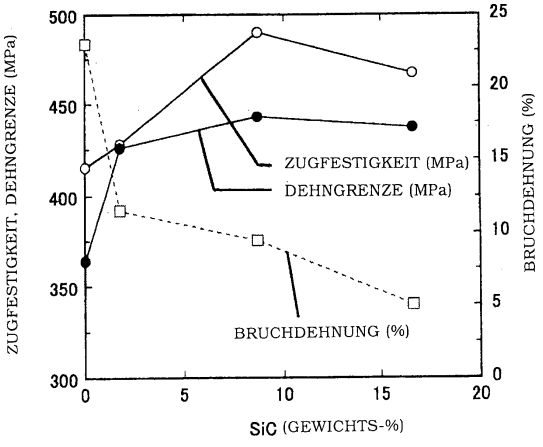
(71) Anmelder:
National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, Tokio/Tokyo, JP

(74) Vertreter:
TER MEER STEINMEISTER & Partner GbR Patentanwälte, 33617 Bielefeld

(72) Erfinder:
Satoh, Tomio, Tosu-shi, Saga, JP; Ueno, Hidetoshi, Tosu-shi, Saga, JP; Ogawa, Yoji, Tosu-shi, Saga, JP

(54) Bezeichnung: **Hochfeste nicht brennbare Magnesiumlegierung**

(57) Hauptanspruch: Hochfeste nicht brennbare Magnesiumlegierung, hergestellt durch Zugeben zumindest eines zusätzlichen Additivs, ausgewählt aus Kohlenstoff (C), Molybdän (Mo), Niob (Nb), Silizium (Si), Wolfram (W), Aluminiumoxid (Al_2O_3), Magnesiumsilicid (Mg_2Si) und Siliziumkarbid (SiC) zu einer nicht brennbaren Magnesiumlegierung, hergestellt durch Zugabe von 0,5 bis 5,0 Massen-% von Kalzium zu einer Magnesiumlegierung.



Beschreibung

TECHNISCHES GEBIET

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft eine hochfeste nicht brennbare Magnesiumlegierung, bei welcher die mechanische Stärke einer nicht brennbaren Magnesiumlegierung verbessert wird.

STAND DER TECHNIK

[0002] Magnesiumlegierungen sind sehr leicht, weshalb sie verstärkt als Ersatz für Aluminium oder Aluminium-Legierungen verwendet werden. Magnesiumlegierungen gehören zu den leichtesten Metallen in der praktischen Verwendung und weisen beispielsweise eine recht hohe spezifische Festigkeit und spezifische Elastizitätsmodul-Werte auf, die sich durch Teilung von Stärke und Elastizitätsmodul durch Dichte ergeben. Dies führt dazu, dass ein wachsender Bedarf für solche Magnesiumlegierungen zukünftig auf industriellen Gebieten erwartet wird, auf denen ein leichtes Gewicht gefordert wird. Obwohl Titan- und Aluminium-Legierungen stark genug sind, weisen sie Nachteile auf, beispielsweise ein weniger leichtes Gewicht und schlechtere stoßabsorbierende Eigenschaften als Magnesiumlegierungen.

[0003] Obwohl gewöhnliche Magnesiumlegierungen eine vergleichsweise hohe spezifische Festigkeit aufweisen, ist ihre absolute Festigkeit niedriger als diejenige von Titan- oder Aluminiumlegierungen. Ein weiterer bekannter Nachteil von Magnesiumlegierungen ist ihr niedriger Zündpunkt, was zu leichter Brennbarkeit führt. Es wurden daher nicht brennbare Magnesiumlegierungen vorgeschlagen, in welchem Kalzium zu einer Magnesiumlegierung hinzugegeben wird, um den Zündpunkt der letzteren zu erhöhen und eine nicht brennbare Magnesiumlegierung zu schaffen, welche sich nicht leicht entzündet, wobei die nicht brennbare Magnesiumlegierung einer plastischen Bearbeitung wie etwa Extrusion, Walzen oder dergleichen unterzogen wird (Patentdokument 1).

[0004] Es wurden verschiedene verbesserte Magnesiumlegierungen vorgeschlagen, die darauf abzielen, eine Festigkeit zu erreichen, die derjenigen von Titan- oder Aluminiumlegierungen entspricht. Beispielsweise wurden Magnesiumlegierungen und Verfahren zur Herstellung derselben vorgeschlagen, bei welchen die Magnesiumlegierungen eine hohe Festigkeit, eine hohe spezifische Festigkeit und eine kleine Korngröße nach plastischer Verformung aufweisen, welche nicht brennbaren Magnesiumlegierungen erhalten werden durch Zugabe einer vorbestimmten Menge von Ca, Zn und X zu Mg (wobei X ein Element der seltenen Erden bezeichnet, ausgewählt aus der Gruppe bestehend aus Y, Ce, La, Nd, Pr, Sm und Mm), wobei die Magnesiumlegierung eine Struktur aufweist, in welcher die vorstehend genannten Komponenten fein verteilt sind (siehe beispielsweise Patentdokument 2). Die Feinstruktur wird im einzelnen durch Zugabe einer vorbestimmten Menge eines Elements der seltenen Erden und durch Zerstäubung zur Schnellverfestigung erreicht.

[0005] Es wurde ferner eine Magnesiumlegierung vorgeschlagen, welche 0,03 bis 0,54 At-% eines gelösten Atoms aus der Gruppe 2 oder 3 der Lanthanoid-Serie des Periodensystems enthält, welches einen größeren Atomradius als Magnesium aufweist, sowie Ausgleichsmagnesium, wobei die Magnesiumlegierung gleichermaßen eine hohe Festigkeit und hohe Leitfähigkeit aufweist (siehe beispielsweise Patentdokument 3). Diese Magnesiumlegierung weist eine Feinkornstruktur auf, in welcher die durchschnittliche Korngröße nicht größer ist als 1,5 µm und die gelösten Atome in der Nähe der Korngrenzen stärker in einer Konzentration des 1,5- bis 10-fachen auftreten als die gelösten Atome in den Kristallkörnern.

[0006] Andere vorgeschlagene Magnesiumlegierungen zeigen sowohl eine hohe Festigkeit als auch eine hohe Leitfähigkeit auf und umfassen eine Legierung, in welcher Magnesium 1,0 bis 4,0 At-% von Zn und 1,0 bis 4,5 At-% von Y in einem vorbestimmten Zusammensetzungsverhältnis von Zn und Y enthält, wobei die Struktur der Legierung gleichermaßen eine Zwischenmetallverbindung Mg_3Y_2Zn und $Mg_{12}YZn$ mit einer langperiodischen Struktur enthält (siehe beispielsweise Patentdokument 4). Die Dehngrenze, die Zugstärke und die Streckdehnung der Legierung werden aufgrund der gleichzeitigen Anwesenheit der Zwischenmetallverbindung Mg_3Y_2Zn und der langperiodischen Phase von $Mg_{12}YZn$ verbessert.

[0007] Wie zuvor beschrieben, weisen nicht brennbare Magnesiumlegierungen, die man durch Zugabe von Kalzium zu einer Magnesiumlegierung erhält, einen hohen Zündpunkt, eine hohe mechanische Stärke und eine gute Handhabbarkeit auf. Es wurden daher Techniken zur Ausnutzung dieser vorteilhaften Eigenschaften vorgeschlagen, durch welche solche nicht brennbaren Magnesiumlegierungen in Produkte wie etwa Helme (siehe beispielsweise Patentdokument 5) und Brillengestelle (siehe beispielsweise Patentdokument 6) eingearbeitet wurden. Ferner können Magnesiumlegierungen potentiell in Bauteile in einer großen Vielfalt von An-

wendungen verwendet werden, beispielsweise in beweglichen Aufbauten von Automobilen, in Zweirädern, Schienenfahrzeugen, Luftfahrzeugen, Robotern und dergleichen, sowie in Hilfsvorrichtungen, Vorrichtungen für ältere Menschen und dergleichen.

[0008] Solche Bauteile erfordern unvermeidlicherweise eine Verbindung, insbesondere ein Schweißen zwischen Bauteilen. Es wurden unterschiedliche Magnesiumslegierungen-Schweißtechnologien entwickelt, beispielsweise Laserschweißen, TIG-Schweißen, MIG-Schweißen und dergleichen. Es wurde eine Magnesium-Schweißlinie offenbart, bei welcher beispielsweise ein Grundmaterial wie etwa ein extrudiertes Produkt einer Magnesiumbasis-Legierung, allerdings nicht eine nicht brennbare Magnesiumlegierung gemäß der vorliegenden Erfindung, gezogen wird, gefolgt von einem Oberflächen-Abschälen, zur Erzeugung einer Magnesium-Schweißlinie mit einer exzellent zu reinigenden Oberfläche (siehe beispielsweise Patentdokument 7). Obwohl dies keine nicht brennbaren Magnesiumlegierungen gemäß der vorliegenden Erfindung sind, weisen bekannte Drähte aus einer Legierung auf Magnesiumbasis eine hervorragende Stärke und Leitfähigkeit auf und umfassen beispielsweise Legierungen auf Magnesiumbasis mit Komponenten wie etwa Al, Mn, Zn, Zr und Elemente der seltenen Erden (siehe beispielsweise Patentdokument 8).

[0009] Wie zuvor erwähnt, weisen nicht brennbare Magnesiumlegierungen, die man durch Zugabe von Kalzium zu einer Magnesiumlegierung erhält, einen hohen Zündpunkt, eine hohe mechanische Stärke und eine gute Handhabbarkeit auf. Spezifische Beispiele, in denen diese Vorteile ausgenutzt werden, zeigen die oben erwähnten Patentdokumente 5 und 6, welche Verbindungen offenbaren, in denen getrennte Teile einstückig verbunden werden, wobei die Teile aneinander anstoßen und durch Schmelzschweißen wie beispielsweise durch Laserschweißen, TIG-Schweißen oder MIG-Schweißen verbunden werden.
Patentdokument 1: JP 2000-109963 A
Patentdokument 2: JP 9-41065 A
Patentdokument 3: JP 2006-16658 A
Patentdokument 4: JP 2006-97037 A
Patentdokument 5: JP 2005-350808 A
Patentdokument 6: JP 2005-196094 A
Patentdokument 7: JP 2006-263744 A
Patentdokument 8: Japanisches Patent Nr. 3592310

[0010] Wie zuvor beschrieben, wurden unterschiedliche Technologien zur Verbesserung der mechanischen Eigenschaften von Magnesiumlegierungen vorgeschlagen. Magnesiumlegierungen bleiben jedoch mit verschiedenen Problemen verhaftet, so dass sie für verschiedene Produkte nur unzufriedenstellend und unzureichend verwendbar sind. Die Anmelder hatten bereits die Technologie des Patentdokuments 1 beansprucht, in welchem eine hochfeste nicht brennbare Magnesiumlegierung eine Legierung mit 1,0 bis 15 Massen-% Ca ist, zu welcher Al und Zn teilweise hinzugegeben werden. Die vorliegende Erfindung, welche die zuvor erwähnte Technologie weiter entwickelt, bildet eine noch stärkere Legierung. In Patentdokument 2 müssen teure seltene Erden hinzugegeben werden, und daher ist die hierdurch erzeugte Legierung unvermeidlicherweise eine hochpreisige Legierung. Ferner erfordert die Technologie des Patentdokuments 2 eine Zerstäubung zur Schnellverfestigung und erfordert hoch technologische Mittel. Obwohl die Legierung gemäß Patentdokument 2 eine hohe Festigkeit aufweist, mit einer Dehngrenze von 510 bis 635 MPa, ist die Bruchdehnung dieser Legierung sehr klein, nämlich mit 1,0 bis 4,0%, was charakteristisch für ein hoch brüchiges Material ist.

[0011] Patentdokument 3 zeigt eine Legierung mit verbesserter Streckspannung und Dehnung. Mit Ausnahme des spezifischen Lösungsatoms Ca sind jedoch alle weiteren Elemente seltene Erden, welches zu einer hochpreisigen Legierung führt, wie im vorstehend genannten Fall. Die Magnesiumlegierung gemäß Patentdokument 4 erreicht eine Zugfestigkeit von 390 bis 520 MPa und eine Bruchdehnung von 4,5 bis 10,3% bei gleichzeitiger Anwesenheit der Zwischenmetallverbindung Mg_3Y_2Zn und der langperiodischen Phase $Mg_{12}YZn$. Dies zeigt, dass eine Kombination von hoher Stärke und hoher Dehnbarkeit nicht bei Anwesenheit entweder der Zwischenmetallverbindung oder der langperiodischen Phase allein erreicht werden kann.

[0012] Die Technologie des Patentdokuments 7 betrifft eine Magnesiumschweißlinie, wobei der Zweck dieser Technologie ist, die Reinigungsmöglichkeit der Oberfläche der Schweißlinie zu verbessern. Diese Technik betrifft nicht die Zusammensetzung eines sogenannten Schweißzusatzes, wie etwa einer Schweißlinie oder eines Schweißstabs. Ferner ist die Schweißlinie keine nicht brennbare Magnesiumlegierung. Obwohl sich die Technologie des Patentdokuments 8 auf einen Legierungsdraht auf Magnesiumbasis bezieht, umfaßt der Draht Komponenten wie etwa Al, Mn, Zn, Zr und Elemente der seltenen Erden. Die Zusammensetzung des Drahts aus einer Legierung auf Magnesiumbasis unterscheidet sich somit von derjenigen der hochfesten nicht brennbaren Magnesiumlegierung der vorliegenden Erfindung. Es ist der Zweck des Patentdokuments 8, eine Feder

unter Verwendung des Drahtes zu schaffen. Obwohl Patentdokument 8 die Möglichkeit erwähnt, den Draht als Schweißlinie zu verwenden, wird kein spezifisches Ausführungsbeispiel einer solchen Verwendung offenbart. Ferner betrifft die Schweißlinie keine nicht brennbare Magnesiumlegierung.

[0013] Patentdokument 5 offenbart die Möglichkeit der Verwendung einer nicht brennbaren Magnesiumlegierung in einem Helm, und das Merkmal des Schweißens einer nicht brennbaren Magnesiumlegierung, was fallweise Schmelzschweißen wie etwa Laserschweißen, TIG-Schweißen, MIG-Schweißen oder dergleichen erfordern kann. Patentdokument 5 erwähnt jedoch kein spezifisches Beispiel für ein solches Merkmal. Bei dem Gegenstand des Patentdokuments 5 ist darüber hinaus die nicht brennbare Magnesiumlegierung das Material, das auf der Schweißseite geschweißt wird, und kein Schweißzusatz zum Schweißen.

[0014] Somit werden die Vorteile der zuvor beschriebenen Magnesiumlegierungen der Patentdokumente 2, 3 und 4 durch ihre Nachteile bezüglich Eigenschaften aufgewogen, die für Konstruktionsmaterialien erforderlich sind. In allen Fällen werden teure Materialien wie seltene Erden zu den Legierungen hinzugegeben. Dies ist insofern problematisch, als das die Magnesiumlegierungen, die schließlich hergestellt werden, entsprechend teuer werden. Obwohl Patentdokumente 5 und 6 Verbindungstechnologien offenbaren, sind die dort verwendeten nicht brennbaren Magnesiumlegierungen nicht die erfindungsgemäße hochfeste nicht brennbare Magnesiumlegierung gemäß der vorliegenden Erfindung. Die Technologien aus den Patentdokumente 7 und 8 schließen die Verbesserung der Oberflächeneigenschaften einer Schweißlinie ein oder die Verwendung seltener Erdelemente, und betreffen die Verbesserung der mechanischen Eigenschaften des Drahtes selbst. In beiden Patentdokumenten 7 und 8 sind die Eigenschaften des Drahtes, welcher nicht die nicht brennbare Magnesiumlegierung gemäß der vorliegenden Erfindung ist, unzureichend.

OFFENBARUNG DER ERFINDUNG

[0015] Im Lichte der o. g. Aspekte der herkömmlichen Technologien, sucht die vorliegende Erfindung die folgenden Ziele zu erreichen.

[0016] Es ist ein Ziel der vorliegenden Erfindung, eine nicht brennbare Magnesiumlegierung zu schaffen, welche hohe Festigkeitseigenschaften aufweist, einschließlich hoher Zugfestigkeit und hoher Dehngrenze, durch Zusatz unterschiedlicher Elemente und/oder Verbindungen, ohne dass Legierungselemente verwendet werden, die auf Elemente der seltenen Erden beschränkt sind.

[0017] Es ist ein weiteres Ziel der vorliegenden Erfindung, eine nicht brennbare Magnesiumlegierung zu schaffen, welche eine verbesserte stabile Schweißbarkeit bei niedrigen Kosten aufweist und als Schweißzusatz verwendet werden kann.

[0018] Die vorliegende Erfindung erreicht die o. g. Ziele auf Grundlage der folgenden Mittel.

[0019] Die hochfeste nicht brennbare Magnesiumlegierung gemäß Erfindung 1 ist eine hochfeste nicht brennbare Magnesiumlegierung, die hergestellt wird durch Zugeben zumindest eines zusätzlichen Additivs, ausgewählt aus Kohlenstoff (C), Molybdän (Mo), Niob (Nb), Silizium (Si), Wolfram (W), Aluminiumoxid (Al_2O_3), Magnesiumsilicid (Mg_2Si) und Siliciumkarbid (SiC) zu einer nicht brennbaren Magnesiumlegierung, hergestellt durch Zugabe von 0,5 bis 5,0 Massen-% von Kalzium zu einer Magnesiumlegierung.

[0020] Eine hochfeste nicht brennbare Magnesiumlegierung gemäß Erfindung 2 wird gebildet durch Erfindung 1, bei welcher die Menge von Kohlenstoff (C) des zusätzlichen Additivs 0,1 bis 0,3 Massen-% beträgt.

[0021] Eine hochfeste nicht brennbare Magnesiumlegierung gemäß Erfindung 3 wird gebildet durch Erfindung 1, bei welcher die Menge von Molybdän (Mo) des zusätzlichen Additivs 1,0 bis 12,0 Massen-% beträgt.

[0022] Eine hochfeste nicht brennbare Magnesiumlegierung gemäß Erfindung 4 wird gebildet durch Erfindung 1, bei welcher die Menge von Niob (Nb) des zusätzlichen Additivs 0,5 bis 5,0 Massen-% beträgt.

[0023] Eine hochfeste nicht brennbare Magnesiumlegierung gemäß Erfindung 5 wird gebildet durch Erfindung 1, bei welcher die Menge von Silicium (Si) des zusätzlichen Additivs 0,5 bis 6,0 Massen-% beträgt.

[0024] Eine hochfeste nicht brennbare Magnesiumlegierung gemäß Erfindung 6 wird gebildet durch Erfindung 1, bei welcher die Menge von Wolfram (W) des zusätzlichen Additivs 5,0 bis 40,0 Massen-% beträgt.

[0025] Eine hochfeste nicht brennbare Magnesiumlegierung gemäß Erfindung 7 wird gebildet durch Erfindung 1, bei welcher die Menge von Aluminiumoxid (Al_2O_3) des zusätzlichen Additivs 1,0 bis 5,0 Massen-% beträgt.

[0026] Eine hochfeste nicht brennbare Magnesiumlegierung gemäß Erfindung 8 wird gebildet durch Erfindung 1, bei welcher die Menge von Magnesiumsilicid (Mg_2Si) des zusätzlichen Additivs 2,0 bis 6,0 Massen-% beträgt.

[0027] Eine hochfeste nicht brennbare Magnesiumlegierung gemäß Erfindung 9 wird gebildet durch Erfindung 1, bei welcher die Menge von Siliciumkarbid (SiC) des zusätzlichen Additivs 0,7 bis 20,0 Massen-% beträgt.

[0028] Eine hochfeste nicht brennbare Magnesiumlegierung gemäß Erfindung 10 wird gebildet durch Erfindung 1, bei welcher die Magnesiumlegierung eine Magnesiumlegierung mit 0 bis 12,0 Massen-% Aluminium enthält, 0 bis 5,0 Massen-% Zink und nicht mehr als 0,5 Massen-% Mangan.

[0029] Eine hochfeste nicht brennbare Magnesiumlegierung gemäß Erfindung 11 wird gebildet durch Erfindung 1, bei welcher die Magnesiumlegierung aus der folgenden Gruppe ausgewählt ist: AZ31-Legierung, AZ61-Legierung, AZ80-Legierung, AZ91-Legierung, AZ92-Legierung, AZ50-Legierung, AM60-Legierung und AM 100-Legierung, gemäß der American Society for Testing and Materials (ASTM).

[0030] Eine hochfeste nicht brennbare Magnesiumlegierung gemäß Erfindung 12 wird gebildet durch Erfindung 1, bei welcher die nicht brennbare Magnesiumlegierung ein zerkleinertes Produkt enthält, das erhalten wird aus einem Basismaterial der nicht brennbaren Magnesiumlegierung.

[0031] Eine hochfeste nicht brennbare Magnesiumlegierung gemäß Erfindung 13 wird gebildet durch Erfindung 1, bei welcher die hochfeste nicht brennbare Magnesiumlegierung eine Legierung ist, die hergestellt wird durch Zugeben des zusätzlichen Additivs, gefolgt von plastischer Bearbeitung, bei welcher eine dauerhafte Verformung durch Anwendung einer äußeren Kraft durchgeführt wird.

[0032] Eine hochfeste nicht brennbare Magnesiumlegierung gemäß Erfindung 14 wird gebildet durch Erfindung 12, bei welcher das zerkleinerte Produkt aus Schneidspänen besteht, die durch Schneiden erhalten werden, oder aus einem Pulver derselben.

[0033] Eine hochfeste nicht brennbare Magnesiumlegierung gemäß Erfindung 15 wird gebildet durch Erfindung 13, bei welcher die plastische Bearbeitung eine Extrusion, Ziehen, Walzschmieden oder Walzen ist, oder eine Kombination von einer oder mehreren dieser Bearbeitungsarten.

[0034] Eine hochfeste nicht brennbare Magnesiumlegierung gemäß Erfindung 16 wird gebildet durch eine der vorhergehenden Erfindungen 1 bis 15, bei welcher eine Legierung, die gebildet wird durch Zugabe des zusätzlichen Additivs, eine Legierung ist, die einen Schweißzusatz bildet.

[0035] Eine hochfeste nicht brennbare Magnesiumlegierung gemäß Erfindung 17 wird gebildet durch Erfindung 16, bei welcher der Schweißzusatz ein drahtförmiges oder stangenförmiges Schweißmaterial ist.

[0036] Wie oben erwähnt, ist die hochfeste nicht brennbare Magnesiumlegierung gemäß der vorliegenden Erfindung eine preiswerte nicht brennbare Magnesiumlegierung, welcher eine Zugfestigkeit und eine hohe Dehngrenze durch ergänzende Additive in Form verschiedener Elemente und/oder Verbindungen verliehen werden, ohne Verwendung von Legierungselementen, die auf teure Elemente seltener Erden beschränkt sind, und durch Formen, Sintern und plastisches Bearbeiten eines zerkleinerten Produkts. Da der Zündpunkt durch die Zugabe von Ca erhöht ist, kann die nicht brennbare Magnesiumlegierung gemäß der vorliegenden Erfindung als Schweißzusatz unter gewöhnlichen Bedingungen verwendet werden, ohne dass starke Ausdünstungen beim Schweißen auftreten (solche Ausdünstungen sind Substanzen, die durch Hitze während des Schweißens oder des Scherens verdampft werden und welche in feste Mikropartikel abkühlen). Ferner ist die Bindungsfähigkeit der hochfesten nicht brennbaren Magnesiumlegierung bei niedrigen Kosten verbessert, durch effektive Verwendung eines zerkleinerten Produkts wie etwa Schneidspänen oder dergleichen.

KURZBESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

[0037] Fig. 1 ist ein Datendiagramm von Zugfestigkeits-Testversuchsergebnissen einer hochfesten nicht

brennbaren Magnesiumlegierung, in welcher C zu einem zerkleinerten Produkt einer nicht brennbaren Magnesiumlegierung "AM60B+2Ca-Legierung" hinzugegeben wurde;

[0038] Fig. 2 ist ein Datendiagramm von Zugfestigkeits-Versuchsergebnissen einer hochfesten nicht brennbaren Magnesiumlegierung, bei welcher Mo zu einem zerkleinerten Produkt einer nicht brennbaren Magnesiumlegierung "AM60B+2Ca-Legierung" hinzugegeben wurde;

[0039] Fig. 3 ist ein Datendiagramm von Zugfestigkeits-Versuchsergebnissen einer hochfesten nicht brennbaren Magnesiumlegierung, bei welcher Nb zu einem zerkleinerten Produkt einer nicht brennbaren Magnesiumlegierung "AM60B+2Ca-Legierung" hinzugegeben wurde;

[0040] Fig. 4 ist ein Datendiagramm von Zugfestigkeits-Versuchsergebnissen einer hochfesten nicht brennbaren Magnesiumlegierung, bei welcher Si zu einem zerkleinerten Produkt einer nicht brennbaren Magnesiumlegierung "AM60B+2Ca-Legierung" hinzugegeben wurde;

[0041] Fig. 5 ist ein Datendiagramm von Zugfestigkeits-Versuchsergebnissen einer hochfesten nicht brennbaren Magnesiumlegierung, bei welcher W zu einem zerkleinerten Produkt einer nicht brennbaren Magnesiumlegierung "AM60B+2Ca-Legierung" hinzugegeben wurde;

[0042] Fig. 6 ist ein Datendiagramm von Zugfestigkeits-Versuchsergebnissen einer hochfesten nicht brennbaren Magnesiumlegierung, bei welcher Al_2O_3 zu einem zerkleinerten Produkt einer nicht brennbaren Magnesiumlegierung "AM60B+2Ca-Legierung" hinzugegeben wurde;

[0043] Fig. 7 ist ein Datendiagramm von Zugfestigkeits-Versuchsergebnissen einer hochfesten nicht brennbaren Magnesiumlegierung, bei welcher Mg_2Si zu einem zerkleinerten Produkt einer nicht brennbaren Magnesiumlegierung "AM60B+2Ca-Legierung" hinzugegeben wurde;

[0044] Fig. 8 ist ein Datendiagramm von Zugfestigkeits-Versuchsergebnissen einer hochfesten nicht brennbaren Magnesiumlegierung, bei welcher SiC zu einem zerkleinerten Produkt einer nicht brennbaren Magnesiumlegierung "AM60B+2Ca-Legierung" hinzugegeben wurde;

[0045] Fig. 9 ist ein Datendiagramm zur Darstellung von Zugfestigkeits-Versuchsergebnissen, einschließlich eines Vergleichsbeispiels, einer Platte, die mit einer hochfesten nicht brennbaren Magnesiumlegierung, welche zusätzliche additive Elemente enthielt, als Schweißzusatz geschweißt wurde; und

[0046] Fig. 10 ist ein Datendiagramm zur Darstellung von Zugfestigkeits-Versuchsergebnissen, einschließlich eines Vergleichsbeispiels, einer Platte, die unter Verwendung einer hochfesten nicht brennbaren Magnesiumlegierung, welche zusätzliche Additiv-Verbindungen enthielt, als Schweißzusatz geschweißt wurde.

BESTE FORM ZUR AUSFÜHRUNG DER ERFINDUNG

[0047] Hochfeste nicht brennbare Magnesiumlegierung Ausführungsformen der nicht brennbaren Magnesiumlegierung gemäß der vorliegenden Erfindung werden im folgenden detailliert beschrieben.

[0048] Zum leichteren Verständnis der vorliegenden Erfindung wird zunächst die Magnesiumlegierung erläutert. Die Magnesiumlegierung ist beispielsweise gemäß der American Society for Testing and Materials (im folgenden als "ASTM" bezeichnet) oder nach dem japanischen Industriestandard (nachfolgend als "JIS" bezeichnet) standardisiert. Magnesiumlegierungen können grob unterteilt werden in gegossene Magnesiumlegierungen und geschmiedete Legierungen. Im folgenden werden die Bereiche für minimale bis maximale Werte der mechanischen Eigenschaften angegeben, wie sie in ASTM und JIS für beide Arten von Legierungen angegeben werden. Die chemischen Zusammensetzungen dieser Legierungen sind standardisiert und nach dem Stand der Technik bekannt, so dass auf eine genaue Beschreibung derselben verzichtet werden kann.

[0049] Die mechanischen Eigenschaften gegossener Magnesiumlegierungen sind wie folgt. Zugfestigkeit: 140 MPa (AM100A-F-Material) bis 270 MPa (ZK61A-T5, T6 als behandeltes Material). Dehngrenze: 70 MPa (AM100A-F-Material) bis 180 MPa (ZK61A-T5, T6 als behandeltes Material). Dehnung: Um 0% (AM100A-F-Material) bis 10% (AM50A-F-Material).

[0050] Die mechanischen Eigenschaften geschmiedeter Magnesiumlegierungen sind wie folgt. Zugfestigkeit: 190 MPa (AZ31C-O-Material) bis 310 MPa (ZK60A-T5 behandeltes Material). Dehngrenze: 90 MPa

(AZ31C-O-Material) bis 230 MPa (ZK60A-T5 behandeltes Material). Dehnung: 4% (AZ31C-H14 behandeltes Material) bis 13% (AZ31C-O-Material).

[0051] Plastische Bearbeitung und thermomechanische Behandlung bewirken, dass sich die mechanischen Eigenschaften von Metallen, wie etwa Stärke und Dehnbarkeit, bei geschmiedeten Legierungen wesentlich stärker verbessern als bei gegossenen Legierungen. Obwohl sich mechanische Eigenschaften auch bei Magnesiumlegierungen wie oben beschrieben verbessern, verbessern sich Stärke und Dehnbarkeit nicht in dem Ausmaß wie in anderen Metallen. Weitere technische Entwicklungen führten zu den Technologien, die in den oben beschriebenen Patentdokumenten dargestellt sind.

[0052] Bei der vorliegenden Ausführungsform wurde einer nicht brennbaren Magnesiumlegierung, welcher die Nichtbrennbarkeit mittels Zugabe von Ca verliehen wurde, ferner ein zusätzliches Additiv hinzugegeben, in Form preiswerter Elemente oder Verbindungen, zur Verbesserung der mechanischen Stärke der nicht brennbaren Magnesiumlegierung. Die vorliegende Ausführungsform schlägt eine hochfeste nicht brennbare Magnesiumlegierung vor, deren mechanische Eigenschaften eine Zugfestigkeit umfassen, die nicht kleiner ist als 419 MPa bei Raumtemperatur, und deren Dehngrenze nicht kleiner ist als 380 MPa, und welche erhalten wird durch Verwendung eines zerkleinerte Produkts einer nicht brennbaren Magnesiumlegierung, die anschließend geformt, gesintert und plastisch bearbeitet wird.

[0053] Diese Legierung wird im folgenden erläutert. Die Magnesiumlegierung, die in den Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung dargestellt ist, ist eine gegossene Magnesiumlegierung, die gemäß ASTM als "AM60D" bezeichnet wird. Die Legierungen, für welche die Ausführungsform der vorliegenden Erfindung verwendet werden kann, sind nicht notwendigerweise auf diese gegossene Magnesiumlegierung "AM60D" beschränkt, sondern es kann sich auch um andere Magnesiumlegierungen handeln. Zu dieser Legierung werden 0,5 bis 5,0 Massen-% Ca hinzugegeben. Bei der vorliegenden Ausführungsform werden 2 Massen-% Ca hinzugegeben.

[0054] AM60D ist eine gegossene hochreine Magnesiumlegierung, welche wenig Fe-, Ni- und Cu-Unreinheiten im Hinblick auf eine Verbesserung des Korrosionswiderstands enthält. Die grundsätzliche chemische Zusammensetzung dieser Legierung ist: 5,5 bis 6,5 Massen-% Al, 0,24 bis 0,6 Massen-% Mn und Magnesium zum Ausgleich. Kalzium wird dieser Legierung hinzugegeben, um eine nicht brennbare Magnesiumlegierung zu erzielen. Wie zuvor beschrieben, reicht die Menge des hinzugegebenen Kalziums vorzugsweise von 0,5 bis 5,0 Massen-%.

[0055] Magnesium weist eine dicht gepackte hexagonale Kristallstruktur auf. Daher ist die plastische Verarbeitbarkeit von Magnesium bei Raumtemperatur sehr schlecht, und daher kann Magnesium nicht kalt verarbeitet werden. Obwohl die plastische Verarbeitbarkeit sich bei einer Heißbearbeitung verbessert, bleibt Magnesium schwieriger zu Feinstrukturen zu verarbeiten als andere Metalle. Daher umfaßt die Verarbeitung von Magnesiumlegierungen hauptsächlich Gussmethoden. Die Abgüsse, die durch Gießen erhalten werden, sowie geschmiedete und gestauchte Materialien, die durch plastische Bearbeitung erhalten werden, erhalten oft ihre Endform durch Spanbearbeitung. Es bestehen jedoch Grenzen bei der Behandlung von Schneidspänen, die während der Spanbearbeitung erzeugt werden, was zu Lasten der Behandlungskosten geht, während die Wiederverwertung unbehandelter Schneidspäne als Recyclingmaterial mit verschiedenen Problemen verbunden ist.

[0056] Obwohl die effektive Verwendung von Schneidspänen der Gegenstand fortlaufender Untersuchungen war, sind keine abschließenden Fälle bekannt geworden, in welchen solche Versuche zur praktischen Verwendung geführt wurden. Im vorliegenden Beispiel wurden Schneidspäne aus nicht brennbarer Magnesiumlegierung als Basismaterial verwendet. Diese nicht brennbare Magnesiumlegierung kann aufgrund ihrer guten Schneideigenschaften mit hoher Geschwindigkeit gefräst werden. Schneidspäne können daher in größerem Umfang anfallen. Die vorliegende Erfindung ist jedoch nicht auf Schneidspäne begrenzt und kann auch Pulver oder kleinteilige Brocken umfassen, sofern diese spanartig sind.

[0057] Verfahren zur Herstellung der hochfesten nicht brennbaren Magnesiumlegierung.

[0058] Im folgenden wird ein Verfahren zur Herstellung der hochfesten nicht brennbaren Magnesiumlegierung gemäß der vorliegenden Erfindung erläutert. Bei der vorliegenden Ausführungsform war die grundlegende Magnesiumlegierung die nicht brennbare Magnesiumlegierung "AM60B+2Ca-Legierung", zu welcher zwei Massen-% Ca hinzugegeben wurde. Obwohl AM60B ursprünglich eine gegossene Magnesiumlegierung ist, kann sie auch einer plastischen Bearbeitung wie etwa Extrusion oder dergleichen unterzogen werden, wenn sie heiß

verarbeitet wird. Eine plastische Bearbeitung schließt beispielsweise Extrusion, Ziehen, Schmieden, Walzschmieden, Walzen und dergleichen ein. Die Zugabe von zwei Massen-% Ca zu dem AM60B erlaubt ein Anheben der Zündtemperatur der nicht brennbaren Magnesiumlegierung "AM60B+2Ca-Legierung", welche durch Zugabe von 2 Massen-% Ca zu dieser AM60B-Legierung erhalten wird, auf 200 bis 300°C.

[0059] Dies führt dazu, dass Schmelzvorgänge sicher in der Atmosphäre durchgeführt werden können. Die nicht brennbare Magnesiumlegierung "AM60B+2Ca-Legierung" muß kleine spanartige Stücke aufweisen, die für einen nachfolgenden Zerkleinerungsschnitt geeignet sind. Bei der vorliegenden Ausführungsform wurden geeigneterweise Schneidspäne verwendet, die vom Schneiden der nicht brennbaren Magnesiumlegierung "AM60B+2Ca-Legierung" stammen. Es erübrigt sich zu sagen, dass die kleinen spanartigen Stücke nicht auf Schneidspäne beschränkt sind, die durch Spanbearbeitung erzeugt werden, und es können beispielsweise verschiedene Schneidspäne und Schleifstaub als Abfall verschiedener mechanischer Bearbeitungsprozesse verwendet werden, sowie Pressabfall von einer Scherbearbeitung, von Lochen oder dergleichen, Zerkleinerungsabfall von Zerkleinerern, oder ein zerkleinertes Produkt kleiner spanartiger Stücke von Gussvorgängen oder Schmiedevorgängen. Eine Kugelmühle oder dergleichen kann dazu verwendet werden, ein zerkleinertes Produkt aus solchen kleinen spanartigen Stücken zu erzeugen.

[0060] Bei der nicht brennbaren Magnesiumlegierung der vorliegenden Ausführungsform wurde die Nichtbrennbarkeit durch Zugabe von Ca erzielt, und es ist daher sicher, das zerkleinerte Produkt in der Atmosphäre bei gewöhnlichen Temperaturen stehen zu lassen. Beispielsweise liegt die niedrigste Explosivgrenze eines zerkleinerten Produkts der nicht brennbaren Magnesiumlegierung "AM60B+2Ca" mit einer durchschnittlichen Partikelgröße von 146 μm bei 100 Mg/m^3.

[0061] Dieser Wert ist höher als derjenige von Aluminiumstaub (35 Mg/m^3) und liegt in der Größenordnung von Eisenstaub (< 120 mg/m^3). Das zerkleinerte Produkt kann daher leicht gehandhabt werden, bei wesentlich reduzierter Explosionsgefahr.

[0062] Ein vorbestimmtes Element oder eine Verbindung wird hinzugegeben als ergänzendes Additiv, was ein Merkmal der vorliegenden Erfindung ist, wenn man ein zerkleinertes Produkt aus kleinen spanartigen Stücken erhält. Das ergänzende Additiv ist nicht auf ein Element der seltenen Erden beschränkt und kann unterschiedliche Elemente oder vorbestimmte Verbindungen derselben umfassen, etwa in den folgenden Anteilen: 0,1 bis 0,3 Massen-% C, 1,0 bis 12,0 Massen-% Mo, 0,5 bis 5,0 Massen-% Nb, 0,5 bis 6,0 Massen-% Si, 5,0 bis 40,0 Massen-% W, 1,0 bis 5,0 Massen-% Al_2O_3, 2,0 bis 6,0 Massen-% Mg_2Si, 0,7 bis 20,0 Massen-% SiC.

[0063] Diese Begrenzungen bezüglich der Arten von Elementen oder Verbindungen und der Zugabemengen derselben bezeichnen die Bereiche, innerhalb derer der hergestellten nicht brennbaren Magnesiumlegierung eine hohe Festigkeit verliehen werden kann, welcher Effekt der Erhöhung der Festigkeit außerhalb dieser Bereiche schwächer ist. Eine Art oder ausgewählte verschiedene Arten der Elemente oder Verbindungen werden zusätzlich hinzugegeben, um gleichzeitig die Zerkleinerung der kleinen spanartigen Stücke und die Kombination der Elemente oder Verbindungen durchzuführen. Im einzelnen wird die Erstarrungsstruktur der nicht brennbaren Magnesiumlegierung in Form der kleinen spanartigen Stücke durch den Zerkleinerungsprozess aufgebrochen und in eine feine homogene Struktur umgewandelt. Gleichzeitig hiermit wird der ergänzende Zusatz gleichförmig in das Pulver aufgenommen, so dass hierdurch die feine und homogene Struktur der nicht brennbaren Magnesiumlegierung geschaffen wird.

Formen und Sintern

[0064] Die zerkleinerte nicht brennbare Magnesiumlegierung, die somit eine feine und homogene Struktur aufweist, wird anschließend geformt und gesintert. Das Formen kann sowohl durch Kaltformen oder durch Heißformen erfolgen, doch zur Abkürzung dieses Vorgangs wird das Formen bevorzugt durch Heißformen durchgeführt, da letzteres gleichzeitig mit dem Sintern stattfinden kann. Sintern durch gepulsten elektrischen Strom ist ein bekanntes Verarbeitungsverfahren, bei welchem eine Probe in eine Graphitform gefüllt wird und anschließend durch einen Fluß pulsartiger Ströme gesintert wird, während die Probe komprimiert wird. In dem vorliegenden Beispiel ist die Probe das zuvor beschriebene zerkleinerte Produkt aus der nicht brennbaren Magnesiumlegierung. Ein solches Verarbeitungsverfahren ist insofern vorteilhaft, dass das zerkleinerte Produkt mit guter Effizienz erhitzt werden kann, und das Sintern kann schnell durchgeführt werden.

[0065] Ein barrenförmiger gesinterter Block aus dem zerkleinerten Produkt der nicht brennbaren Magnesiumlegierung wird anschließend durch plastische Verarbeitung geformt und gesintert. Durch Ausübung einer Scherverformung des gesinterten Blocks hat die plastische Bearbeitung die Wirkung einer Stärkung der Kohä-

sion innerhalb des zerkleinerten Produkts oberhalb derjenigen des gesinterten Blocks, während die Mikrostruktur des gesinterten Blocks noch feiner wird. Plastische Bearbeitungsverfahren schließen beispielsweise Extrusion, Walzen, Ziehen, Schmieden, Walzschmieden und dergleichen ein. Im vorliegenden Beispiel wird Heißextrusion bei einer Temperatur entsprechend oder oberhalb der Rekristallisationstemperatur des Materials durchgeführt, da eine Extrusion die Ausübung einer beträchtlichen Scherverformung des Werkstücks bietet. In gewissem Umfang verursacht eine hohes Extrusionsverhältnis eine vergrößerte mechanische Stärke des bearbeiteten Materials. Eine übermäßige Erhöhung des Extrusionsverhältnisses führt jedoch zu einer verkürzten Lebensdauer der Extrusionsform oder zu einer Beschädigung der Form und erfordert eine größere Extrusionsanlage, neben anderen Nachteilen. Dementsprechend liegt das Extrusionsverhältnis vorzugsweise maximal bei etwa 120.

[0066] Durch dieses Extrusionsformen werden die zerkleinerten Partikel in dem gesinterten Block stark aneinander gebunden, aufgrund der Scherdeformation, der sie unterzogen werden. Die Partikel der Zwischenmetall-Verbindungen, die ursprünglich in der nicht brennbaren Magnesiumlegierung enthalten sind, sowie auch das zusätzliche Additiv bilden hierdurch eine Struktur, die homogen in der Magnesium-Matrix verteilt ist. Die Magnesium-Matrix-Kristallpartikel werden aufgrund der Rekristallisation noch feiner, welche aufgrund der Heißextrusion stattfindet. Dies führt zu verbesserten mechanischen Eigenschaften und erhöhter Stärke. Anders als bei der zuvor beschriebenen Ausführungsform kann die Magnesiumlegierung auch wirksam verwendet werden, wenn sie 0 bis 12,0 Massen-% Aluminium, 0 bis 5,0 Massen-% Zink und nicht mehr als 0,5 Massen-% Mangan enthält. Effektive Ergebnisse können auch erzielt werden durch Verwendung einer Magnesiumlegierung aus den folgenden Legierungen: AZ31-Legierung, AZ61-Legierung, AZ80-Legierung, AZ91-Legierung, AZ92-Legierung, AM50-Legierung, AM60-Legierung und AM 100-Legierung, gemäß der American Society for Testing and Materials (ASTM).

[0067] Die vorliegende Erfindung kann auch in einem Schweißzusatzmetall verwendet werden, indem die hochfeste nicht brennbare Magnesiumlegierung mit den vorstehend genannten Eigenschaften als Basismaterial verwendet wird. Schweißzusätze, die während des Schweißens verwendet werden, wie etwa Schweißstäbe oder Schweißlinien (auch als "Schweißdrähte" bezeichnet), umfassen hierbei die hochfeste Magnesiumlegierung gemäß der vorliegenden Erfindung, bei welcher zu einer Magnesiumlegierung 0,5 bis 5 Massen-% Kalzium (Ca) zugegeben wurden, und ergänzend zumindest ein Zusatz aus C, Mo, Nb, Si, W, Al_2O_3, Mg_2Si, SiC. Eine solche Legierung weist einen höheren Zündpunkt und eine größere Festigkeit auf.

[0068] Die Nichtbrennbarkeit reduziert das Risiko von Feuer oder dergleichen, die durch Funken während des Verbindens erzeugt werden, welches somit sicher vonstatten gehen kann. Bekanntlich kühlen Substanzen, die während des Schweißens durch die Hitze verdampft werden, in Dämpfe fester Mikropartikel aus. Das Auftreten solcher Dämpfe kann jedoch durch Verwendung des Schweißzusatzmetalls gemäß der vorliegenden Erfindung unterdrückt werden. Die vorliegende Erfindung kann somit zur Verbesserung der Schweißumgebung am Schweißort beitragen.

[0069] Schweißzusätze erhält man beispielsweise durch Extrusion oder Drahtziehen unter Verwendung von Walzformen, die für das Drahtziehen spezialisiert sind. Aufgrund der vorstehend genannten Extrusion oder des Drahtziehens kann das zusätzliche Additiv, das in dem Schweißzusatz gemäß der vorliegenden Erfindung enthalten ist, noch homogener in der Magnesiummatrix verteilt werden. Die Schweißstruktur wird dann noch homogener, was eine Verbesserung der mechanischen Eigenschaften ermöglicht.

[0070] Als Schweißzusatzmetall kann die hochfeste nicht brennbare Magnesiumlegierung gemäß der vorliegenden Erfindung in allen Schweißtechniken verwendet werden, bei welchen Magnesium oder Magnesiumlegierungen geschweißt werden, doch sie kann insbesondere beim TIG-Schweißen oder beim MIG-Schweißen verwendet werden. In den nachfolgenden Beispielen wird die Verbindung durch TIG-Schweißen geschaffen. Es versteht sich, dass die vorliegende Erfindung nicht auf das erläuterte Beispiel beschränkt ist.

(Beispiel 1)

[0071] Die Legierung des vorliegenden Beispiels umfaßt eine Basis aus der nicht brennbaren Magnesiumlegierung "AM60B+2Ca", zu welcher 2,0 Massen-% von Ca hinzugegeben wurden, um die Nichtbrennbarkeit der AM60B-Legierung zu erreichen. Zu dieser Basis wurden als ergänzende Additive Elemente oder Verbindungen aus C, Mo, Nb, Si, W, Al_2O_3, Mg_2Si und SiC hinzugegeben, so dass die Zusammensetzung erreicht wurde, die in Tabelle 1 wiedergegeben ist. Schneidspäne in Form von Drehbankabfall wurden als die kleinen spanförmigen Stücke der Legierung gemäß des vorliegenden Beispiels verwendet. Diese Schneidspäne wurden in einer Kugelmühle zerkleinert, um ein zerkleinertes Produkt zu erzeugen. Die zusätzlichen Additive wurde gleichzei-

tig mit dem zerkleinern zugegeben, so dass die Additive hierdurch homogen verteilt und kombiniert wurden. Die zerkleinerten Produkte der nicht brennbaren Magnesiumlegierung, die auf diese Weise in der Kugelmühle vorbereitet wurden, wurden dann in der Atmosphäre durch gepulsten elektrischen Strom gesintert und ausgeformt, bei einer Sintertemperatur von 480°C für 20 Minuten. Die gesinterten Blöcke in Form von Barren wurden dann mit einem Extrusionsverhältnis von 110 und bei einer Extrusionstemperatur von 480°C heiß extrudiert. Muster wurden in der Längsrichtung der so erzielten extrudierten Produkte entnommen und auf ihre Zugfestigkeit, ihre Dehngrenze und ihre Bruchdehnung bei Raumtemperatur untersucht. Die Versuchsergebnisse sind in Tabelle 2 zusammengefaßt. Die Ergebnisse zeigen, dass die Zugfestigkeit nicht kleiner war als 419 MPa und dass die Dehngrenze nicht kleiner war als 380 MPa bei allen Mustern, was die Wirkung der vorliegenden Erfindung zeigt.

Tabelle 1

Versuchs material	Zusammensetzung (Gewichts-%)								
	AM60B +2Ca	C	Mo	NB	Si	W	Al_2O_3	Mg_2Si	SiC
1	99.9	0.1							
2	99.8	0.2							
3	98.9		1.1						
4	94.5		5.5						
5	89.5		10.5						
6	99.0			1.0					
7	95.4			4.6					
8	99.0				1.0				
9	95.0				5.0				
10	94.8					5.2			
11	87.9					18.1			
12	63.7					36.3			
13	98.9						1.1		
14	95.6						4.4		
15	97.8							2.2	
16	94.5							5.5	
17	90.1							9.9	
18	98.2								1.8
19	91.3								8.7
20	83.4								16.6

Tabelle 2

	Zugversuchsergebnisse		
Versuchsmaterial	Zugfestigkeit (MPa)	Dehngrenze (MPa)	Bruchdehnung (%)
1	427	423	3.3
2	441	433	8.4
3	427	410	18.4
4	434	400	13.0
5	444	426	8.6
6	433	420	13.7
7	438	431	6.1
8	439	414	6.6
9	448	427	3.8
10	424	418	7.2
11	447	420	14.6
12	476	456	6.0
13	429	397	14.3
14	444	425	9.6
15	419	383	14.3
16	459	434	8.6
17	454	430	7.7
18	428	426	11.5
19	490	443	9.4
20	467	437	5.0

[0072] Fig. 1 bis Fig. 8 illustrieren Daten für jedes Element oder für jede Verbindung der oben genannten Ergebnisse. Diese Fig. sind Datendiagramme zur Erläuterung der Zugfestigkeit, der Dehngrenze und der Bruchdehnung gegen die Zugabemengen der verschiedenen Elemente oder Verbindungen, wobei Fig. 1 der Zugabe von C entspricht, Fig. 2 der Zugabe von Mo, Fig. 3 der Zugabe von Nb,

[0073] Fig. 4 der Zugabe von Si, Fig. 5 der Zugabe von W, Fig. 6 der Zugabe von Al_2O_3, Fig. 7 der Zugabe von Mg_2Si und Fig. 8 der Zugabe von SiC.

[0074] Wie diese Datendiagramme klar darstellen, zeigen diese Ergebnisse, dass in allen Fällen, in welchen die zusätzlichen Additive in dem vorliegenden Beispiel hinzugegeben wurden, sich die mechanische Stärke über diejenige herkömmlicher nicht brennbarer Magnesiumlegierungen unter Zugabe von Ca hinaus verbesserte, wie sie in Patentdokument 1 dargestellt ist, welche Legierung keine zusätzlichen Additive enthält. Beispielsweise war die Zugstärke nicht kleiner als 419 MPa in allen Fällen, in denen ein ergänzendes Additiv hinzugegeben wurde. Es kann daher gesagt werden, dass die vorstehend genannten hochfesten nicht brennbaren Magnesiumlegierungen eine größere Stärke aufweisen als die Basismaterialien. In den Fig. bezeichnen die Werte von 0% Zugabemenge die Ergebnisse der nachfolgenden Vergleichsbeispiele. Die nachfolgenden Vergleichsbeispiele wurden zu Vergleichszwecken mit dem vorliegenden Beispiel durchgeführt. Die Ergebnisse des vorliegenden Beispiels übertreffen diejenigen aller nachfolgenden Vergleichsbeispiele

(Vergleichsbeispiel 1)

[0075] Vergleichsbeispiel 1 wurde mit einer herkömmlichen nicht brennbaren Magnesiumlegierung durchgeführt, welcher die zusätzlichen Additive gemäß der vorliegenden Erfindung fehlten. Schneidspäne als Drehbankabfall von der Bearbeitung einer nicht brennbaren Magnesiumlegierung "AM60B+2Ca" mit der gleichen chemischen Zusammensetzung wie derjenigen des Erfindungsbeispiels wurden in einer Kugelmühle zu einem zerkleinerten Produkt verarbeitet. Das zerkleinerte Produkt wurde dann geformt und gesintert durch Sintern mittels gepulsten elektrischen Stroms unter den gleichen Bedingungen wie das Erfindungsbeispiel. Der gesin-

terte Block in Form eines Barrens wurde dann heiß extrudiert mit einem Extrusionsverhältnis von R = 110 und einer Extrusionstemperatur von T = 480°C, unter den gleichen Bedingungen wie das Erfindungsbeispiel. Das erzeugte extrudierte Produkt wurde auf Zugfestigkeit bei Raumtemperatur in der Längsrichtung getestet. Die Ergebnisse des Zugfestigkeitsversuch ergaben eine Zugfestigkeit von 415 MPa, eine Dehngrenze von 364 MPa und eine Bruchdehnung von 23%. Diese Werte sind als Werte von 0% zusätzlicher Additive am linken Ende der Fig. 1 bis Fig. 8 dargestellt, welche die Ergebnisse des Erfindungsbeispiels darstellen.

(Vergleichsbeispiel 2)

[0076] Vergleichsbeispiel 2 wurde an einer herkömmlichen nicht brennbaren Magnesiumlegierung durchgeführt, welcher die zusätzlichen Additive fehlten, die gemäß der vorliegenden Erfindung vorgesehen sind. Ein Pressen einer nicht brennbaren Magnesiumlegierung "AM60B+2Ca" mit genau der gleichen chemischen Zusammensetzung wie derjenigen des Erfindungsbeispiels wurde mit einem Extrusionsverhältnis von R = 110 bei einer Extrusionstemperatur von T = 480°C unter den gleichen Bedingungen wie bei dem Erfindungsbeispiel durchgeführt. Das erhaltene Extrusionsprodukt wurde bei Raumtemperatur auf Zugfestigkeit in Längsrichtung getestet. Die Ergebnisse des Zugfestigkeitsversuchs ergaben eine Zugfestigkeit von 305 MPa, eine Dehngrenze von 242 MPa und eine Bruchdehnung von 18%.

(Vergleichsbeispiel 3)

[0077] Vergleichsbeispiel 3 wurde an einer herkömmlichen nicht brennbaren Magnesiumlegierung durchgeführt, welcher die ergänzenden Additive gemäß der vorliegenden Erfindung fehlten. Ein Schmiedeteil aus einer nicht brennbaren Magnesiumlegierung "AM60B+2Ca" mit genau der gleichen chemischen Zusammensetzung wie das Erfindungsbeispiel wurde heiß extrudiert und anschließend heiß gezogen. Das erzielte Zugprodukt wurde bei Raumtemperatur auf Zugfestigkeit in der Längsrichtung getestet. Die Ergebnisse des Zugfestigkeitsversuchs ergaben eine Zugfestigkeit von 286 MPa, eine Dehngrenze von 198 MPa und eine Bruchdehnung von 16%.

(Beispiel 2)

[0078] In dem vorliegenden Beispiel wurde der Verbindungseffekt beurteilt, wenn die hochfesten nicht brennbaren Magnesiumlegierungen, die in den Fig. 1 bis Fig. 8 dargestellt sind, als Schweißdraht benutzt wurden, welcher ein Schweißzusatzmetall beim Magnesiumlegierungsschweißen ist. Als zu schweißendes Element wurde eine Platte verwendet (Plattendicke: 2 mm), extrudiert aus einer nicht brennbaren Magnesiumlegierung "AM60B+2Ca", die erhalten wird durch Zusatz von zwei Massen-% von Ca, um die Nichtbrennbarkeit der AM60B-Legierung zu gewährleisten. Das Schweißen wurde als TIG-Schweißen ausgeführt. Die Hauptschweißbedingungen waren wie folgt.

[0079] Es wurde eine reine Wolframelektrode mit einem Durchmesser von 2,4 mm verwendet, wobei der Abstand zwischen der Elektrode und dem Basismetall 2 mm betrug, die Schweißgeschwindigkeit betrug 200 mm/min, mit Gleichstrom von 100 A, und Argongas wurde als Inertgas verwendet, bei einer Strömungsrate von 12 L/min. Nach dem Schweißen wurde die Schweißschicht entfernt, um ein Muster zu bilden, das dann auf Zugfestigkeit getestet wurde, um die Verbindungsstärke zu beurteilen. Die Zugfestigkeitsversuchsergebnisse sind in Tabelle 3 wiedergegeben und sind in den Fig. 9 und Fig. 10 dargestellt. Fig. 9 zeigt die Ergebnisse für jedes zusätzlich hinzugegebene Element, während Fig. 10 die Ergebnisse für jede zusätzlich hinzugegebene Verbindung darstellt. In den Fig. 9 und Fig. 10 stellt die horizontale Achse die Art des zusätzlichen Additivs und dessen Zusammensetzung dar. Mit Ausnahme der zusätzlichen Additive 5 Si und 9 Mg_2Si überschritten die Ergebnisse des Beispiels diejenigen der Vergleichsbeispiele und bestätigten den Effekt der vorliegenden Erfindung. Die Ergebnisse in den Fällen der zusätzlichen Additive 5 Si und 9 Mg_2Si ergaben sich aufgrund von Fehlschweißungen, verursacht durch grobe Schweißdefekte. Diese Festigkeitsversuchsergebnisse sind daher nicht normal.

Tabelle 3

Schweißzusatzmetall-Zusammensetzung	Zugfestigkeit (MPa)
0.1C	224
0.2C	228
1Mo	222
6Mo	231
11Mo	222
1Nb	241
5Nb	231
1Si	193
5Si	59
5W	191
18W	196
36W	176
$1Al_2O_3$	226
$4Al_2O_3$	188
$2Mg_2Si$	230
$5Mg_2Si$	199
$9Mg_2Si$	75
2SiC	181
9SiC	192
17SiC	178
Vergleichsbeispiel	173

Vergleichsbeispiel 4

[0080] Im vorliegenden Beispiel wurde die Verbindungswirkung beurteilt, wenn als Schweißzusatzmetall eine herkömmliche nicht brennbare Magnesiumlegierung verwendet wurde, welcher die zusätzlichen Additive gemäß der vorliegenden Erfindung fehlten. Als ein Schweißzusatzmetall, d. h. als ein Schweißdraht in dem vorliegenden Vergleichsbeispiel wurde ein gezogenes Produkt verwendet, das durch Heißextrusion hergestellt wurde, gefolgt von Heißziehen, eines Schmiedestücks einer nicht brennbaren Magnesiumlegierung "AM60B+2Ca". TIG-Schweißen wurde unter Verwendung des gleichen zu schweißenden Materials und unter den gleichen Schweißbedingungen wie bei dem Erfindungsbeispiel durchgeführt. Nach dem Schweißen wurde die Schweiß-Deckschicht entfernt, um ein Muster zu bilden, das anschließend auf Zugfestigkeit untersucht wurde, um die Verbindungsstärke zu beurteilen, wie bei dem Erfindungsbeispiel. Die Ergebnisse sind in Tabelle 3 als "Vergleichsbeispiel" wiedergegeben und sind in den Fig. 9 und Fig. 10 als "Vergleichsbeispiel" dargestellt. Die gemeinsame Zugfestigkeit der geschweißten Platte in dem Vergleichsbeispiel betrug 173 MPa, weniger als in allen Erfindungsbeispielen.

ZUSAMMENFASSUNG

[0081] Eine hochfeste nicht brennbare Magnesiumlegierung wird erhalten durch Zugeben zumindest eines zusätzlichen Additivs, ausgewählt aus Kohlenstoff (C), Molybdän (Mo), Niob (Nb), Silicium (Si), Wolfram (W), Aluminiumoxid (Al_2O_3), Magnesiumsilicid (Mg_2Si) und Siliciumkarbid (SiC) zu kleinen spanartigen Stücken einer nicht brennbaren Magnesiumlegierung, die hergestellt wird durch Zugabe von 0,5 bis 5,0 Massen-% Kalzium zu einer Magnesiumlegierung, zur Herstellung eines zerkleinerten Produkts, und durch Unterziehen desselben einem Formvorgang, einem Sintern und einer plastischen Bearbeitung. Die hochfeste nicht brennbare Magnesiumlegierung zeigt hervorragende Verbindungseigenschaften und kann daher die Schweißbarkeit verbessern, wenn sie als Schweißzusatzmetall verwendet wird.

ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

Zitierte Patentliteratur

- JP 2000-109963 A **[0009]**
- JP 9-41065 A **[0009]**
- JP 2006-16658 A **[0009]**
- JP 2006-97037 A **[0009]**
- JP 2005-350808 A **[0009]**
- JP 2005-196094 A **[0009]**
- JP 2006-263744 A **[0009]**
- JP 3592310 **[0009]**

Patentansprüche

1. Hochfeste nicht brennbare Magnesiumlegierung, hergestellt durch Zugeben zumindest eines zusätzlichen Additivs, ausgewählt aus Kohlenstoff (C), Molybdän (Mo), Niob (Nb), Silizium (Si), Wolfram (W), Aluminiumoxid (Al_2O_3), Magnesiumsilicid (Mg_2Si) und Siliziumkarbid (SiC) zu einer nicht brennbaren Magnesiumlegierung, hergestellt durch Zugabe von 0,5 bis 5,0 Massen-% von Kalzium zu einer Magnesiumlegierung.

2. Hochfeste nicht brennbare Magnesiumlegierung gemäß Anspruch 1, bei welcher der Kohlenstoffgehalt (C) des zusätzlichen Additivs 0,1 bis 0,3 Massen-% beträgt.

3. Hochfeste nicht brennbare Magnesiumlegierung gemäß Anspruch 1, bei welcher der Gehalt von Moybdän (Mo) des zusätzlichen Additivs 1,0 bis 12,0 Massen-% beträgt.

4. Hochfeste nicht brennbare Magnesiumlegierung gemäß Anspruch 1, bei welcher der Gehalt von Niob (Nb) des zusätzlichen Additivs 0,5 bis 5,0 Massen-% beträgt.

5. Hochfeste nicht brennbare Magnesiumlegierung gemäß Anspruch 1, bei welcher der Gehalt von Silizium (Si) des zusätzlichen Additivs 0,5 bis 6,0 Massen-% beträgt.

6. Hochfeste nicht brennbare Magnesiumlegierung gemäß Anspruch 1, bei welcher der Gehalt von Wolfram (W) des zusätzlichen Additivs 5,0 bis 40,0 Massen-% beträgt.

7. Hochfeste nicht brennbare Magnesiumlegierung gemäß Anspruch 1, bei welcher der Gehalt von Aluminiumoxid (AL_2O_3) des zusätzlichen Additivs 1,0 bis 5,0 Massen-% beträgt.

8. Hochfeste nicht brennbare Magnesiumlegierung gemäß Anspruch 1, bei welcher der Gehalt von Magnesiumsilicid (Mg_2Si) des zusätzlichen Additivs 2,0 bis 6,0 Massen-% beträgt.

9. Hochfeste nicht brennbare Magnesiumlegierung gemäß Anspruch 1, bei welcher der Gehalt von Siliziumkarbid (SiC) des zusätzlichen Additivs 0,7 bis 20,0 Massen-% beträgt.

10. Hochfeste nicht brennbare Magnesiumlegierung gemäß Anspruch 1, bei welcher die Magnesiumlegierung mit 0 bis 12,0 Massen-% Aluminium enthält, 0,5–5,0 Massen-% Zink, und nicht mehr als 0,5 Massen-% Mangan.

11. Hochfeste nicht brennbare Magnesiumlegierung gemäß Anspruch 1, bei welcher die Magnesiumlegierung aus der folgenden Gruppe ausgewählt ist: AZ31-Legierung, AZ61-Legierung, AZ80-Legierung, AZ91-Legierung, AZ92-Legierung, AM50-Legierung, AM60-Legierung und AM100-Legierung, gemäß der AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM).

12. Hochfeste nicht brennbare Magnesiumlegierung gemäß Anspruch 1, bei welcher die nicht brennbare Magnesiumlegierung ein zerkleinertes Produkt enthält, das erhalten wird aus einem Basismaterial der nicht brennbaren Magnesiumlegierung.

13. Hochfeste nicht brennbare Magnesiumlegierung gemäß Anspruch 1, bei welcher die hochfeste nicht brennbare Magnesiumlegierung eine Legierung ist, die hergestellt wird durch Zugeben des zusätzlichen Additivs, gefolgt von plastischer Bearbeitung, bei welcher eine dauerhafte Verformung durch Anwendung einer äußeren Kraft durchgeführt wird.

14. Hochfeste nicht brennbare Magnesiumlegierung gemäß Anspruch 12, bei welcher das zerkleinerte Produkt aus Schneidspänen besteht, die durch Spanbearbeitung erhalten werden, oder aus einem Pulver derselben.

15. Hochfeste nicht brennbare Magnesiumlegierung gemäß Anspruch 13, bei welcher die plastische Bearbeitung eine Extrusion, Ziehen, Walzschmieden oder Walzen ist, oder eine Kombination von einem oder mehreren dieser Bearbeitungsarten.

16. Hochfeste nicht brennbare Magnesiumlegierung gemäß einem der Ansprüche 1 bis 15, bei welcher eine Legierung, die gebildet wird durch Zugabe des zusätzlichen Additivs, eine Legierung ist, die einen metallischen Schweißzusatz bildet.

17. Hochfeste nicht brennbare Magnesiumlegierung gemäß Anspruch 16, bei welcher der metallische Schweißzusatz ein drahtförmiges oder stangenförmiges Schweißmaterial ist.

Es folgen 5 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

FIG.1

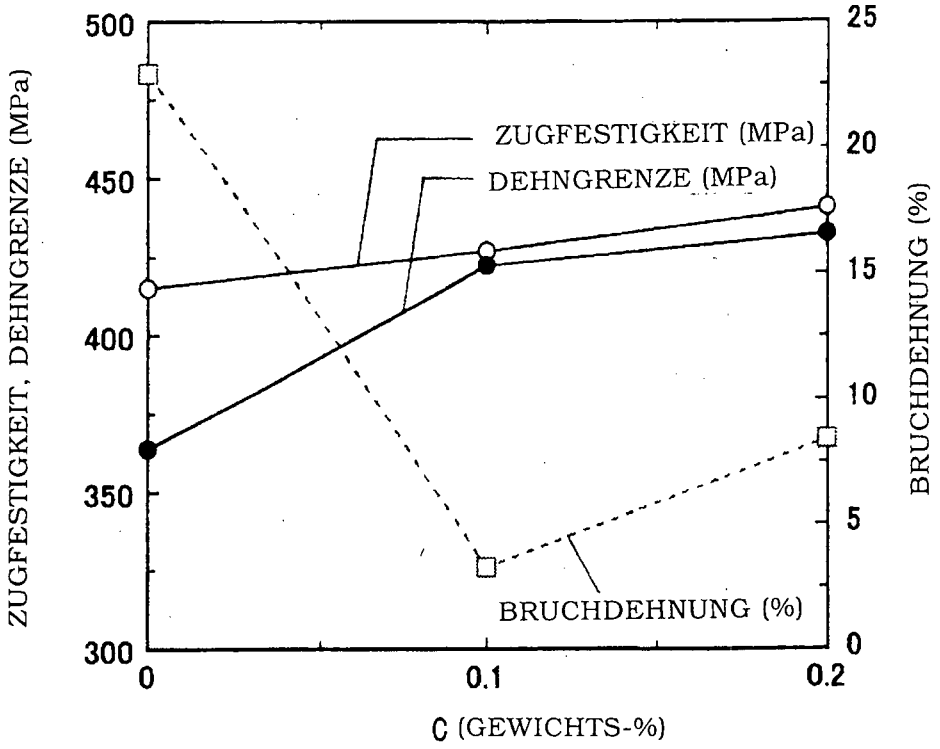


FIG.2

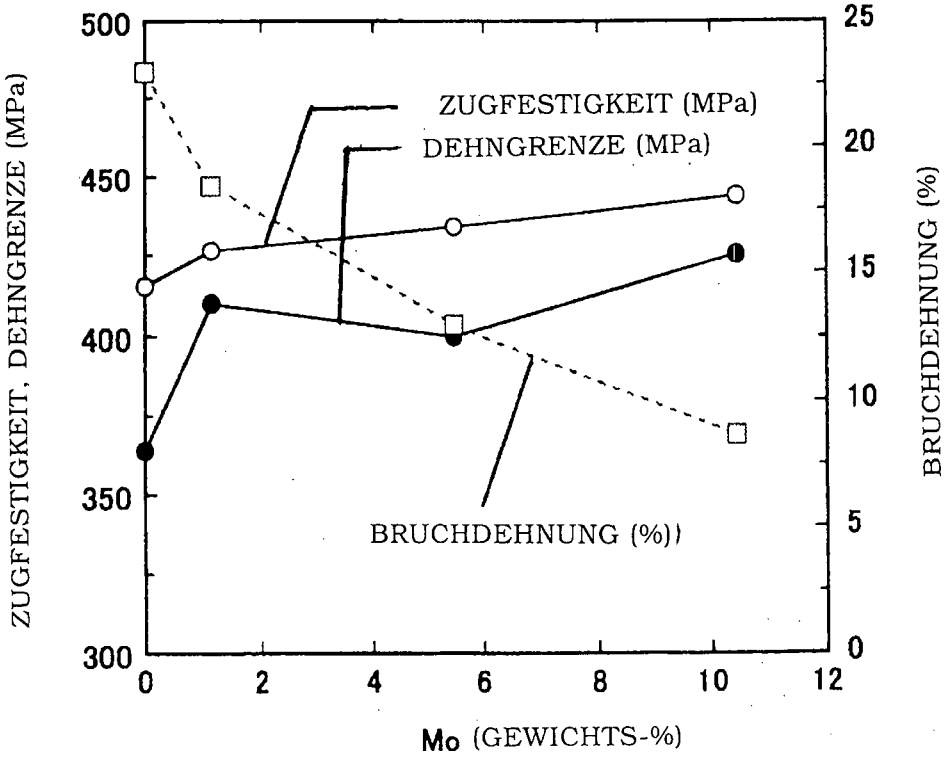


FIG.3

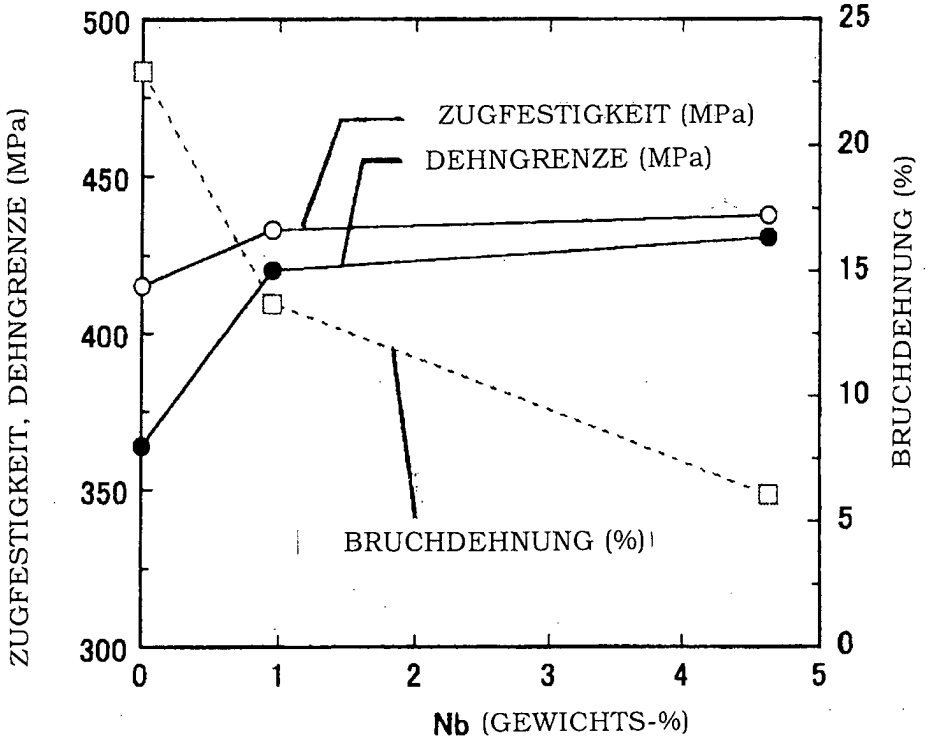

ZUGFESTIGKEIT (MPa)
DEHNGRENZE (MPa)
BRUCHDEHNUNG (%)
ZUGFESTIGKEIT, DEHNGRENZE (MPa)
BRUCHDEHNUNG (%)
Nb (GEWICHTS-%)
500
450
400
350
300
25
20
15
10
5
0
0
1
2
3
4
5

FIG.4

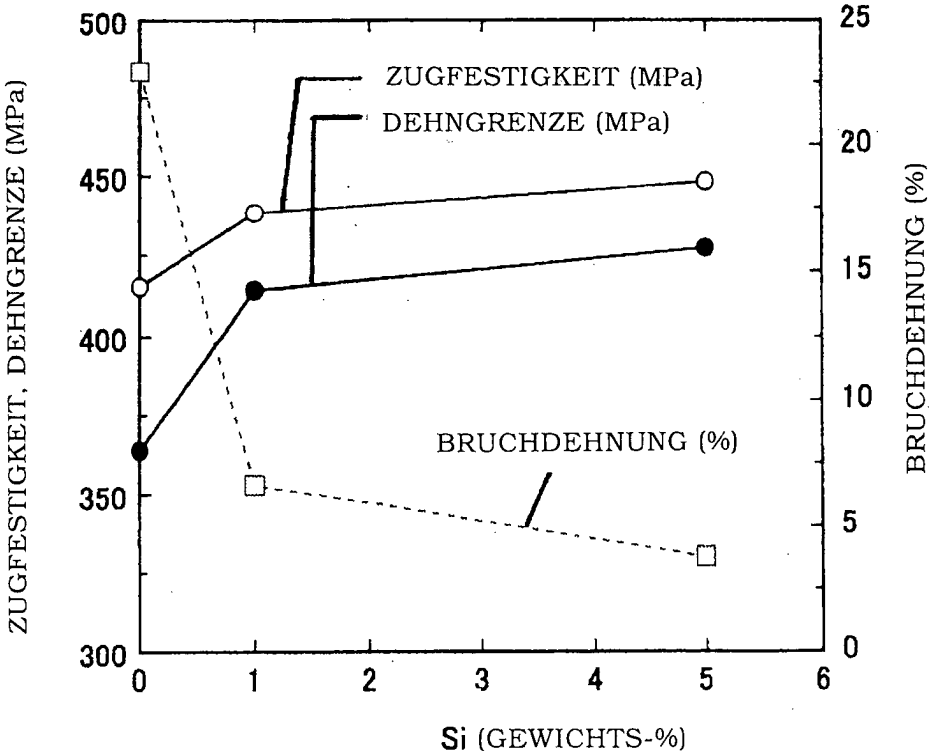

ZUGFESTIGKEIT (MPa)
DEHNGRENZE (MPa)
BRUCHDEHNUNG (%)
ZUGFESTIGKEIT, DEHNGRENZE (MPa)
BRUCHDEHNUNG (%)
Si (GEWICHTS-%)
500
450
400
350
300
25
20
15
10
5
0
0
1
2
3
4
5
6

FIG.5

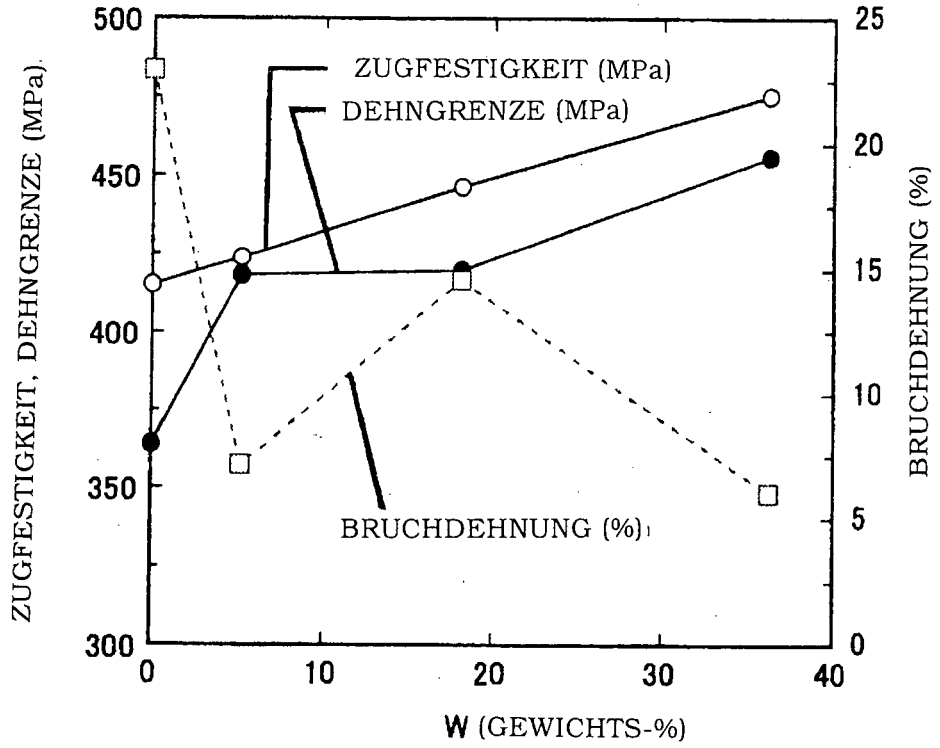

ZUGFESTIGKEIT (MPa)
DEHNGRENZE (MPa)
BRUCHDEHNUNG (%)
ZUGFESTIGKEIT, DEHNGRENZE (MPa)
BRUCHDEHNUNG (%)
W (GEWICHTS-%)
500
450
400
350
300
25
20
15
10
5
0
0
10
20
30
40

FIG.6

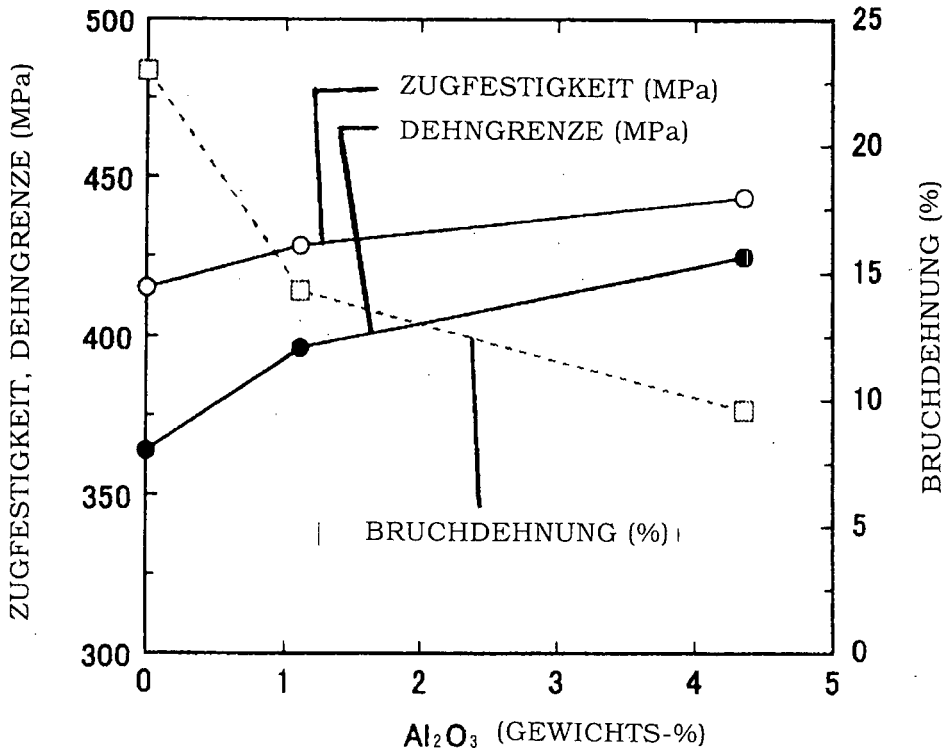

ZUGFESTIGKEIT (MPa)
DEHNGRENZE (MPa)
BRUCHDEHNUNG (%)
ZUGFESTIGKEIT, DEHNGRENZE (MPa)
BRUCHDEHNUNG (%)
Al2O3 (GEWICHTS-%)
500
450
400
350
300
25
20
15
10
5
0
0
1
2
3
4
5

FIG.7

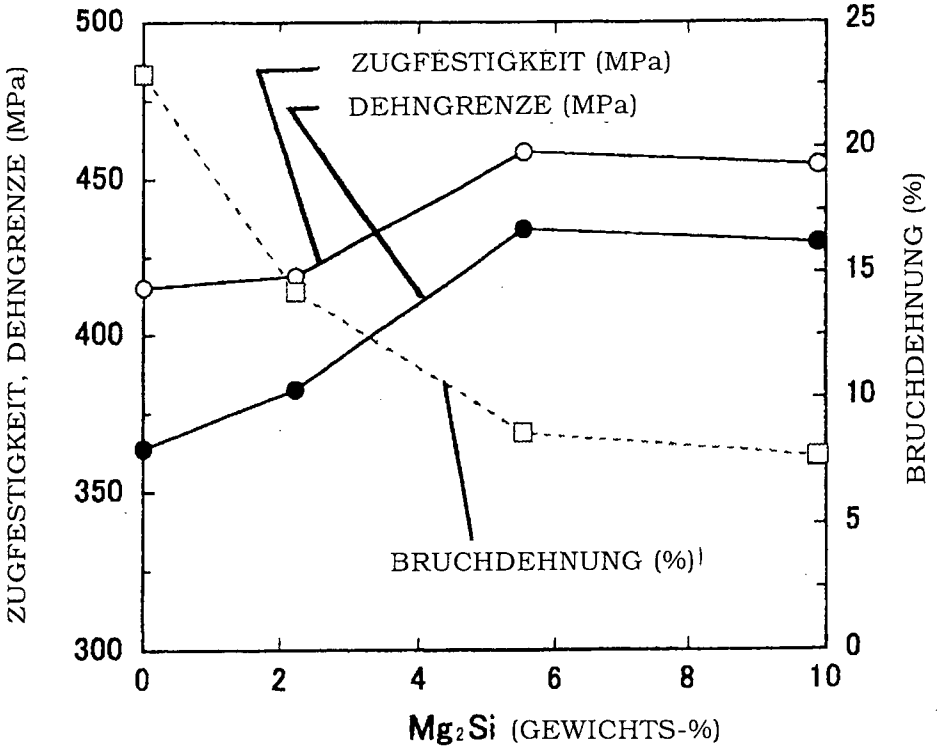

ZUGFESTIGKEIT (MPa)
DEHNGRENZE (MPa)
BRUCHDEHNUNG (%)
ZUGFESTIGKEIT, DEHNGRENZE (MPa)
BRUCHDEHNUNG (%)
500
450
400
350
300
25
20
15
10
5
0
0
2
4
6
8
10
Mg2Si (GEWICHTS-%)

FIG.8

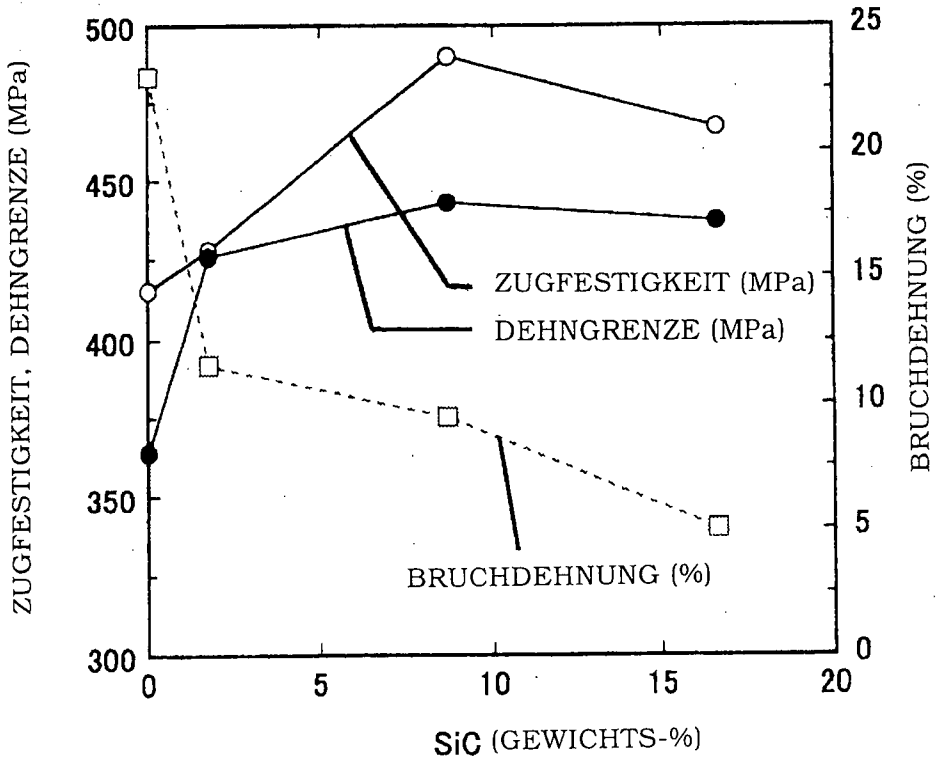

ZUGFESTIGKEIT (MPa)
DEHNGRENZE (MPa)
BRUCHDEHNUNG (%)
ZUGFESTIGKEIT, DEHNGRENZE (MPa)
BRUCHDEHNUNG (%)
500
450
400
350
300
25
20
15
10
5
0
0
5
10
15
20
SiC (GEWICHTS-%)

FIG.9

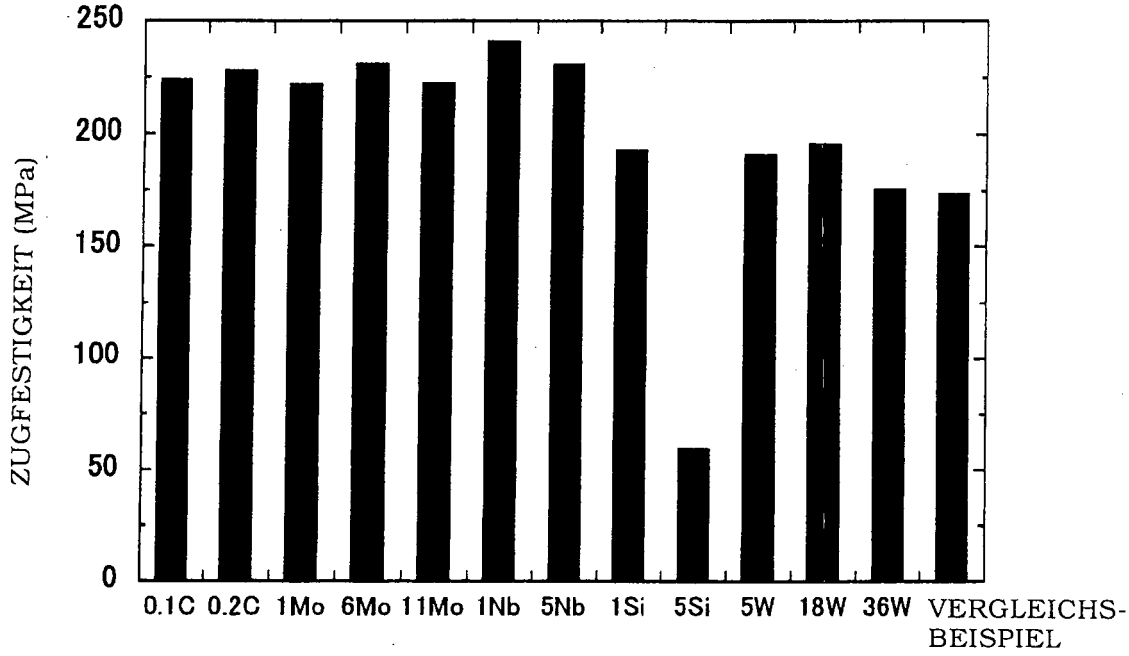
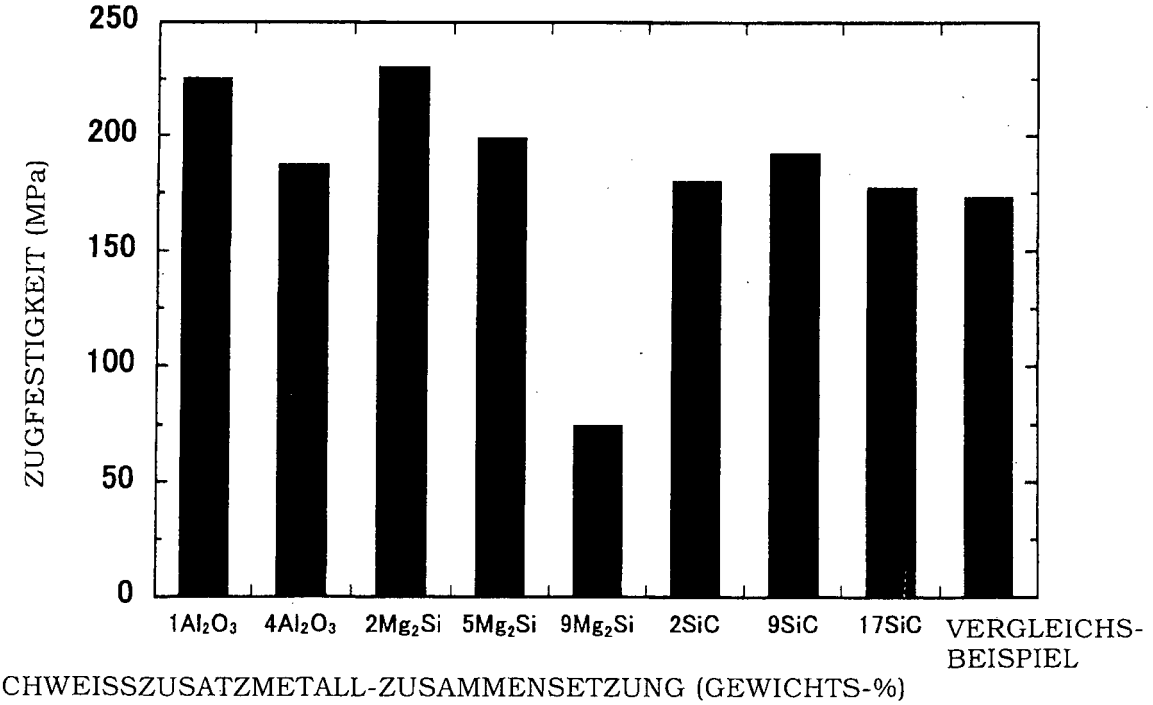

250
200
150
100
50
0
ZUGFESTIGKEIT (MPa)
0.1C 0.2C 1Mo 6Mo 11Mo 1Nb 5Nb 1Si 5Si 5W 18W 36W VERGLEICHS-BEISPIEL
SCHWEISSZUSATZMETALL-ZUSAMMENSETZUNG (GEWICHTS-%)

FIG.10


250
200
150
100
50
0
ZUGFESTIGKEIT (MPa)
1Al2O3 4Al2O3 2Mg2Si 5Mg2Si 9Mg2Si 2SiC 9SiC 17SiC VERGLEICHS-BEISPIEL
SCHWEISSZUSATZMETALL-ZUSAMMENSETZUNG (GEWICHTS-%)