

(12) **Patentschrift**

(21) Anmeldenummer: A 869/2006 (51) Int. Cl.<sup>8</sup>: **C22C 23/04** (2006.01)  
**C22C 24/00** (2006.01)  
(22) Anmeldetag: 2006-05-19  
(43) Veröffentlicht am: 2008-01-15

(56) Entgegenhaltungen:  
JP 2004-263280A EP 0197675A1  
GB 544352A GB 464030A  
(72) Erfinder:  
KILIAN HELMUT  
PISCHELSDORF AM ENGELBACH (AT)

(73) Patentanmelder:  
ARC  
LEICHTMETALLKOMPETENZZENTRUM  
RANSHOFEN GMBH  
A-5282 RANSHOFEN (AT)

(72) Erfinder:  
UGGOWITZER PETER J. DR.  
OTTENBACH (CH)  
LÖFFLER JÖRG F. DR.  
ZÜRICH (CH)  
RIEMELMOSER FRANZ DR.  
SIMBACH (DE)  
KÜHLEIN MARIA DR.  
STUBENBERG (DE)  
KETTNER MICHAEL DIPL.ING.  
BRAUNAU AM INN (AT)

(54) **MAGNESIUM-BASISLEGIERUNG**

(57) Die Erfindung bezieht sich auf eine Magnesium-Basislegierung und auf ein daraus hergestelltes Halbzeug mit gleichmäßig geringer Korngröße und hohem Kaltumformvermögen. optional Aluminium (Al) bis zu 0,5 Magnesium und herstellungsbedingte Verunreinigungen als Rest vorgesehen.

Um aus einem Gussblock einen Feinkorn-Pressbolzen zu schaffen, dessen Werkstoff bei erhöhter Temperatur und bei Raumtemperatur hoch umformbar (tiefziehfähig) ist und gewünschte Korrosionseigenschaften aufweist, ist erfindungsgemäß eine Magnesium-Basislegierung (L1, L2), enthaltend in Gew.-%

Zink (Zn)	mehr als 0,8,	jedoch weniger als 6,2
Zirkon (Zr)	Spuren,	jedoch weniger als 1,0
Mangan (Mn)	mehr als 0,04,	jedoch weniger als 0,6
Calcium (Ca)	mehr als 0,04,	jedoch weniger als 2,0
Silizium (Si)	Spuren,	jedoch weniger als 1,0
Antimon (Sb)	Spuren,	jedoch weniger als 0,5
Silber (Ag)	mehr als 0,1,	jedoch weniger als 2,0

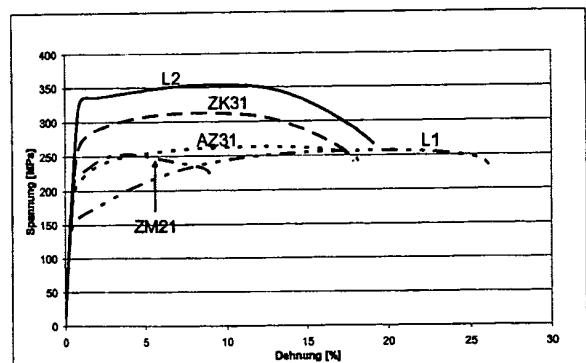


Fig. 1 Spannungs-Dehnungsverhalten von untersuchten Legierungen

Die Erfindung betrifft eine Magnesium-Basislegierung und ein daraus hergestelltes Halbzeug.

In Präzisierung bezieht sich die Erfindung auf eine Magnesium-Basislegierung mit gleichmäßig geringer Korngröße und einem hohen insbesondere Kaltumformvermögen des Werkstoffes.

5

Magnesium ist ein Erdalkalimetall, kristallisiert in hexagonal dichtester Kugelpackung der Atome, hat eine Dichte von  $1,7 \text{ kg/dm}^3$ , ein Elastizitätsmodul von  $44 \text{ kN/mm}^2$  und eine Zugfestigkeit von 150 bis  $200 \text{ N/mm}^2$ . Ein hexagonal dichtgepacktes Gitter besitzt lediglich eine beschränkte Schar von Gleitebenen, so dass Magnesium nur in geringem Ausmaß bei Raumtemperatur umformbar ist.

10

Erdalkalimetalle sind im Allgemeinen sehr reaktionsfreudig. Magnesium wird in Luft oder Wasser mit einer dünnen, festhaftenden, oxidischen/hydroxidischen Deckschicht überzogen und ist gegenüber insbesondere Wasser zumindest teilweise beständig. Allerdings bewirkt die hohe Reaktivität von Magnesium trotz schützender Oberflächenschicht gegebenenfalls Korrosion.

15

Zur Erhöhung der Festigkeit, Verminderung der Kerbempfindlichkeit und Verbesserung der Korrosionsbeständigkeit kann Magnesium vorwiegend mit den Elementen Aluminium (Al), Zink (Zn), Mangan (Mn) legiert sein, wobei diese Legierungen im Allgemeinen bei Raumtemperatur mehrphasig in Form von Mischkristallen und intermetallischen Phasen vorliegen.

20

Durch ein Lösungsglühen mit nachfolgendem Abschrecken lässt sich die Zähigkeit bzw. Duktilität und durch langsames Abkühlen oder Ausscheidungshärten die Festigkeit des aus diesen Legierungen bestehenden Werkstoffes beeinflussen.

25

Die wichtigsten, derzeit gebräuchlichen Magnesiumlegierungen weisen eine in Tab. 1 aufgelistete Bezeichnung und chemische Zusammensetzung auf.

Bekannte Magnesiumlegierungen haben jedoch die Nachteile einer inhomogenen Gefügeeinstellung im Bolzen beim Strangpressen bei erhöhter Temperatur sowie einer beschränkten Duktilität des Werkstoffes bei Raumtemperatur.

30

Einen wesentlichen Vorteil von Magnesium stellt insbesondere die niedrige Dichte des Metalls dar, so dass seit langem die Fachwelt mit dem Wunsch nach Knetlegierungen auf Magnesiumbasis konfrontiert worden ist.

35

Aus einer Veröffentlichung „The Effect of Ca Addition on Age Hardening Behaviors and Mechanical Properties in Mg-Zn Alloy“ (Materials Science Forum Vols. 419-422 (2003) pp. 307-312) ist beispielsweise bekannt geworden, einer Legierung aus Magnesium und 6 Gew.-% Zink, 0,1 bis 0,5 Gew.-% Calcium zuzusetzen, um die mechanischen Eigenschaften zu erhöhen und die Aushärtungsparameter zu verbessern.

40

Mit der gleichen Zielsetzung einer Festigungssteigerung und Verbesserung der Kriechbeständigkeit erfolgte gemäß dem Dokument „Microstructure and mechanical properties of Mg-Zn-Si-based alloys“ (Materials Science and Engineering A357 (2003) 314-320) ein Zulegieren von 1 Gew.-% Si und gegebenenfalls 0,25 Gew.-% Ca einem Magnesium-Basiswerkstoff mit 6 Gew.-% Zn.

45

Um hochfeste und verformte Magnesium-Basislegierungen zu schaffen, wurde, wie im Dokument „Microstructure and Mechanical Properties of Mg-Zn-Ag Alloys“ (Materials Science Forum Vols. 419-422 (2003) pp. 159-164) offenbart, auch versucht, einer Legierung Z6 Silber (Ag) zuzusetzen, wobei mit einem Gehalt von 3 Gew.-% Ag eine bemerkenswerte Kornfeinung und eine Härtesteigerung erreicht werden konnte.

50

Die Erfindung setzt sich nun zum Ziel eine Magnesium-Basislegierung zu schaffen, welche bei

55

einem Warmpressen eines gegebenenfalls konditionierten Stranggussbolzens einen Feinkorn-Pressbolzen erbringt, wobei der Werkstoff desselben bei erhöhter Temperatur und bei Raumtemperatur hoch umformbar ist. Weiters ist es Ziel der Erfindung, die Korrosionsbeständigkeit des Werkstoffes zu verbessern oder zu beeinflussen.

5

Dieses Ziel wird bei einer Magnesium-Basislegierung enthaltend in Gew.-%

	Zink (Zn)	mehr als 0,8,	jedoch weniger als 6,2
	Zirkon (Zr)	Spuren,	jedoch weniger als 1,0
10	Mangan (Mn)	mehr als 0,04,	jedoch weniger als 0,6
	Calcium (Ca)	mehr als 0,04,	jedoch weniger als 2,0
	Silizium (Si)	Spuren,	jedoch weniger als 1,0
	Antimon (Sb)	Spuren,	jedoch weniger als 0,5
	Aluminium (Al)	Spuren,	jedoch weniger als 0,5
15	Silber (Ag)	mehr als 0,1,	jedoch weniger als 2,0

Magnesium und herstellungsbedingte Verunreinigungen als Rest erreicht.

Die mit der erfindungsgemäß zusammengesetzten Magnesium-Basislegierung erreichten Vorteile liegen im Wesentlichen in einer streng ausgewogenen Elementkonzentration und einer Mikrolegierungstechnologie, in welcher die Wechselwirkung aller Legierungselemente und die Reaktionskinetik sowie die Kornwachstums-kriterien berücksichtigt sind, wobei die Vorteile, insbesondere eine homogene Feinkornstruktur des Werkstoffes, eine hohe Kaltumformbarkeit und eine Verbesserung des Korrosionswiderstandes desselben darstellen.

25

Zink in Gehalten von mehr als 0,8 bis weniger als 6,2 Gew.-% in der Legierung beeinflusst das Erstarrungsintervall maßgebend und verhindert eine Bildung von sehr groben Stängelkristallen bei der Erstarrung. Geringere Konzentrationen als 0,8 Gew.-% Zn führen zu einer überproportional abnehmenden Wirkung, hingegen ergeben Gehalte von mehr als 6,2 Gew.-% eine nachteilig wirkende eutektische Erstarrung der Schmelze.

30

Zirkon wirkt durch Ausscheidungen aus der Schmelze und bei Anreicherung an der Kristallisationsfront kornfeinend. Gehalte von über 1,0 Gew.-% Zr vergrößern die Ausscheidungen in für die Rissinitiation des Werkstoffes bei Belastungen nachteiliger Weise.

35

Mangan in Gehalten von mehr als 0,04, jedoch weniger als 0,6 Gew.-% hat in der Legierung eine mehrfache Wirkung. Zum einen bindet Mn in der Schmelze Fe ab, welche Verbindung ausfällt, zum anderen bildet Mn mit Zirkon schon bei höherer Temperatur in der Schmelze Phasen, die kornfeinend wirken können.

40

Calcium mit Gehalten von mehr als 0,04, jedoch weniger als 2,0 Gew.-% im Metall erbringt eine Phasenbildung in der festen Legierung, welche Phasen als Korngrenzenstabilisator ein Kristallwachstum wirkungsvoll behindern. Diese  $\text{Ca}_2\text{Mg}_6\text{Zn}_3$ -Phase, die Zn in den oben erwähnten Gehalten in der Legierung voraussetzt, entsteht im Bereich von 0,1 bis 1 Vol.-% besonders fein sowie homogen im Werkstoff verteilt, wodurch eine hervorragende Feinkornstruktur im Material erhalten bleibt.

45

Korngrenzen-stabilisierende Ausscheidungen sind in konventionellen Magnesiumlegierungen in der Regel elektrochemisch edler als die Magnesiummatrix, so dass die Korrosionsbeständigkeit durch galvanische Effekte beeinträchtigt wird. In der erfindungsgemäßen Legierung scheidet sich die unedle  $\text{Ca}_2\text{Mg}_6\text{Zn}_3$ -Phase aus, so dass ein galvanischer Korrosionsmechanismus signifikant reduziert wird. Die Folge ist eine verbesserte Korrosionsbeständigkeit.

50

Das Legierungselement Silizium ist in Magnesium lediglich in sehr geringem Maße bzw. in Spuren löslich und bildet die Phase  $\text{Mg}_2\text{Si}$ . Über 1,0 Gew.-% Si ist der Phasenanteil im Werk-

55

stoff der Legierung groß und verschlechtert dessen mechanische Eigenschaften.

Antimon ist im Wesentlichen im Zusammenhang mit Silizium zu sehen, weil Antimon eine Modifikation der  $Mg_2Si$ -Phase erbringen kann, wobei eine erforderliche Sb-Konzentration im Legierungsmetall ca. die Hälfte jener des Si betragen sollte.

Obwohl Magnesium-Basislegierungen, welche Aluminium bis 8 Gew.-% und darüber enthalten können, auch im Hinblick auf eine erhöhte Materialfestigkeit und Kriechbeständigkeit durchaus ein Anwendungspotential besitzen, stellt im erfindungsgemäßen Werkstoff Aluminium ein unerwünschtes Element dar. Durch Gehalte von größer 0,5 Gew.-% können spröde Korngrenzphasen vom Typ  $Mg_{17}Al_{12}$  entstehen, die in grober Ausbildung auch korrosionsfördernd wirken. Weiters bilden sich beim Fließpressen des Materials unter ca. 230° C Risse, die zu einem brüchigen Pressung führen können, wobei dieser auch erhebliche Korngrößenunterschiede über den Querschnitt und die Längsrichtung aufweisen kann.

Silber weist als Kornwachstum hemmendes Element in der erfindungsgemäßen Legierung ein hohes Potential in den Gehalten von mehr als 0,1, jedoch weniger als 2,0 Gew.-% auf. Ag befindet sich in diesen Konzentrationen im warmen Zustand des legierten Werkstoffes in Lösung, wobei, wie gefunden wurde, bei Gehalten von über 0,1 Gew.-% Ag eine Konzentrationserhöhung an den Korngrenzen gebildet wird, welche höchst wirkungsvoll einem Kornwachstum entgegensteht. Weiters kann durch Ag ein Aushärteeffekt des Werkstoffes über die Phase  $Mg_4Ag$  erreicht werden. Höhere Ag-Gehalte als 2,0 Gew.-% haben insbesondere wirtschaftliche und korrosionschemische Nachteile.

In den Ansprüchen 2 und 3 sind bevorzugte chemische Zusammensetzungen der erfindungsgemäßen Magnesium-Basislegierungen angegeben.

Von besonderer Bedeutung für eine homogen feinkörnige Gefügestruktur und eine hohe Verformbarkeit eines Gegenstandes aus der erfindungsgemäßen Legierung im Bereich der Raumtemperatur ist, wie gefunden wurde, die Summenkonzentration der Mikrolegierungselemente Mn, Ca und Si von größer als 0,1, jedoch kleiner als 0,65 Gew.-% im Magnesium-Basiswerkstoff.

Ein Halbzeug aus einer Magnesium-Basislegierung nach der Erfindung, welches mit einem Querschnitts-Flächenverhältnis von größer als 1:16, insbesondere von größer 1:20 von einem Gussbolzen zu einer Pressung bei einer Temperatur von ca. 380 °C verformt wurde, besitzt eine Korngröße des Gefüges von kleiner 10  $\mu m$  und zwar mit weitgehender Isotropie bezogen auf den Querschnitt und in Längsrichtung. Erfindungsgemäße Presslinge können bei Temperaturen unter 200°C, insbesondere bei Raumtemperatur, weiterverformt oder verpresst werden, wobei eine fehlerfreie Oberfläche bzw. Glanzoberfläche erreichbar ist.

Die Erfindung soll im Folgenden mit einigen Versuchsergebnissen untermauert werden.

In Tab. 2 ist die chemische Zusammensetzung der untersuchten Werkstoffe angeführt.

Die Figuren zeigen:

Fig. 1 Spannungs-Dehnungsverhalten von untersuchten Legierungen

Fig. 2 Versuchslegierung L1; Guss-Gefüge

Fig. 3x Versuchslegierung L1, Guss-Gefüge

Fig. 3.1 Vergrößerungsmaßstab: 500  $\mu m$

Fig. 3.2 Vergrößerungsmaßstab: 200  $\mu m$

Fig. 3.3 Vergrößerungsmaßstab: 50  $\mu m$

Fig. 3.4 Vergrößerungsmaßstab: 20  $\mu m$

Fig. 4x Versuchslegierung L1 verformt

Fig. 4.1 Querschliff-Rand  
 Fig. 4.2 Querschliff-Mitte  
 Fig. 4.3 Längsschliff-Rand  
 Fig. 4.4 Längsschliff-Mitte

- 5 Fig. 5 Versuchslegierung L2, Guss-Gefüge  
 Fig. 6x Versuchslegierung L2, Guss-Gefüge  
 Fig. 6.1 Vergrößerungsmaßstab: 500  $\mu\text{m}$   
 Fig. 6.2 Vergrößerungsmaßstab: 200  $\mu\text{m}$   
 Fig. 6.3 Vergrößerungsmaßstab: 50  $\mu\text{m}$   
 Fig. 6.4 Vergrößerungsmaßstab: 20  $\mu\text{m}$   
 10 Fig. 7x Versuchslegierung L2  
 Fig. 7.1 Querschliff-Rand  
 Fig. 7.2 Querschliff-Mitte  
 Fig. 7.3 Längsschliff-Rand  
 Fig. 7.4 Längsschliff-Mitte  
 15 Fig. 8 Vergleichslegierung AZ31, Gusszustand  
 Fig. 9 Vergleichslegierung ZK31, Gusszustand

20 *Fig. 1* zeigt das Ergebnis der Dehnung in Abhängigkeit der Spannung im Zugversuch nach EN 10002-1:2001 von Magnesium-Basislegierungen.

Es wird im Folgenden auf die in der Tab. 2 angegebenen Legierungsbezeichnungen und Legierungszusammensetzungen Bezug genommen.

25 Die Probe mit einer Bezeichnung L1 aus einer erfindungsgemäßen Legierung mit einer Verformung mittels indirektem Pressverfahren und mit einem Pressverhältnis von 1:25 erbrachte im Zugversuch (A50) bei Raumtemperatur eine Dehnung von über 25% bei einer maximalen Spannung von ca. 260 MPa.

30 An der Probe aus einer weiteren Versuchslegierung L2 nach der Erfindung wurden nach einer gleichen Pressverformung des Gussblockes bei 380°C bei Raumtemperatur eine Dehngrenze von  $R_{p0,2} = 330$  MPa des Werkstoffes ermittelt, wobei als Maß für die Duktilität ein Dehnwert von größer 15% im gegebenen Fall von ca. 19% vorlag.

35 Die Vergleichslegierungen ZK31, AZ31 und ZM21 wiesen, wie aus *Fig. 1* hervorgeht, durchwegs geringere Bruchdehnungswerte  $A_c$  als die erfindungsgemäßen Werkstoffe auf.

40 Aus *Fig. 2* ist das dendritische Gussgefüge der Legierung L1 ersichtlich. Eine mittlere Korngröße von 140  $\mu\text{m}$  wurde bei im Wesentlichen homogener Struktur über den gesamten Querschnitt des Blockes ermittelt.

45 In *Fig. 3* ist das weitestgehend homogen Gefüge im Gusszustand des Blockes aus der Legierung L1 über den Querschnitt in mit verschiedenen Vergrößerungen bei einer Maßstabangabe 500  $\mu\text{m}$  (*Fig. 3.1*), 200  $\mu\text{m}$  (*Fig. 3.2*), 50  $\mu\text{m}$  (*Fig. 3.3*) und 20  $\mu\text{m}$  (*Fig. 3.4*) dargestellt und zeigt sphärische Körner mit einigen Korngrenzenphasen.

50 *Fig. 4* zeigt ein mit einem Pressverhältnis von 1:25 bei 380°C verformtes Material der erfindungsgemäßen Legierung L1 in Längs- und Querrichtung vom Rand- und Mittelbereich der Probe.

*Fig. 4.1* und *Fig. 4.2* sind Querschliffbilder vom Rand und der Mitte des Stabes, wobei *Fig. 4.3* und *Fig. 4.4* die entsprechenden Längsschliffbilder darstellen. Es wurde eine mittlere Korngröße von 9  $\mu\text{m}$  bis 6  $\mu\text{m}$  gemessen.

55 In *Fig. 5* ist das globulitische Gussgefüge einer erfindungsgemäßen Legierung L2 dargestellt.

Bei weitestgehend homogener Kornverteilung über den Gussblock betrug die mittlere Korngröße 40 µm.

5 *Fig. 6* zeigt das Guss-Gefüge von *Fig. 5* (L2) in seiner hochfeinen Ausbildungsform mit Maßstabangaben von 500 µm (*Fig. 6.1*), 200 µm (*Fig. 6.2*), 50 µm (*Fig. 6.3*) und 20 µm (*Fig. 6.4*). Es sind geringe feine Ausscheidungsphasen an den Korngrenzen festzustellen.

10 In *Fig. 7* ist das Gefüge eines Presslings aus einer Legierung L2 eines bei einer Temperatur von 380 °C mit einem Pressverhältnis von 1:25 verpressten Gussblockes in Querrichtung am Rand (*Fig. 7.1*) und im Zentrumsbereich (*Fig. 7.2*) sowie in Längsrichtung am Rand (*Fig. 7.3*) und im Mittelbereich des Stabes (*Fig. 7.4*) wiedergegeben. Die mittlere Korngröße betrug etwa 2 µm.

15 Das Gussgefüge eines Blockes aus einer Vergleichslegierung AZ31 zeigt *Fig. 8*. Ein Ausmessen der Mikrostruktur ergab eine Korngröße von 360 µm bei im Wesentlichen homogener Verteilung über den Querschnitt.

20 Nach einem Strangpressen bei 380° C war das Gefüge teilweise grob rekristallisiert und inhomogen, wodurch keine gesicherte Korngrößenbestimmung möglich war.

Wie in *Fig. 9* dargestellt, war das Gussgefüge (Kokillenguss) im Block der Vergleichslegierung ZK31 globulitisch und wies eine Korngröße von 80 µm mit guter Homogenität über den Querschnitt auf.

25 Nach einem Warmpressen des Guss-Bolzens war das Strangpressprofil teilweise inhomogen rekristallisiert. Eine Kristallgrößenbestimmung mit einer gewissen Aussagekraft war am Pressprofil nicht möglich.

30 *Tab. 1:* Zusammensetzungen von Magnesiumlegierungen gemäß dem Stand der Technik (in Gew.-%)

Legierungs-Bezeichnung	Zn	Mn	Al	Si	Ca	Zr	Mg
Z 6	6,0						Rest
ZM 21	2,0	1,0					Rest
ZK 31	3,0					0,6	Rest
AZ 91*	0,8	0,4	9,0	max. 0,5			Rest
AM 60*		0,25	6,0				Rest
AZ 31	1,0	bis 1,0	3,0				Rest

\* im Wesentlichen Gusslegierungen

45 *Tab. 2:* Zusammensetzungen untersuchter Werkstoffe (in Gew.-%)

Legierungs-Bezeichnung	Zn	Mn	Al	Si	Ca	Zr	Ag	Mg
L 1	2,9	0,2	-		0,2		0,5	Rest
L 2	2,8	0,1	-		0,2	0,8	0,4	Rest
ZM 21**	1,8	0,7						Rest
ZK 31**	2,7					0,5		Rest
AZ 31	1,0	0,3	3,0					Rest

\*\*keine Normlegierungen

### Patentansprüche:

5

1. Feinkorn-Magnesium-Basislegierung enthaltend in Gew.-%
- |                         |                |                        |
|-------------------------|----------------|------------------------|
| Zink (Zn)               | mehr als 0,8,  | jedoch weniger als 6,2 |
| Zirkon (Zr)             | Spuren,        | jedoch weniger als 1,0 |
| Mangan (Mn)             | mehr als 0,04, | jedoch weniger als 0,6 |
| Calcium (Ca)            | mehr als 0,04, | jedoch weniger als 2,0 |
| Silizium (Si)           | Spuren,        | jedoch weniger als 1,0 |
| Antimon (Sb)            | Spuren,        | jedoch weniger als 0,5 |
| Silber (Ag)             | mehr als 0,1,  | jedoch weniger als 2,0 |
| optional Aluminium (Al) |                | bis zu 0,5             |
- 15 Magnesium und herstellungsbedingte Verunreinigungen als Rest.

15

2. Magnesium-Basislegierung nach Anspruch 1, in welcher die Mikrolegierungselemente Mn, Ca, Si eine Summenkonzentration von größer als 0,1, jedoch kleiner als 0,65, vorzugsweise von größer als 0,15, jedoch kleiner als 0,5 aufweisen.

20

3. Magnesium-Basislegierung nach Anspruch 1 oder 2, in welcher die Konzentration in Gew.-% von einem oder mehreren Legierungselementen

25

Zn	mehr als 1,0,	vorzugsweise mehr als 1,5,
	jedoch weniger als 5,9,	vorzugsweise weniger als 4,0
Zr	weniger als 0,8,	vorzugsweise weniger als 0,6
Mn	mehr als 0,06,	vorzugsweise mehr als 0,09
	jedoch weniger als 0,4,	vorzugsweise weniger als 0,2
Ca	mehr als 0,1,	vorzugsweise mehr als 0,14
	jedoch weniger als 1,0,	vorzugsweise weniger als 0,6
Si	weniger als 0,5,	vorzugsweise weniger als 0,2
Sb	weniger als 0,25,	vorzugsweise weniger als 0,1
Al	weniger als 0,1,	vorzugsweise weniger als 0,08
Ag	mehr als 0,2,	vorzugsweise mehr als 0,38
	jedoch weniger als 1,2,	vorzugsweise weniger als 0,9

35

beträgt.

4. Halbzeug aus einer Magnesium-Basislegierung mit einer chemischen Zusammensetzung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, verformt mit einem Pressverhältnis von mindestens 1:20, welches Halbzeug eine Korngröße von kleiner 10 µm aufweist und weitgehende Isotropie besitzt.

40

### Hiezu 8 Blatt Zeichnungen

45

50

55

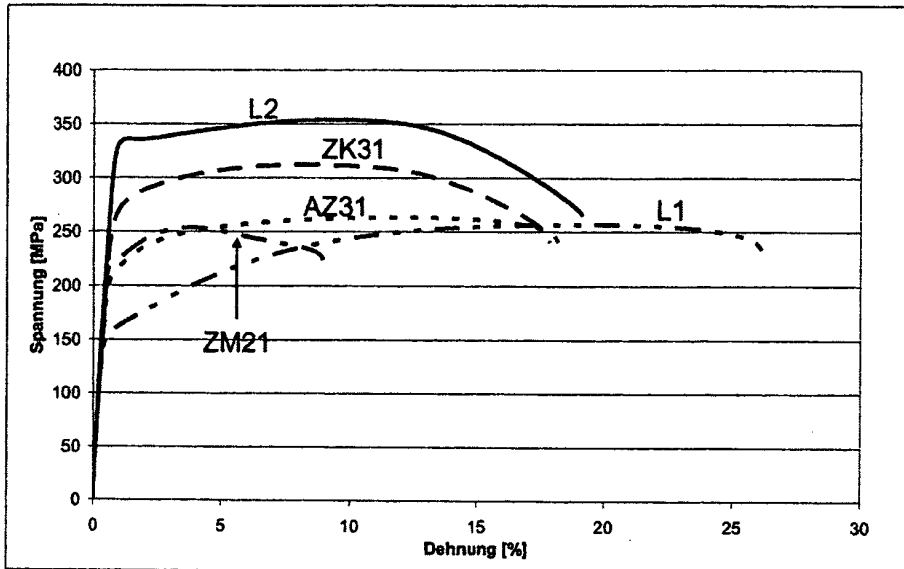


Fig. 1 Spannungs-Dehnungsverhalten von untersuchten Legierungen

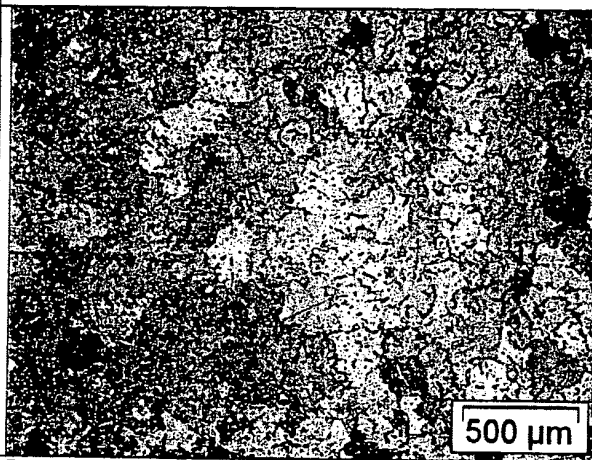


Fig. 2 Versuchslegierung L1; Guss-Gefüge



Fig. 3x Versuchslegierung L1, Guss-Gefüge

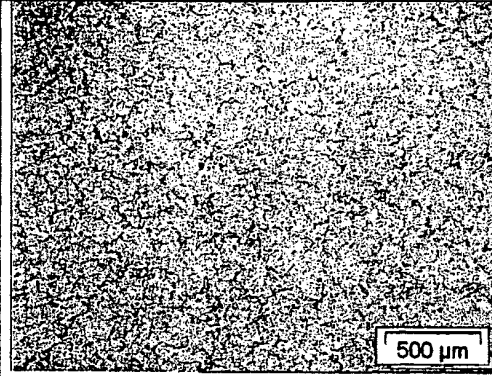


Fig. 3.1 Vergrößerungsmaßstab: 500 µm

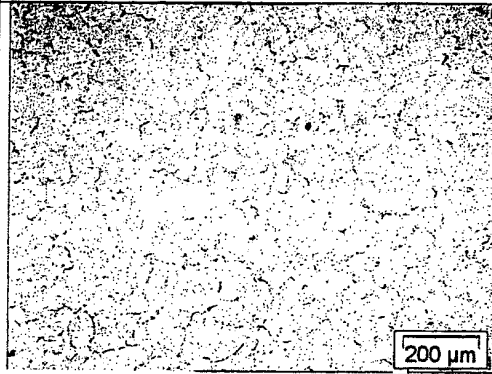


Fig. 3.2 Vergrößerungsmaßstab: 200 µm

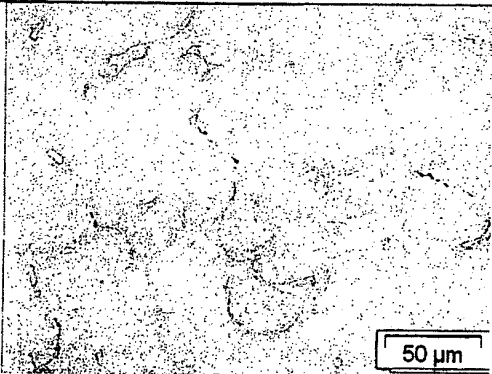


Fig. 3.3 Vergrößerungsmaßstab: 50 µm

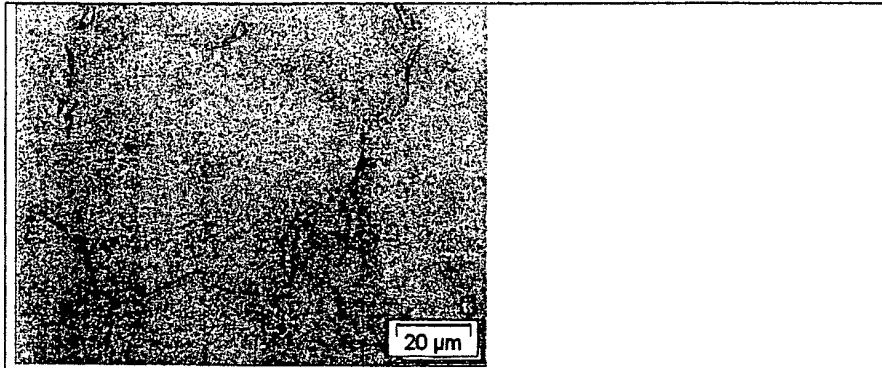


Fig. 3.4 Vergrößerungsmaßstab: 20 µm

Fig. 4x Versuchslegierung L1 verformt

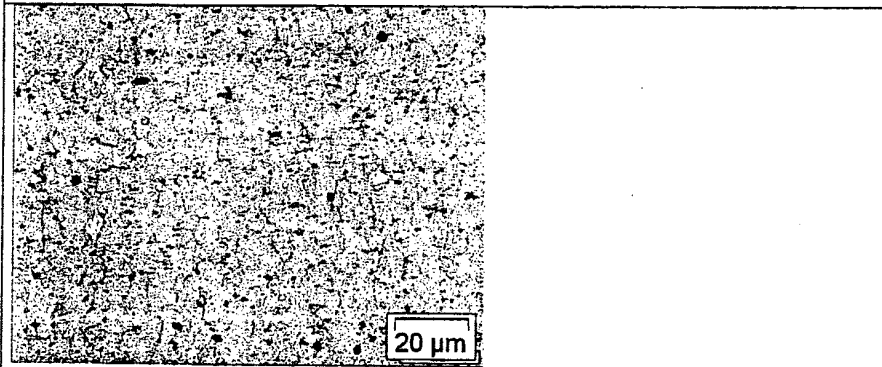


Fig. 4.1 Querschliff-Rand

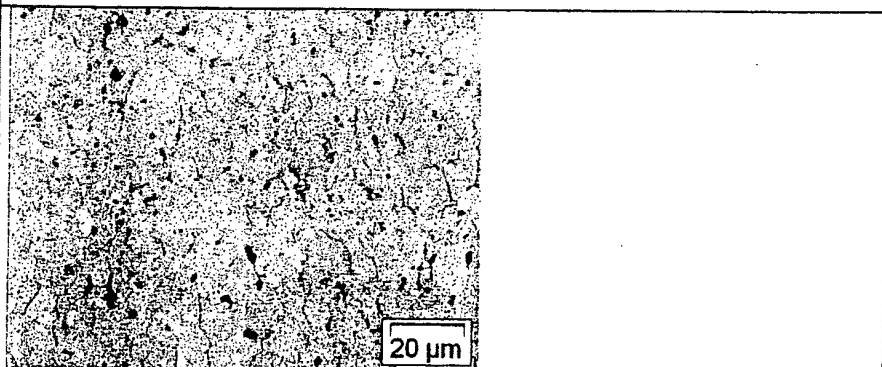


Fig. 4.2 Querschliff-Mitte

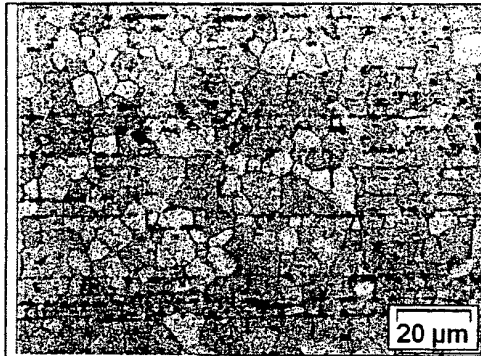


Fig. 4.3 Längsschliff-Rand

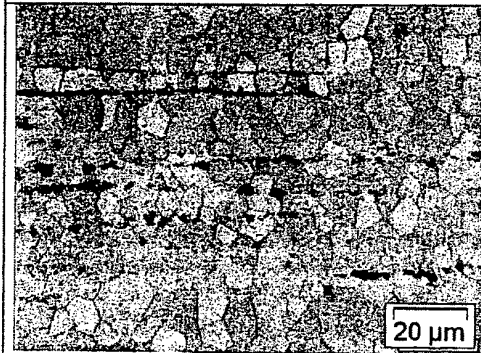


Fig. 4.4 Längsschliff-Mitte

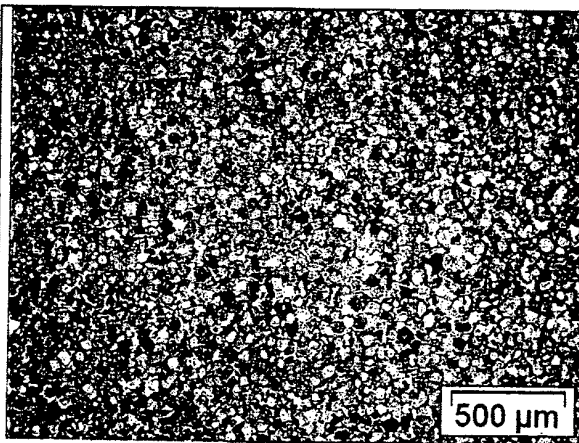
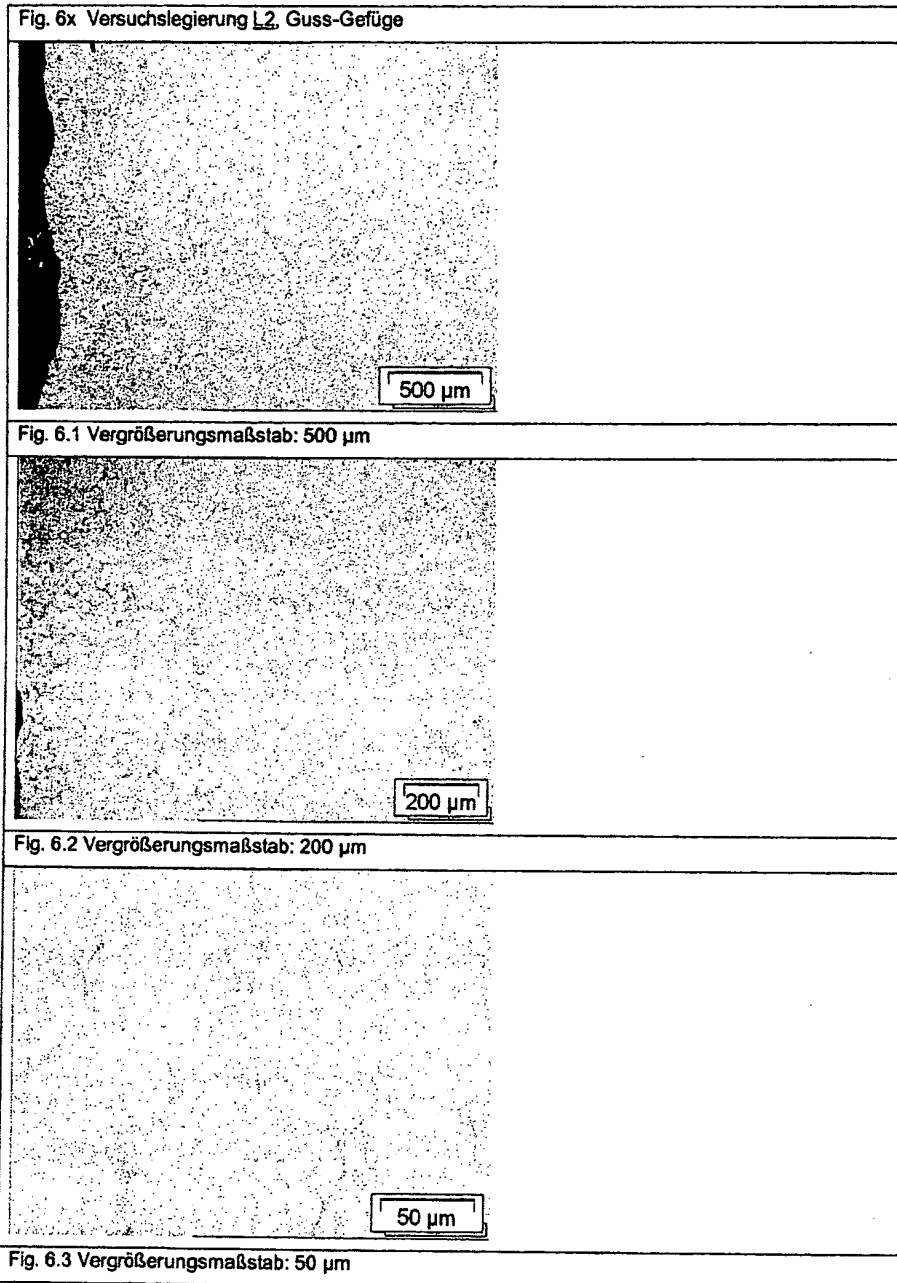


Fig. 5 Versuchslegierung L2, Guss-Gefüge



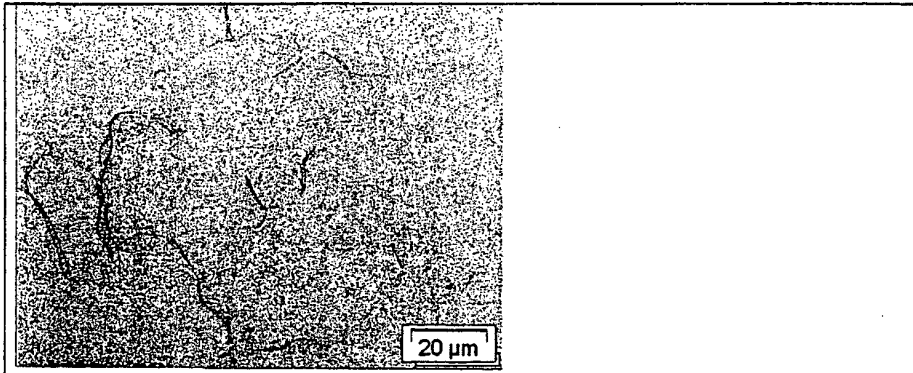


Fig. 6.4 Vergrößerungsmaßstab: 20 µm

Fig. 7x Versuchslegierung L2

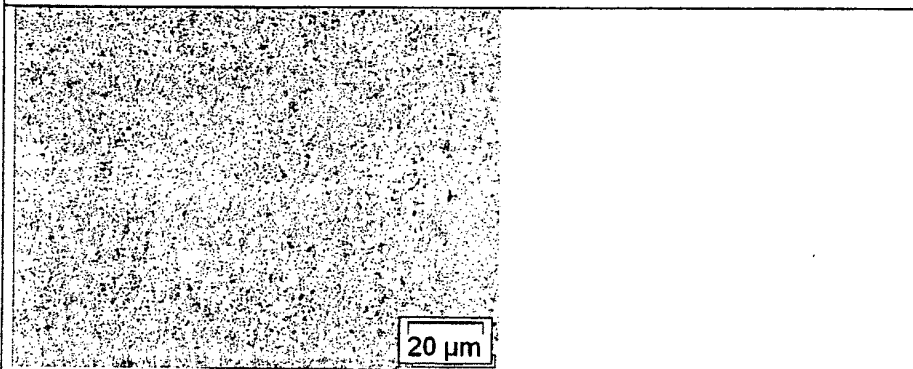


Fig. 7.1 Querschliff-Rand

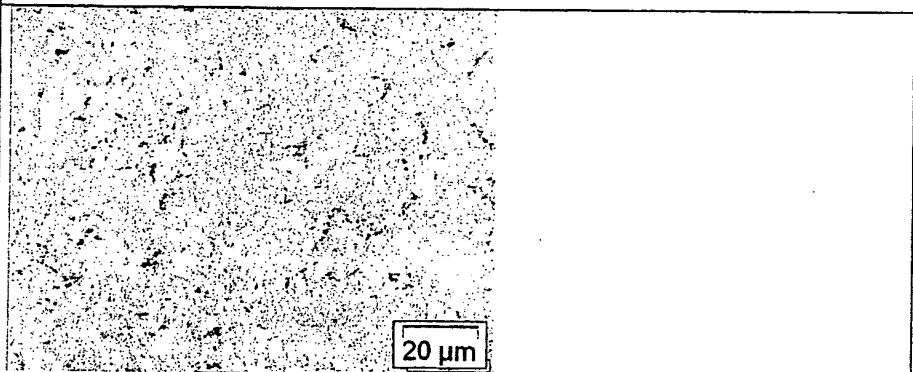


Fig. 7.2 Querschliff-Mitte

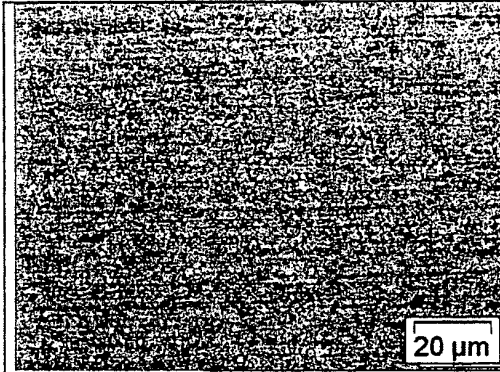


Fig. 7.3 Längsschliff-Rand

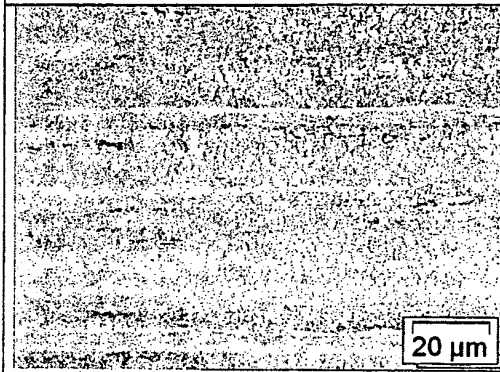


Fig. 7.4 Längsschliff-Mitte

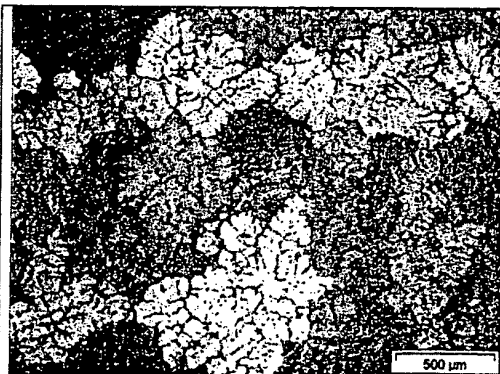


Fig. 8 Vergleichslegierung AZ31, Gusszustand

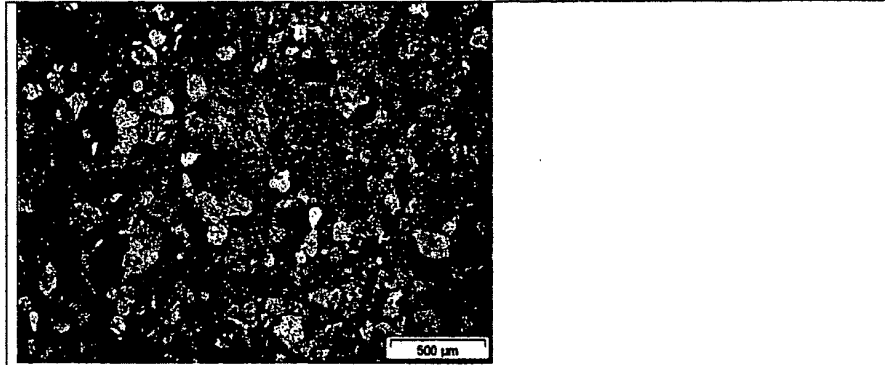


Fig. 9 Vergleichstegierung ZK31, Gusszustand