

(12)

Patentschrift

(21) Anmeldenummer:	A 9186/2004	(51) Int. Cl. ⁸ :	C22C 21/12	(2006.01)
(86) PCT-Anmeldenummer	PCT/EP2004/006044		C22F 1/057	(2006.01)
(22) Anmeldetag:	03.06.2004		B64C 1/00	(2006.01)
(45) Veröffentlicht am:	15.02.2010		B64C 3/00	(2006.01)

(30) Priorität:
06.06.2003 EP 03076779 beansprucht.

(56) Entgegenhaltungen:
US 5979475A1 US 5652063A1
EP 0829552A1
WO 1994/005820A1
US 3826688A1

(73) Patentinhaber:
CORUS ALUMINIUM WALZPRODUKTE
GMBH
D-56070 KOBLENZ (DE)

(72) Erfinder:
BENEDICTUS RINZE
DELFT (NL)
KEIDEL CHRISTIAN JOACHIM
MONTABAUER (DE)
HEINZ ALFRED LUDWIG
NIEDERAHR (DE)
HARGARTER HINRICH JOHANNES
WILHELM
ALKMAAR (NL)

(54) **HOCHSCHADENSTOLERANTES ALUMINIUMLEGIERUNGSPRODUKT IM BESONDEREN FÜR LUFT- UND RAUMFAHRTANWENDUNGEN**

(57) Ein erfindungsgemäßes Aluminiumknetlegierungsprodukt mit hoher Festigkeit und Bruchzähigkeit und hoher Ermüdungsfestigkeit und niedriger Ermüdungsrisswachstumsgeschwindigkeit besteht aus (in Gew.-%) Cu und Mg in einem Bereich, der in das durch die Eckpunkte (Mg Cu), A (0,45 5,35), B (0,75 5,35), C (0,75 4,92), D (0,45 5,20) definierte Viereck fällt, Fe < 0,20, Si < 0,20, Zn < 0,40 und Mn in einem Bereich von 0,15 bis 0,35 in Kombination mit Zr in einem Bereich von 0,06 bis 0,18 und optional in Verbindung mit einem oder mehreren Dispersoide bildenden Elementen, ausgewählt aus der Gruppe bestehend aus Sc < 0,7, Cr < 0,4, Hf < 0,3, Ag < 1,0, Ti < 0,4, V < 0,4, und der Rest bestehend aus Aluminium und anderen Verunreinigungen oder unwesentlichen Elementen. Ferner betrifft die Erfindung ein Verfahren zur Herstellung und eine Verwendung dieses Aluminiumknetlegierungsprodukts.

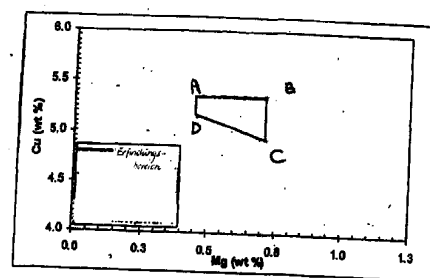


FIG. 1

Beschreibung

HOCHSCHADENSTOLERANTES ALUMINIUMLEGIERUNGSPRODUKT IM BESONDEREN FÜR LUFT- UND RAUMFAHRTANWENDUNGEN

GEBIET DER ERFINDUNG

[0001] Die Erfindung betrifft eine Aluminiumlegierung, im Besonderen einen Al-Cu-Mg-Typ (oder Aluminiumlegierungen der Serie 2000 nach der Bezeichnung durch die Aluminium Association). Spezifischer betrifft die vorliegende Erfindung eine aushärtbare, hochfeste, hochbruchzähe Aluminiumlegierung mit geringer Risswachstumsausbreitung und Produkte, die aus dieser Legierung hergestellt sind. Produkte, die aus dieser Legierung hergestellt sind, sind sehr geeignet für Luft- und Raumfahrtanwendungen, ohne aber darauf beschränkt zu sein. Die Legierung kann zu verschiedenen Produktformen (z.B. Blech, dünne Platte, dicke Platte oder extrudierte oder geschmiedete Produkte) verarbeitet werden. Die Aluminiumlegierung kann unbeschichtet oder beschichtet oder mit einer anderen Aluminiumlegierung plattiert sein, um die Eigenschaften, wie zum Beispiel Korrosionsbeständigkeit, noch weiter zu verbessern.

HINTERGRUND DER ERFINDUNG

[0002] Konstrukteure und Hersteller in der Luft- und Raumfahrtindustrie versuchen ständig, die Kraftstoffeffizienz und Produktleistung zu verbessern, und versuchen ständig, die Herstell- und Wartungskosten zu senken. Effizienz kann durch weitere Gewichtsreduzierung verbessert werden. Eine Art, dies zu erreichen, besteht darin, die relevanten Materialeigenschaften zu verbessern, so dass die Struktur, die aus dieser Legierung hergestellt wird, effektiver konstruiert werden kann oder insgesamt eine bessere Leistung aufweist. Durch Aufweisen von besseren Materialeigenschaften können außerdem die Wartungskosten durch längere Inspektionsintervalle des Flugzeugs signifikant reduziert werden. Unterflügelplatten werden typischerweise aus AA2324 in der T39-Vergütung hergestellt. Für Rumpfaußenhaut wurde typischerweise AA2024 in der T351-Vergütung verwendet. Dies kommt daher, weil diese Legierungen in dieser Vergütung die geforderten Materialeigenschaften unter Zugbelastung aufwiesen, d.h. akzeptable Festigkeitsniveaus, hohe Zähigkeit und geringe Risswachstumsausbreitung. Heutzutage werden neue effizientere Flugzeuge konstruiert, was zu dem Wunsch nach verbesserten Materialeigenschaften führt.

[0003] US-5.652.063 offenbart eine Legierung der Serie AA2000 mit einem Cu/Mg-Verhältnis zwischen 5 und 9 und einer Festigkeit von mehr als 531 MPa. Die Legierung kann sowohl für Unterflügelplatte als auch für Rumpfaußenhaut verwendet werden. Diese Legierung ist im Besonderen für Überschallflugzeuge bestimmt.

[0004] US-5.593.516 offenbart eine Legierung der Serie AA2000, wobei die Niveaus von Kupfer (Cu) und Magnesium (Mg) vorzugsweise unter der Löslichkeitsgrenze gehalten werden. Vorzugsweise $[Cu] = 5,2 - 0,91[Mg]$. In US-5.376.192 und US-5.512.112, die aus derselben ursprünglichen US-Patentanmeldung stammen, wurde das Hinzufügen von Silber (Ag) -Niveaus von 0,1 bis 1,0 Gew.-% offenbart.

[0005] US-Patentanmeldung US2001/006082 offenbart eine Legierung der Serie AA2000, die besonders für den Unterflügel geeignet ist und keine Dispersoid bildenden Elemente wie Zr, Cr oder V aufweist. Es wird außerdem angegeben, dass die Vorteile durch ein verbindliches Cu/Mg-Verhältnis von mehr als 10 erreicht werden.

[0006] Bei neukonstruierten Flugzeugen besteht ein Wunsch nach noch besseren Eigenschaften als sie die oben beschriebenen Legierungen aufweisen, um kosten- und umwelteffektivere Flugzeuge zu konstruieren. Entsprechend besteht ein Bedarf für eine Aluminiumlegierung, die die verbesserte korrekte Eigenschaftsausgewogenheit in der relevanten Produktform erreichen kann.

ZUSAMMENFASSUNG DER ERFINDUNG

[0007] Es ist eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein geschmiedetes Aluminiumlegierungsprodukt bereitzustellen, das im Besonderen für die Anwendung in der Luft- und Raumfahrt geeignet ist, innerhalb der Legierungen der Serie AA2000 liegt und eine Ausgewogenheit von hoher Festigkeit und Bruchzähigkeit und hoher Ermüdungsfestigkeit und niedriger Ermüdungsrisswachstumsgeschwindigkeit aufweist, die wenigstens mit denjenigen von AA2024-HDT vergleichbar ist.

[0008] Es ist noch eine andere Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein Verfahren zum Herstellen eines solchen geschmiedeten Aluminiumlegierungsprodukts bereit zustellen.

[0009] Die vorliegende Erfindung betrifft eine Aluminiumlegierung der Serie AA2000 mit der Fähigkeit, eine Eigenschaftsausgewogenheit bei einem relevanten Produkt zu erreichen, die besser ist als die Eigenschaftsausgewogenheit der Vielfalt von handelsüblichen Aluminiumlegierungen der Serie AA2000, die heutzutage für diese Produkte verwendet werden, oder von Aluminium AA2000, das bisher offenbart wurde.

[0010] Die Aufgabe wird erfüllt durch Bereitstellen eines Aluminiumknetlegierungsprodukts mit hoher Festigkeit und Bruchzähigkeit und hoher Ermüdungsfestigkeit und niedriger Ermüdungsrisswachstumsgeschwindigkeit, wobei die Legierung aus Folgendem besteht (in Gew.-%):

Cu und Mg in einem Bereich, der in das durch die folgenden Eckpunkte definierte Viereck fällt:

Eckpunkt (Mg Cu)

A (0,45 5,35)

B (0,75 5,35)

C (0,75 4,92)

D (0,45 5,20)

Fe < 0,20

Si < 0,20

Zn < 0,40

und Mn in einem Bereich von 0,15 bis 0,35 in Kombination mit Zr in einem Bereich von 0,06 bis 0,18 und optional in Verbindung mit einem oder mehreren Dispersoide bildenden Elementen, ausgewählt aus der Gruppe bestehend aus:

Sc < 0,7

Cr < 0,4

Hf < 0,3

Ag < 1,0

Ti < 0,4

V < 0,4,

und der Rest bestehend aus Aluminium und anderen Verunreinigungen oder unwesentlichen Elementen.

[0011] Zu unserer großen Überraschung stellten wir fest, dass die Dispersoid bildenden Elemente für die Eigenschaftsausgewogenheit so kritisch sind wie die Cu- und Mg-Niveaus für sich selbst. Zn kann in der Legierung dieser Erfindung vorhanden sein, um optimierte Eigenschaften zu erhalten, müssen die Mn-Niveaus sehr sorgfältig in Bezug auf das Ag-Niveau ausgewählt werden. Wenn Ag in der Legierung vorhanden ist, sollte das Mn-Niveau nicht zu hoch, vorzugsweise unter 0,4 Gew.-%, sein. Zr sollte ebenfalls nicht zu hoch sein. Wir haben festgestellt, dass Cr, von dem angenommen wird, dass es eine negative Wirkung auf die Eigenschaftsaus-

gewogenheit hat, tatsächlich eine positive Wirkung hat, aber dann ist vorzugsweise kein Zr in der Legierung vorhanden. Wenn diese Dispersoidwirkung berücksichtigt wird, unterscheiden sich die optimierten Cu- und Mg-Niveaus von dem, was bisher verwendet wurde. Überraschenderweise zeigt die Eigenschaftsausgewogenheit der vorliegenden Legierung eine bessere Leistung als die bestehenden Legierungen.

[0012] Eisen kann in einem Bereich von bis zu 0,20 % vorhanden sein und wird vorzugsweise bei maximal 0,10 % gehalten. Ein typischerweise bevorzugtes Eisenniveau läge in dem Bereich von 0,03 bis 0,08 %.

[0013] Silicium kann in einem Bereich von bis zu 0,20 % vorhanden sein und wird vorzugsweise bei maximal 0,10 % gehalten. Ein typischerweise bevorzugtes Siliciumniveau wäre so niedrig wie möglich und läge aus praktischen Gründen in einem Bereich von 0,02 bis 0,07 %.

[0014] Zink kann in der Legierung nach der Erfindung in einer Menge von bis zu 0,40 % vorhanden sein. Stärker zu bevorzugen ist, dass es in einem Bereich von 0,10 bis 0,25 % vorhanden ist.

[0015] Verunreinigungselemente und unwesentliche Elemente können nach den Standard-AA-Regeln vorhanden sein, nämlich jeweils bis zu 0,05 %, insgesamt 0,15 %.

[0016] Für den Zweck dieser Erfindung meinen wir mit „im Wesentlichen frei“ und „in hohem Maße frei“, dass kein vorsätzliches Hinzufügen eines solchen Legierungselements zu der Zusammensetzung erfolgt ist, dass jedoch auf Grund von Verunreinigungen und/oder Auslaugung durch Kontakt mit Herstellungsausrüstung Spuren Mengen solchen Elements dennoch ihren Weg in das Legierungsendprodukt finden können.

[0017] Mn-Zusatz ist bei der Legierung nach der Erfindung als Dispersoid bildendes Element wichtig und liegt in einem Bereich von 0,15 bis 0,35. Ein geeigneterer Bereich für den Mn-Zusatz liegt in dem Bereich von 0,20 bis 0,35 % und am bevorzugtesten von 0,25 bis 0,35 %.

[0018] Zr wird in einem Bereich von 0,06-0,18 % hinzugefügt. Und ein geeigneter Bereich des Zr-Niveaus ist ein Bereich von 0,06 bis 0,15 %.

[0019] Cr kann in einem Bereich von 0,05 bis 0,30 % und vorzugsweise in einem Bereich von 0,06 bis 0,15 % hinzugefügt werden.

[0020] Bei Hinzufügen sollte der Ag-Zusatz 1,0 % nicht überschreiten und eine bevorzugte untere Grenze ist 0,1 %. Ein bevorzugter Bereich für den Ag-Zusatz ist 0,20 bis 0,8 %. Ein geeigneterer Bereich für den Ag-Zusatz liegt in dem Bereich von 0,20 bis 0,60 % und bevorzugter von 0,25 bis 0,50 % und am bevorzugtesten in einem Bereich von 0,32 bis 0,48 %.

[0021] Des Weiteren können die Dispersoide bildenden Elemente Sc, Hf, Ti und V in den vorgegebenen Bereichen verwendet werden. Bei einer bevorzugteren Ausführung ist das Legierungsprodukt nach der Erfindung in hohem Maße oder im Wesentlichen frei von V, z. B. bei Niveaus von < 0,005 % und bevorzugter abwesend. Ti kann außerdem zum Erreichen einer Kornfeinungswirkung beim Gießvorgang mit Niveaus, die auf dem Gebiet bekannt sind, hinzugefügt werden.

[0022] Die Legierung nach der Erfindung kann durch herkömmliches Schmelzen angefertigt werden und kann zu geeigneter Blockform gegossen werden, wie z.B. mittels Direkthartgießen. Außerdem können Kornfeiner auf Ti-Basis, wie zum Beispiel Titanborid oder Titancarbid, verwendet werden. Nach dem Schälern und möglichen Homogenisieren werden die Blöcke durch zum Beispiel Extrusion oder Schmieden oder Warmwalzen in einer oder mehreren Stufen weiterverarbeitet. Diese Verarbeitung kann für ein Zwischenglühen unterbrochen werden. Weiteres Verarbeiten kann Kaltumformen sein, das Kaltwalzen oder Strecken sein kann. Das Produkt wird lösungsglühbehandelt und durch Tauchen in oder Besprühen mit kaltem Wasser oder schnelles Abkühlen auf eine Temperatur unter 95 °C abgeschreckt. Das Produkt kann weiterverarbeitet werden, zum Beispiel durch Walzen oder Strecken, zum Beispiel bis zu 12 %, oder kann durch Strecken oder Pressen entspannt werden und/oder zu einer End- oder Zwischenvergütung gealtert werden. Das Produkt kann vor oder nach dem abschließenden Altern oder

sogar vor der Lösungsglühbehandlung zu der End- oder Zwischenstruktur geformt oder bearbeitet werden.

AUSFÜHRLICHE BESCHREIBUNG DER ERFINDUNG

[0023] Die Konstruktion handelsüblicher Luftfahrzeuge erfordert unterschiedliche Sätze von Eigenschaften für unterschiedliche Arten von Strukturteilen. Die wichtigen Materialeigenschaften für ein Rumpfblechprodukt sind die Schadenstoleranzeigenschaften unter Zugbelastungen (d.h. Ermüdungsrisswachstumsgeschwindigkeit, Bruchzähigkeit und Korrosionsbeständigkeit).

[0024] Die wichtigen Materialeigenschaften für eine Unterflügelaußenhaut bei einem handelsüblichen Hochleistungs-Düsenluftfahrzeug sind denen für ein Rumpfblechprodukt ähnlich, jedoch wird von den Luftfahrzeugherstellern typischerweise eine höhere Zugfestigkeit gewünscht. Außerdem wird die Ermüdungsgrenze zu einer wichtigen Materialeigenschaft bei dieser Anwendung.

[0025] Die wichtigen Materialeigenschaften für gefertigte Teile aus dicker Platte hängen von dem endbearbeiteten Teil ab. Aber im Allgemeinen muss der Gradient bei Materialeigenschaften durch Dicke sehr klein sein und die Konstruktionseigenschaften wie Festigkeit, Bruchzähigkeit, Ermüdung und Korrosionsbeständigkeit müssen ein hohes Niveau aufweisen.

[0026] Die vorliegende Erfindung betrifft eine Legierungszusammensetzung, die bei Verarbeitung zu einer Vielfalt von Produkten wie Blech, Platte, dicke Platte usw., ohne jedoch darauf beschränkt zu sein, die derzeit gewünschten Materialeigenschaften erfüllt oder übertrifft. Die Eigenschaftsausgewogenheit des Produkts weist eine höhere Leistung auf als die Eigenschaftsausgewogenheit des Produkts, das aus derzeit handelsüblich verwendeten Legierungen für diese Art von Verwendung hergestellt ist, im Besonderen diejenigen von standardmäßigem AA2024 und AA2024-HDT. Es wurde sehr überraschend ein bisher unentdecktes Chemiefenster innerhalb des AA2000-Fensters festgestellt, das diese einzigartige Fähigkeit erfüllt.

[0027] Die vorliegende Erfindung resultierte aus einer Untersuchung zu der Wirkung von Dispersoidniveaus und -arten (z.B. Zr, Cr, Sc, Mn) und in Verbindung mit Cu und Mg auf die Phasen und die Mikrostruktur, die während der Verarbeitung gebildet wird. Manche dieser Legierungen wurden zu Blech und Platte verarbeitet und auf Zugfestigkeit, Kahn-Reißzähigkeit und Korrosionsbeständigkeit geprüft. Auswertungen dieser Ergebnisse führen zu der überraschenden Erkenntnis, dass eine Aluminiumlegierung, die mit einer chemischen Zusammensetzung innerhalb eines bestimmten Fensters produziert wurde, sowohl bei Blech als auch bei Platte als auch bei dicker Platte als auch bei Extrusionen als auch bei Schmiedestücken ausgezeichnete Schadenstoleranzeigenschaften aufweist, wodurch sie ein Mehrzweck-Legierungsprodukt sein kann. Das Legierungsprodukt besitzt außerdem gute Schweißbarkeitseigenschaften.

[0028] Die Erfindung besteht außerdem darin, dass das geschmiedete Legierungsprodukt dieser Erfindung auf einer oder beiden Seiten mit einer Plattierung oder Beschichtung ausgestattet sein kann. Solche plattierten oder beschichteten Produkte verwenden einen Kern aus der Aluminiumbasislegierung der Erfindung und eine Plattierung von normalerweise höherer Reinheit, die im Besonderen den Kern vor Korrosion schützt, was von besonderem Vorteil bei Luft- und Raumfahrtanwendungen ist. Die Plattierung enthält, ohne jedoch darauf beschränkt zu sein, im Wesentlichen unlegiertes Aluminium oder Aluminium, das nicht mehr als 0,1 oder 1 % von allen anderen Elementen enthält. Aluminiumlegierungen, die hierin als Serie des Typs 1xxx bezeichnet werden, enthalten alle Legierungen der Aluminium Association (AA) einschließlich der Unterklassen des Typs 1000, des Typs 1100, des Typs 1200 und des Typs 1300. Daher kann die Plattierung auf dem Kern aus verschiedenen Legierungen der Aluminium Association ausgewählt werden, wie 1060, 1045, 1100, 1200, 1230, 1135, 1235, 1435, 1145, 1345, 1250, 1350, 1170, 1175, 1180, 1185, 1285, 1188, 1199 oder 7072. Zusätzlich können Legierungen der Legierungen der Serie AA7000, wie 7072, die Zink (0,8 bis 1,3 %) enthält oder eine modifizierte Version davon mit 0,4 bis 0,9 Gew.-% Zink, als die Plattierung dienen und Legierungen der Legierungen der Serie AA6000, wie 6003 oder 6253, die typischerweise mehr als 1 % Le-

gierungszusätze enthalten, können als Plattierung dienen. Andere Legierungen könnten ebenfalls als Plattierung nützlich sein, solange sie im Besonderen ausreichenden Gesamtkorrosionsschutz für die Kernlegierung bieten. Die Plattierung kann außerdem eine Aluminiumlegierung sein, die aus der Serie AA4000 ausgewählt wurde, und kann als Korrosionsschutz dienen und kann außerdem bei einem Schweißvorgang unterstützen, z. B. wie in US-6.153.854 (hierin als Bezug aufgenommen) offenbart, wobei die Verwendung von zusätzlichem Zusatzwerkstoffdraht unterbleiben kann. Die Plattierungsschicht oder -schichten sind normalerweise viel dünner als der Kern, wobei jede 1 bis 15 % oder 20 % oder möglicherweise 25 % der Gesamtverbunddicke darstellt. Eine Plattierungs- oder Beschichtungsschicht bildet eher typischerweise ungefähr 1 bis 11 % der Gesamtverbunddicke.

[0029] Bei einem anderen Aspekt der Erfindung wird ein bevorzugtes Verfahren bereitgestellt, um das Aluminiumlegierungsprodukt nach der Erfindung zu einem Strukturelement herzustellen. Das Verfahren zum Herstellen eines hochfesten, hochzähen Legierungsprodukts der Serie AA2000 mit niedriger Ermüdungsrisswachstumsgeschwindigkeit und einer guten Korrosionsbeständigkeit umfasst folgende Schritte:

- [0030]** a) Gießen eines Blocks mit einer Zusammensetzung nach der Darlegung in der Beschreibung und den Ansprüchen;
- [0031]** b) Homogenisieren und/oder Vorwärmen des Blocks nach dem Gießen,
- [0032]** c) Warmumformen des Blocks zu einem vorbearbeiteten Produkt;
- [0033]** d) wahlweise Wiedererwärmen des vorbearbeiteten Produkts und
- [0034]** e) Warmumformen und/oder Kaltumformen zu einer gewünschten Werkstückform;
- [0035]** f) Lösungsglühbehandeln des umgeformten Werkstücks in einem Temperaturbereich von 460° C bis 535° C;
- [0036]** g) Abschrecken des lösungsglühbehandelten Werkstücks durch eines von Sprühabschrecken oder Immersionsabschrecken in Wasser oder anderen Abschreckmedien;
- [0037]** h) wahlweise Strecken oder Pressen des abgeschreckten Werkstücks oder anderweitiges Kaltumformen zum Entspannen, zum Beispiel Richten von Blechprodukten;
- [0038]** i) Altern des abgeschreckten und wahlweise gestreckten und/oder gepressten Werkstücks, um eine gewünschte Vergütung zu erreichen, zum Beispiel die Vergütungen T3, T351, T36, T3x, T4, T6, T6x, T651, T87, T89, T8x.
- [0039]** j) wahlweise gefolgt von Bearbeitung des umgeformten Produkts bis zu der Endform des Strukturelements.

[0040] Die Legierungsprodukte der vorliegenden Erfindung werden herkömmlicherweise durch Schmelzen präpariert und können durch Direkthartgießen oder andere geeignete Gießtechniken zu Blöcken gegossen werden. Die Homogenisierungsbehandlung wird typischerweise in einem oder mehreren Schritten durchgeführt, wobei jeder Schritt eine Temperatur in dem Bereich von 460 bis 535° C aufweist. Die Vorwärmtemperatur beinhaltet Erwärmen des Walzblocks auf die Warmwalzwerk-Eingangstemperatur, die in einem Temperaturbereich von 400 bis 460° C liegt. Das Warmumformen des Legierungsprodukts kann durch eines aus Walzen, Extrudieren oder Schmieden erfolgen. Bei der aktuellen Legierung wird Warmwalzen bevorzugt. Lösungsglühbehandlung wird in demselben Temperaturbereich durchgeführt, der für Homogenisieren verwendet wird, obwohl die Tauchzeiten etwas kürzer gewählt werden können.

[0041] Eine überraschend ausgezeichnete Eigenschaftsausgewogenheit wird über einen breiten Dickenbereich erreicht. Bei dem Blechdickenbereich von bis zu 0,5 Zoll (12,5 mm) sind die Eigenschaften ausgezeichnet für Rumpfblech. In dem dünnen Plattendickenbereich von 0,7 bis 3 Zoll (17,7 bis 76 mm) sind die Eigenschaften ausgezeichnet für eine Flügelplatte, z. B. Unterflügelplatte. Der dünne Plattendickenbereich kann außerdem für Holme oder zum Formen eines integralen Flügelplattenfelds und Holms zur Verwendung bei einer Luftfahrzeugflügelstruktur verwendet werden. Bei Verarbeitung zu dickeren Maßen von mehr als 2,5 Zoll (63 mm) bis zu

ungefähr 11 Zoll (280 mm) werden ausgezeichnete Eigenschaften für integrale Teile, die aus Platten gefertigt sind, oder zum Formen eines integralen Holms zur Verwendung bei einer Luftfahrzeugflügelstruktur oder in der Form einer Rippe zur Verwendung bei einer Luftfahrzeugflügelstruktur erzielt. Die Produkte mit dickerem Maß können außerdem als Werkzeugplatte, z.B. Formen zum Herstellen geformter Kunststoffprodukte, zum Beispiel durch Druckguss oder Spritzguss, verwendet werden. Die Legierungsprodukte nach der Erfindung können außerdem in der Form einer gestuften Extrusion oder eines extrudierten Holms zur Verwendung bei einer Luftfahrzeugstruktur oder in der Form eines geschmiedeten Holms zur Verwendung bei einer Luftfahrzeugflügelstruktur bereitgestellt werden.

KURZE BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

[0042] Fig. 1 ist ein Mg-Cu-Diagramm, das den Cu-Mg-Bereich für die Legierung nach dieser Erfindung darlegt;

[0043] Fig. 2(a) und 2 (b) zeigen ein Diagramm für Zugfestigkeit gegenüber Zähigkeit in zwei Prüfrichtungen für die Legierung nach dieser Erfindung in einer T651-Vergütung im Vergleich zu 2024-Legierungen nach dem Stand der Technik;

[0044] Fig. 3 (a) und 3 (b) zeigen ein Diagramm für Zugfestigkeit gegenüber Zähigkeit in zwei Prüfrichtungen für die Legierung nach dieser Erfindung in einer T89-Vergütung im Vergleich zu 2024-Legierungen nach dem Stand der Technik;

[0045] Fig. 4 zeigt die Zugfestigkeit gegenüber Zähigkeit von zwei Legierungen nach dieser Erfindung als Funktion des Cr- und Zr-Gehalts;

[0046] Fig. 5 zeigt die Zugfestigkeit gegenüber der Kerbzähigkeit der Legierung nach dieser Erfindung für zwei Prüfrichtungen in verschiedenen Vergütungen im Vergleich zu bekannten 2024-Legierungen nach dem Stand der Technik;

[0047] Fig. 6 zeigt die Ermüdungsrisswachstumsgeschwindigkeit der Legierung nach dieser Erfindung in zwei Vergütungen im Vergleich zu der Legierung HDT-AA2024-T351 nach dem Stand der Technik.

[0048] Fig. 1 zeigt schematisch die Bereiche für Cu und Mg für die Legierung nach der vorliegenden Erfindung. Die Bereiche können außerdem unter Verwendung der Eckpunkte A, B, C und D eines Kastens gekennzeichnet werden. Die Koordinaten sind in der Tabelle 1 aufgeführt.

[0049] Tabelle 1. Koordinaten (in Gew.-%) für die Eckpunkte der Cu-Mg-Bereiche für die Bereiche des Legierungsprodukts nach der Erfindung.

[0050]

Eckpunkt	(Mg,Cu)
A	0,45 5,35
B	0,75 5,35
C	0,75 4,92
D	0,45 5,20

BEISPIELE

BEISPIEL 1

[0051] Auf Laborebene wurden 18 Legierungen gegossen, um das Prinzip der aktuellen Erfindung nachzuweisen, und zu 4,0-mm-Blech verarbeitet. Die Legierungszusammensetzungen werden in Tabelle 2 aufgeführt, wobei für alle Blöcke Fe = 0,07, Si = 0,05, Ti = 0,02, Rest Aluminium, gilt. Walzblöcke von ungefähr 80 mal 80 mal 100 mm (Höhe x Breite x Länge) wurden von runden Labor-Gussblöcken von ungefähr 12 kg geschnitten. Die Blöcke wurden mit einer

Zweistufen-Homogenisierungsbehandlung homogenisiert, d.h. ungefähr 10 Std. bei 520° C gefolgt von 10 Std. bei 525 bis 530 °C. Die Erwärmung auf die Homogenisierungstemperatur erfolgte langsam. Nach der Homogenisierungsbehandlung wurden die Blöcke folglich langsam luftgekühlt, um einen industriellen Homogenisierungsprozess nachzuahmen. Die Walzblöcke wurden ungefähr 6 Stunden bei $460 \pm 5^\circ \text{C}$ vorgewärmt. Bei einem Zwischendickebereich von ungefähr 40 bis 50 mm wurden die Blöcke bei $460 \pm 5^\circ \text{C}$ wiedererwärmt. Die Blöcke wurden zu dem Endmaß von 4,0 mm warmgewalzt. Während des gesamten Warmwalzprozesses wurde darauf geachtet, ein Warmwalzen auf industrieller Ebene nachzuahmen. Die warmgewalzten Produkte wurden lösungsglühbehandelt und abgeschreckt. Die Bleche wurden zu der entsprechenden Vergütung verarbeitet. Das Streckniveau lag, je nach Endvergütung, zwischen 0 und 9 %. Die Endprodukte wurden zu Festigkeit spitzengealtert oder fast spitzengealtert (z.B. T6x- oder T8x-Vergütung).

[0052] Die Zugfestigkeitseigenschaften wurden nach EN10.002 geprüft. Die Zug-Prüfkörper aus 4 mm dickem Blech waren flache EURO-NORM-Prüfkörper mit 4 mm Dicke. Die Zugprüfungsergebnisse in Tabelle 3 und 4 sind für die L- und LT-Richtung. Die Kahn-Reißzähigkeit wird nach ASTM B871-96 geprüft und die Prüfrichtung der Ergebnisse in Tabelle 3 und 4 ist die T-L- und L-T-Richtung. Die sogenannte Kerbzähigkeit kann ermittelt werden, indem die Reißfestigkeit, die durch die Kahn-Reißprüfung ermittelt wurde, durch die technische Streckgrenze geteilt wird (TS/Rp). Dieses typische Ergebnis aus der Kahn-Reißprüfung ist auf dem Gebiet dafür bekannt, ein guter Indikator für echte Bruchzähigkeit zu sein. Die Einheitsausbreitungsenergie (UPE), die ebenfalls durch die Kahn-Reißprüfung ermittelt wurde, ist die Energie, die für Risswachstum erforderlich ist. Es wird üblicherweise angenommen, dass, je höher die UPE ist, desto schwieriger ist es, dass der Riss wächst, was ein gewünschtes Merkmal des Materials ist.

[0053] Die Legierungen aus Tabelle 2 wurden nach dem oben beschriebenen Verarbeitungsablauf zu Blech verarbeitet. Abschließend wurden die Legierungen zu T651 gealtert (1,5 % gestreckt und 12 Std. bei 175° C gealtert). Die Ergebnisse werden in Tabelle 3 und in den Figuren 2a, 2b gezeigt.

[0054] In Figur 2a, 2b werden die Ergebnisse von Standard-AA2024 als Bezug angegeben. Die Zugfestigkeit gegenüber Zähigkeit von handelsüblich erhältlichem AA2024 für Rumpfanwendung und die Zugfestigkeit gegenüber Zähigkeit von hochschadenstolerantem (HDT) AA2024 (z.B. AA2524) werden als Bezug angegeben. Die geschlossenen Einzelpunkte sind Legierungen nach der Erfindung, während die offenen Einzelpunkte Legierungen nicht nach dieser Erfindung sind. Unsere Erfindung zeigt bei L gegenüber L-T wenigstens eine 15%ige Verbesserung bei der Zähigkeit gegenüber HDT-AA2024 und die besten Ergebnisse sogar eine Verbesserung von 20 % oder mehr. Die erfahrene Person erkennt sofort, dass die Werte für handelsübliches 2024 und 2024-HDT oben links typischerweise Werte für die T3-Vergütungen darstellen, während die untere rechte Seite Werte für die T6- und T8-Vergütungen darstellt.

[0055] Aus den Ergebnissen ist außerdem ersichtlich, dass bei sorgfältigem Abgleichen des Ag-Niveaus, der Dispersoidniveaus und der Cu- und Mg-Niveaus eine bisher unerreichte Verbesserung bei den Eigenschaften von Zähigkeit gegenüber Zugfestigkeit erzielt werden kann.

[0056] Bleche aus derselben Legierung wurden außerdem zu der T8-Vergütung produziert. In Tabelle 4 und Figur 3a, 3b werden die Ergebnisse der T89-Vergütung auf eine ähnliche Weise gezeigt wie bei Figur 2a und 2b. In Figur 3a, 3b werden die Ergebnisse von AA2024 erneut als Bezug angegeben. Die Zugfestigkeit gegenüber Zähigkeit von handelsüblich erhältlichem AA2024 für Rumpfanwendung und die Zugfestigkeit gegenüber Zähigkeit von hochschadenstolerantem (HDT) AA2024 (z. B. AA2524) werden als Bezug angegeben. Unsere Erfindungen zeigen bei L gegenüber L-T wenigstens eine Verbesserung von 15 % bei der Zähigkeit gegenüber HDT-AA2024 und die besten Ergebnisse sogar eine Verbesserung von 20 % oder mehr.

[0057] Aus den Ergebnissen ist außerdem ersichtlich, dass bei sorgfältigem Abgleichen des Ag-Niveaus, der Dispersoidniveaus und der Cu- und Mg-Niveaus eine bisher unerreichte Verbesserung bei den Eigenschaften von Zähigkeit gegenüber Zugfestigkeit erzielt werden kann.

[0058] Es ist zu beachten, dass Legierung 16 in der T8-Vergütung eine beeindruckende Ausgewogenheit von Zugfestigkeit gegenüber Zähigkeit zeigt, während in der T6-Vergütung diese Legierung nahe an, jedoch unmittelbar unterhalb von dem Ziel einer Verbesserung von 20 % lag. Es wird angenommen, dass die leicht geringere Leistung dieser Legierung in der T6-Vergütung die Resultante von experimenteller Streuung bei dem Versuch auf Laborebene ist.

[0059] Tabelle 2: Chemie von Legierungen, die auf Laborebene gegossen wurden.

[0060] Jede mit 0,06 Gew.-% Fe und 0,04 Gew.-% Si und 0,02 Gew.-% Ti.

Prüf- körper Nr.	Erfindungs- legierung (ja/nein)	Cu (Gew.- %)	Mg (Gew.- %)	Mn (Gew.- %)	Ag (Gew.- %)	Zn (Gew.- %)	Zr (Gew.- %)	Andere (Gew.- %)
1	nein	5,6	0,45	0,30	0,44	0,41	0,13	-
2	nein	5,1	0,55	0,30	0,40	< 0,01	0,15	-
3	nein	5,1	0,55	0,29	0,40	0,38	0,15	-
4	nein	5,2	0,56	0,31	< 0,01	0,61	0,15	-
5	nein	5,1	0,55	0,30	0,40	0,20	0,16	-
6	nein	4,9	0,62	0,30	0,39	0,20	0,14	-
7	nein	5,0	0,61	0,30	0,40	0,11	0,15	-
8	ja	5,1	0,63	0,31	0,25	0,21	0,15	-
9	nein	5,0	0,61	0,30	0,40	0,21	< 0,01	0,12 Cr
10	nein	5,0	0,63	< 0,01	0,40	0,21	0,15	-
11	nein	5,0	0,64	< 0,01	< 0,01	0,21	< 0,01	0,12 Cr
12	nein	5,0	0,42	0,31	0,40	0,21	0,15	-
13	nein	5,0	0,83	0,28	0,41	0,21	0,15	-
14	nein	5,3	0,22	0,31	0,39	0,21	0,15	-
15	nein	5,4	0,62	0,30	0,40	0,21	0,15	-
16	nein	4,8	0,96	0,28	0,40	0,21	0,15	-
17	nein	4,6	0,80	0,30	0,39	0,20	0,15	-
18	nein	5,2	0,62	0,30	< 0,01	< 0,01	0,14	0,20 Ge

Tabelle 3: Mechanische Eigenschaften der Legierungen, die in der T651-Vergütung geprüft wurden
 ("--" bedeutet "nicht gemessen")

Prüf- körper- nummer	Erfindungs- Legierung (Ja/nein)	L			L-T			LT			T-L					
		Rm (MPa)	Rp (MPa)	DEHNUNG A5 (%)	TS/Rp	UPE (kJ/m ²)	Rm (MPa)	Rp (MPa)	DEHNUNG A5 (%)	TS/Rp	UPE (kJ/m ²)	TS/Rp	UPE (kJ/m ²)			
1	Nein	507	461	13	1.37	126	507	461	13	1.37	126	507	461	13	1.37	126
2	Nein	517	480	9	1.61	351	503	456	11	1.59	176	503	456	11	1.59	176
3	Nein	517	484	11	1.61	314	505	460	9	1.63	147	505	460	9	1.63	147
4	Nein	462	384	16	1.82	302	462	376	16	1.86	210	462	376	16	1.86	210
5	Nein	512	474	13	1.55	333	501	454	11	1.65	132	501	454	11	1.65	132
6	Nein	509	470	10	1.68	378	500	456	10	1.84	196	500	456	10	1.84	196
7	Nein	507	466	12	1.62	328	493	447	8	1.68	152	493	447	8	1.68	152
8	Ja	509	461	12	1.70	334	493	443	8	1.70	204	493	443	8	1.70	204
9	Nein	505	467	12	1.55	311	490	434	12	1.59	165	490	434	12	1.59	165
10	Nein	503	462	9	1.71	303	501	454	12	1.77	208	501	454	12	1.77	208
11	Nein	450	382	13	1.67	206	451	371	12	1.73	210	451	371	12	1.73	210
12	Nein	489	421	12	1.79	396	479	418	12	1.52	129	479	418	12	1.52	129
13	Nein	518	478	12	1.53	225	518	466	11	1.89	190	518	466	11	1.89	190
14	Nein	441	366	15	1.84	311	440	355	11	1.39	100	440	355	11	1.39	100
15	Nein	527	484	13	1.50	236	516	480	10	1.56	257	516	480	10	1.56	257
16	Nein	500	452	13	1.52	308	490	432	12	1.52	308	490	432	12	1.52	308
17	Nein	496	452	13	1.52	308	484	430	12	1.80	408	484	430	12	1.80	408
18	Nein	450	367	18	1.80	408	444	345	14	1.80	408	444	345	14	1.80	408

Tabelle 4: Mechanische Eigenschaften der Legierungen, die in der T89-Vergütung geprüft wurden ("..." bedeutet "nicht gemessen")

Prüf- körper nummer	Erfindungs- legierung (ja/nein)	L			L-T			LT			T-L		
		Rm (MPa)	Rp (MPa)	DEHNUNG A5 (%)	TS/Rp	UPE (kJ/m ²)	Rm (MPa)	Rp (MPa)	DEHNUNG A5 (%)	TS/Rp	UPE (kJ/m ²)	TS/Rp	UPE (kJ/m ²)
1	Nein	511	469	13	1.32	78	511	469	13	1.32	78	1.32	78
2	Nein	509	475	12	1.88	403	513	477	5	1.58	201	1.58	201
3	Nein	515	490	11	1.50	341	519	480	5	1.53	141	1.53	141
4	Nein	499	468	14	1.50	333	496	453	7	1.51	155	1.51	155
5	Nein	508	478	12	1.67	310	514	477	6	1.57	141	1.57	141
6	Nein	504	477	13	1.55	380	507	470	5	1.55	205	1.55	205
7	Nein	505	478	10	1.55	312	509	455	5	1.53	143	1.53	143
8	Ja	510	487	10	1.56	263	512	482	5	1.49	139	1.49	139
9	Nein	516	486	12	1.54	308	523	486	6	1.52	170	1.52	170
10	Nein	519	492	13	1.52	271	518	484	5	1.51	168	1.51	168
11	Nein	506	474	8	1.40	143	486	452	6	1.36	93	1.36	93
12	Nein	488	458	14	1.58	302	496	453	6	--	--	--	--
13	Nein	536	507	9	1.30	238	541	499	5	1.42	116	1.42	116
14	Nein	473	416	15	1.72	332	477	417	7	1.63	195	1.63	195
15	Nein	531	504	12	1.36	144	531	494	6	1.37	110	1.37	110
16	Nein	534	517	10	1.40	152	531	494	6	1.52	117	1.52	117
17	Nein	526	503	9	1.42	128	512	473	6	1.45	115	1.45	115
18	Nein	469	426	15	1.59	291	463	408	7	1.72	195	1.72	195

BEISPIEL 2

[0061] Es wurden zwei weitere Legierungen gegossen und verarbeitet und geprüft, wie in Beispiel 1 angegeben. Die Chemie der beiden Legierungen wird in Tabelle 5 gezeigt. Das Endmaß betrug 4,0 mm. Die Bleche aus diesen Legierungen wurden zu T651- und T89-Vergütung gealtert. Die Zug- und Kahn-Reiß-Proben wurden von zwei Seiten zu einer Enddicke von 2,0 mm bearbeitet, bevor geprüft wurde. Die Prüfergebnisse dieser Bleche werden in Tabelle 6 und Figur 4 angegeben.

[0062] Beispiel 2 demonstriert, dass eine Cr-haltige Legierung, im Gegensatz zur allgemeinen Annahme, ebenfalls eine sehr hohe Zähigkeit aufweisen kann. Überraschenderweise zeigt die Cr-haltige Legierung 20 eine bessere Leistung als die Legierung der Zr-haltigen Legierung 19.

[0063] Tabelle 5.

[0064] Chemische Zusammensetzung (in Gew.-%) von zwei Legierungen jede mit Fe = 0,06, Si = 0,04, Ti = 0,02.

Prüf- körper Nr.	Erfindungs- legierung (ja/nein)	Cu	Mg	Mn	Ag		Zr	Andere
19	nein	5,05	0,62	0,38	0,47	0,21	0,15	-
20	nein	5,09	0,62	0,29	0,42	0,21	< 0,01	0,12 Cr

[0065] Tabelle 6.

[0066] Eigenschaften von Legierung 20 und 21 von Tabelle 5 in der LT-(T-L-)Richtung.

Prüf- körper	Vergütung	Rm (MPa)	Rp (MPa)	Dehnung (%)	TS/Rp	UPE (kJ/m ²)

Patentansprüche

1. Aluminiumknetlegierungsprodukt mit hoher Festigkeit und Bruchzähigkeit und hoher Ermüdungsfestigkeit und niedriger Ermüdungsrisswachstumsgeschwindigkeit, wobei die Legierung aus Folgendem besteht (in Gew.-%):

Cu und Mg ein einem Bereich, der in das durch die folgenden Eckpunkte definierte Viereck fällt:

Eckpunkt (Mg Cu)

A (0,45 5,35)

B (0,75 5,35)

C (0,75 4,92)

D (0,45 5,20)

Fe < 0,20

Si < 0,20

Zn < 0,40

und Mn in einem Bereich von 0,15 bis 0,35 in Kombination mit Zr in einem Bereich von 0,06 bis 0,18 und optional in Verbindung mit einem oder mehreren Dispersoide bildenden Elementen, ausgewählt aus der Gruppe bestehend aus:

Sc < 0,7

Cr < 0,4

Hf < 0,3

Ag < 1,0

Ti < 0,4

V < 0,4,

und der Rest bestehend aus Aluminium und anderen Verunreinigungen oder unwesentlichen Elementen.

2. Aluminiumknetlegierungsprodukt nach Anspruch 1, wobei der Zr-Gehalt in einem Bereich von 0,06 bis zu 0,15 % liegt.
3. Aluminiumknetlegierungsprodukt nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der Mn-Gehalt in einem Bereich von 0,20 bis 0,35 %, vorzugsweise in einem Bereich von 0,25 bis 0,35 % liegt.
4. Aluminiumknetlegierungsprodukt nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der Ag-Gehalt in einem Bereich von bis zu 0,6 %, vorzugsweise in dem Bereich von 0,25 bis 0,50 % oder noch bevorzugter in einem Bereich von 0,32 bis 0,48 % liegt.
5. Aluminiumknetlegierungsprodukt nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der Cr-Gehalt in einem Bereich von bis zu 0,30 %, vorzugsweise in einem Bereich von bis zu 0,15 % liegt.
6. Aluminiumknetlegierungsprodukt nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der Zn-Gehalt in einem Bereich von 0,10 bis 0,25 % liegt.
7. Verwendung des Aluminiumknetlegierungsprodukts nach einem der vorhergehenden Ansprüche, als Blech, Platte, Schmiedestück oder Extrusion bei einer Luftfahrzeugstruktur.
8. Verwendung des Aluminiumknetlegierungsprodukts nach einem der vorhergehenden Ansprüche, als Rumpfblech, Oberflügelplatte, Unterflügelplatte, dicke Platte für bearbeitete Teile, Schmiedestück oder dünne Platte für Holme.
9. Verwendung des Aluminiumknetlegierungsprodukts nach einem der vorhergehenden Ansprüche, als Plattenprodukt mit einer Dicke in dem Bereich von 12 bis 76 mm.
10. Verfahren zum Herstellen eines hochfesten, hochzähen Legierungsprodukts der Serie AA2000 mit einem guten Schadenstoleranzverhalten, folgende Schritte umfassend:
 - a) Gießen eines Blocks mit einer Zusammensetzung nach einem der Ansprüche 1 bis 6;
 - b) Homogenisieren in einem Temperaturbereich von 460°C bis 535°C und/oder Vorwärmen in einem Temperaturbereich von 400°C bis 460°C des Blocks nach dem Gießen;
 - c) Warmumformen des Blocks zu einem vorbearbeiteten Produkt;
 - d) gegebenenfalls Wiedererwärmen des vorbearbeiteten Produkts und
 - e) Warmumformen und/oder Kaltumformen zu einer gewünschten Werkstückform;
 - f) Lösungsglühbehandeln des umgeformten Werkstücks in einem Temperaturbereich von 460° C bis 535° C;
 - g) Abschrecken des lösungsglühbehandelten Werkstücks durch eines von Sprühabschrecken oder Immersionsabschrecken in Wasser oder anderen Abschreckmedien;
 - h) wahlweise Strecken oder Pressen des abgeschreckten Werkstücks;
 - i) Vergüten des abgeschreckten und wahlweise gestreckten oder gepressten Werkstücks durch Altern.
11. Herstellverfahren nach Anspruch 10, wobei das Legierungsprodukt zu einer Vergütung gealtert wird, die aus der Gruppe bestehend aus T3, T351, T352, T36, T3x, T4, T6, T61, T62, T6x, T651, T652, T87, T89, T8x ausgewählt wurde.
12. Verwendung des Herstellverfahrens nach Anspruch 10 oder 11, zur Herstellung eines Rumpfblechs für ein Luftfahrzeug.

13. Verwendung des Herstellverfahrens nach Anspruch 10 oder 11, zur Herstellung einer Unterflügelplatte eines Luftfahrzeugs.
14. Verwendung des Herstellverfahrens nach Anspruch 10 oder 11, für die Herstellung einer Oberflügelplatte eines Luftfahrzeugs.
15. Verwendung des Herstellverfahrens nach Anspruch 10 oder 11, für die Herstellung einer dicken Platte mit einer Dicke von bis zu 280 mm für bearbeitete Strukturen.

Hierzu 5 Blatt Zeichnungen

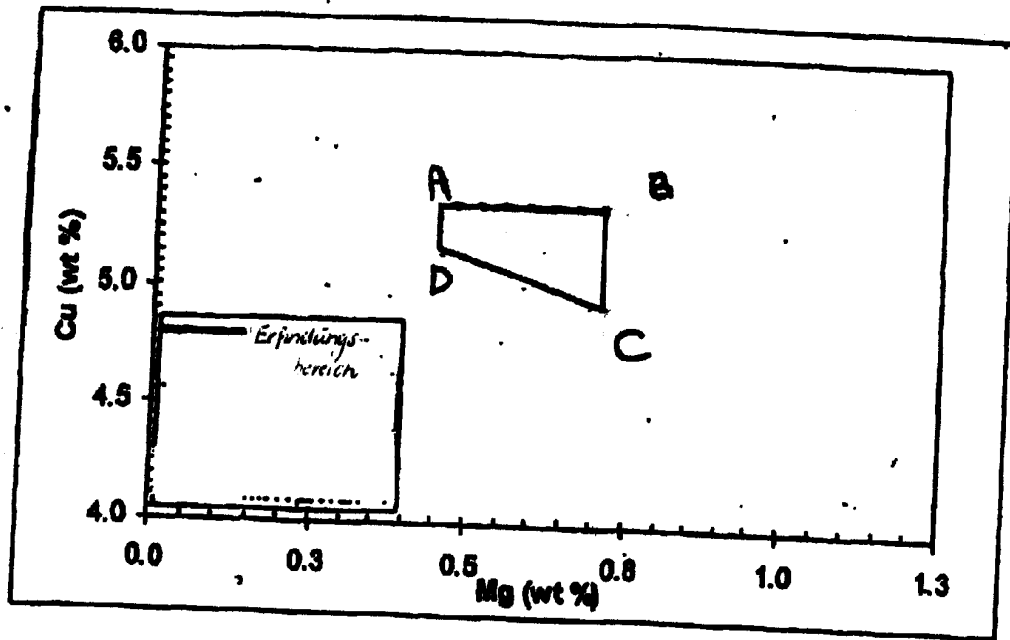


FIG. 1

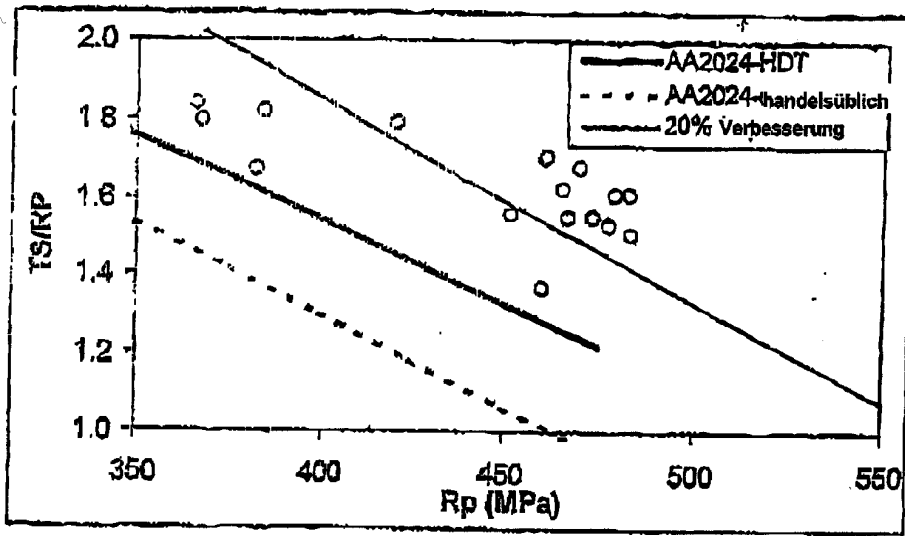


FIG. 2a

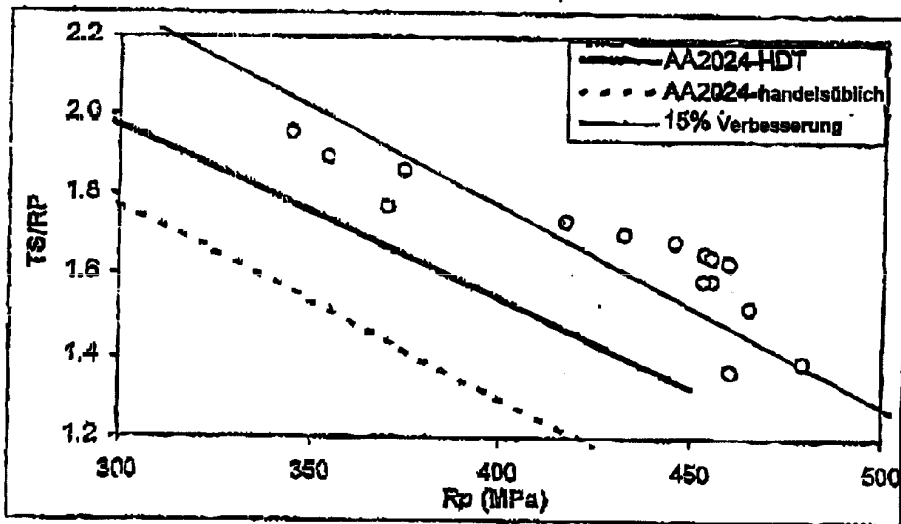


FIG. 2b

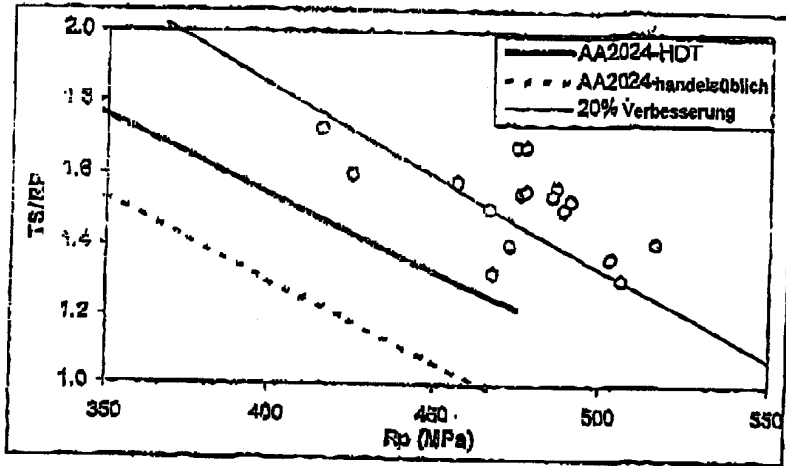


FIG. 3a

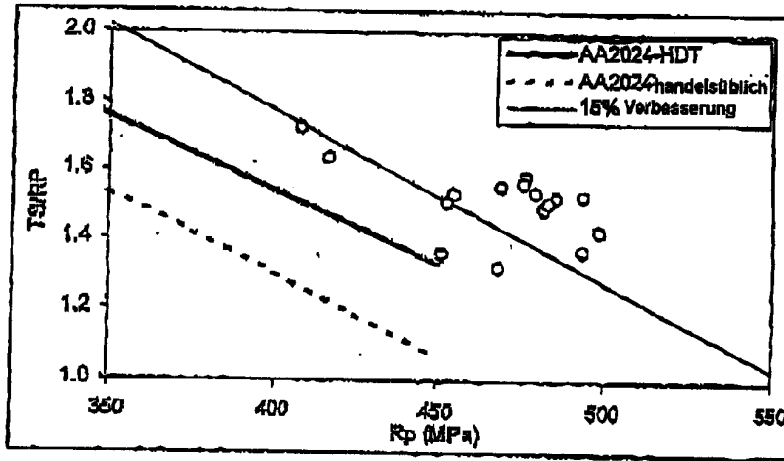


FIG. 3b

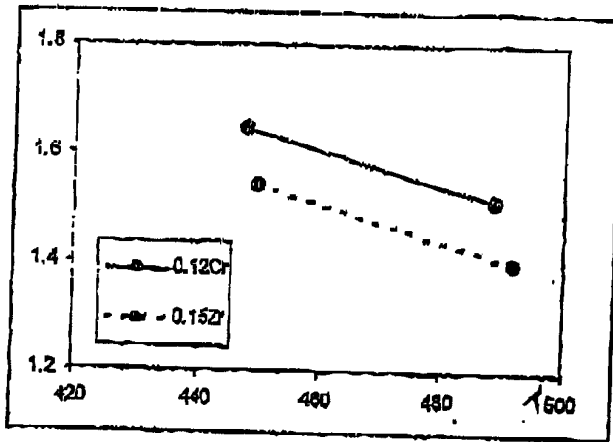


FIG. 4

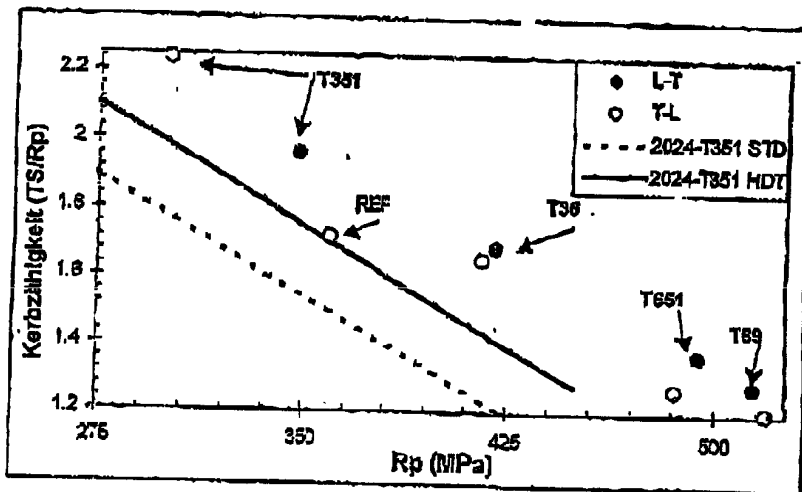


FIG. 5

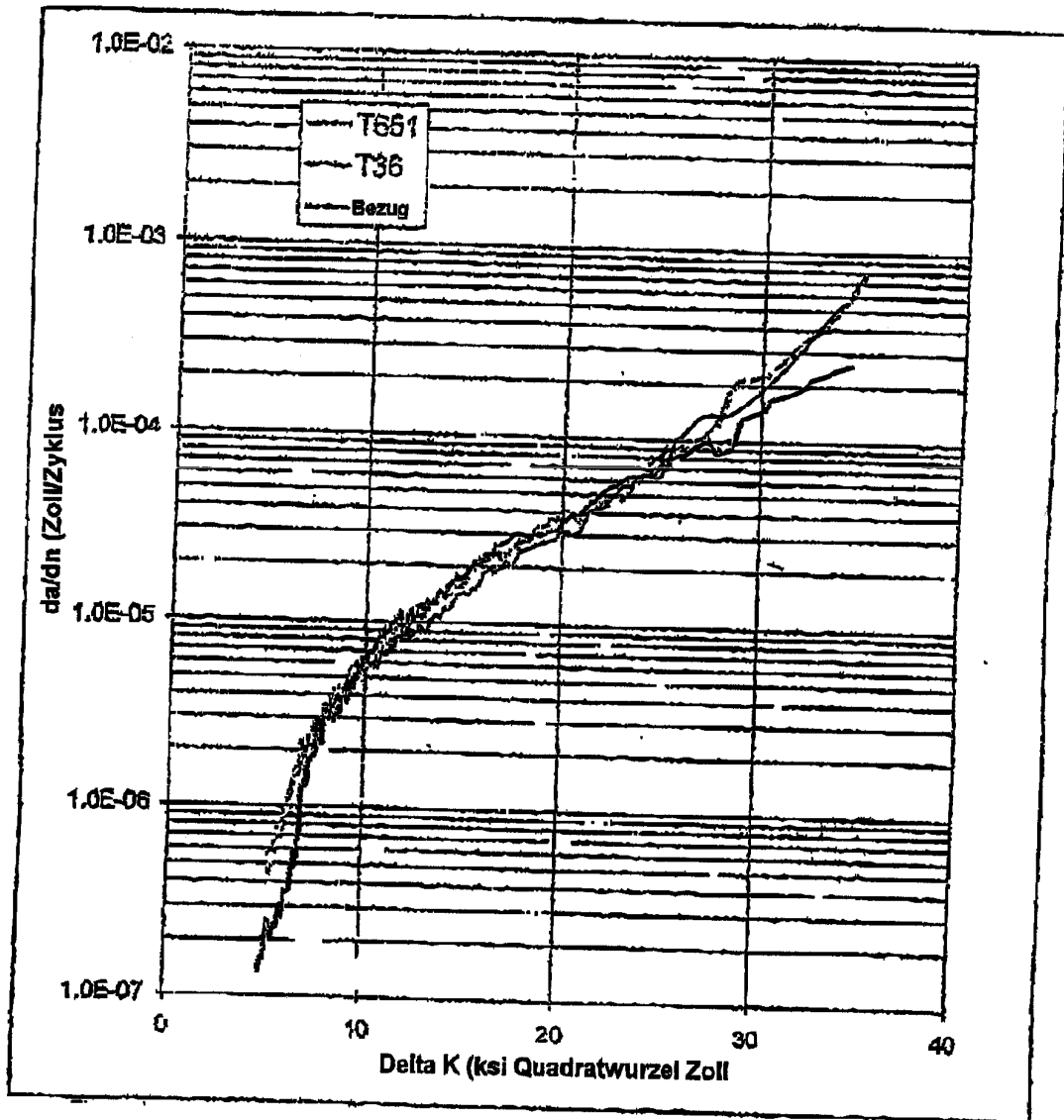


FIG. 6