(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro

(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
1. Februar 2007 (01.02.2007)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2007/012320 A2

(51) Internationale Patentklassifikation:
*C22C 9/01* (2006.01) *C22F 1/08* (2006.01)
*C22C 9/05* (2006.01) *B22F 7/00* (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE2006/001305

(22) Internationales Anmeldedatum:
27. Juli 2006 (27.07.2006)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2005 035 709.1 27. Juli 2005 (27.07.2005) DE

(71) Anmelder *(für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US)*: **TECHNISCHE UNIVERSITÄT CLAUSTHAL** [DE/DE]; Adolph-Roemer-Strasse 2A, 38678 Clausthal-Zellerfeld (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder *(nur für US)*: **ZAK, Hennadiy** [UA/DE]; Erzstrasse 15, 38678 Clausthal-Zellerfeld (DE). **VOGELGESANG, Sönke** [DE/DE]; Am Ehrenhain 14, 38678 Clausthal-Zellerfeld (DE). **MIELCZAREK, Agniezka** [DE/DE]; Sägemüllerstrasse 9, 38678 Clausthal-Zellerfeld (DE). **TONN, Babette** [DE/DE]; Am Brink 8, 38678 Clausthal-Zellerfeld (DE). **RIEHEMANN, Werner** [DE/DE]; Tannenhöhe 6, 38678 Clausthal Zellerfeld (DE).

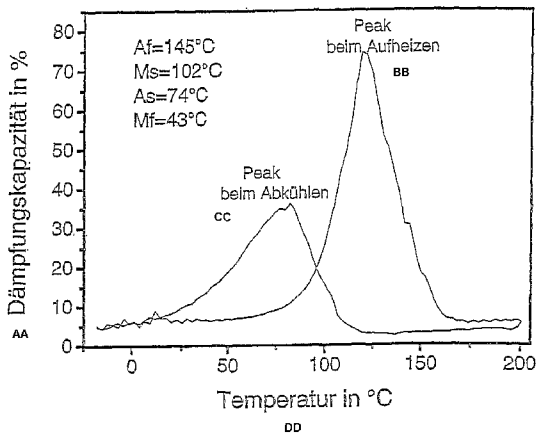
(74) Anwalt: **LÄUFER, Martina**; Gramm, Lins & Partner GbR, Freundallee 13a, 30713 Hannover (DE).

(81) Bestimmungsstaaten *(soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart)*: AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH,

*[Fortsetzung auf der nächsten Seite]*

(54) Title: METHOD FOR PRODUCING A COPPER ALLOY HAVING A HIGH DAMPING CAPACITY

(54) Bezeichnung: VERFAHREN ZUR HERSTELLUNG EINER KUPFERLEGIERUNG MIT HOHER DÄMPFUNGSKAPAZITÄT




AA ... DAMPING CAPACITY
BB ... PEAK WHEN HEATING
CC ... PEAK WHEN COOLING
DD ... TEMPERATURE IN °C

(57) **Abstract:** The invention relates to a copper alloy which is used for mechanically charged components which, during operation, are offset by vibrations and/or impacts or produce the same, and have particularly good mechanical damping. The composition of said copper alloy depends upon the use or working temperature of the component. Said copper alloy consists of 2 - 12 wt.- % manganese, 5 - 14 wt.- % aluminium and individually or in total 0 - 18 wt.- % of one or several elements, iron, cobalt, zinc, silicon, vanadium, niobium, molybdenum, chromium, tungsten, beryllium, lithium, yttrium, cerium, scandium, calcium, titanium, phosphorous, zirconium, boron, nitrogen, carbon, whereby each element does not contain more that 6 % and 100wt.- % copper. The alloy is obtained by adapting the martensite-austenitic conversion temperatures or the associated intervals $M_S$ - $M_F$ and/or $A_S$ $A_F$ to a predetermined use or working temperature of the component by variating the weight proportion of the above-mentioned alloy component during melting thereof. The damping can reach above 70 %.

(57) **Zusammenfassung:** Für mechanisch besonders belastete Bauteile, die beim Betrieb Schwingungen und/oder Schlägen ausgesetzt sind oder diese erzeugen und eine besonders gute mechanische Dämpfung aufweisen sollen, wird eine Kupferlegierung vorgeschlagen, deren Zusammensetzung sich

*[Fortsetzung auf der nächsten Seite]*

WO 2007/012320 A2

CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

**(84) Bestimmungsstaaten** *(soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart)*: ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

**Erklärungen gemäß Regel 4.17:**

— *hinsichtlich der Berechtigung des Anmelders, ein Patent zu beantragen und zu erhalten (Regel 4.17 Ziffer ii)*

— *Erfindererklärung (Regel 4.17 Ziffer iv)*

**Veröffentlicht:**

— *ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts*

*Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.*

nach der Einsatz- oder Arbeitstemperatur des Bauteils richtet. Die Kupferlegierung besteht aus 2 bis 12 Gew.-% Mangan, 5 bis 14 Gew.-% Aluminium und einzeln oder in Summe 0 bis 18 Gew.-% eines oder mehrerer der Elemente Nickel, Eisen, Cobalt, Zink, Silizium, Vanadin, Niob, Molybdän, Chrom, Wolfram, Beryllium, Lithium, Yttrium, Cer, Scandium, Calzium, Titan, Phosphor, Zirkonium, Bor, Stickstoff, Kohlenstoff, jedoch je Element nicht mehr als 6 % und ad 100 Gew.-% Kupfer und wird durch Anpassung der martensit-austenitischen Umwandlungstemperaturen oder der zugehörigen Intervalle $M_S$ bis $M_F$ und/oder $A_S$ bis $A_F$ an eine vorbestimmte Einsatz- oder Arbeitstemperatur des Bauteils mittels Variation der Gewichtsanteile der vorgenannten Legierungsbestandteile während des Erschmelzens der Legierung erhalten. Die erreichbare Dämpfung liegt über 70 %.

**Beschreibung:**

Verfahren zur Herstellung einer Kupferlegierung mit hoher Dämpfungskapazität

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung einer Kupferlegierung, die besonders für mechanisch beispielsweise durch Vibration, Stoß oder Schlag belastete Bauteile geeignet ist, mit auf den Anwendungszweck der Bauteile eingestellten Legierungseigenschaften und speziell mit gezielt verbesserter, bzw. optimal eingestellter mechanischer Dämpfung. Weiterhin betrifft die Erfindung eine derartige Legierung besonderer Zusammensetzung und mögliche Verwendungen für die mit dem Verfahren erhaltenen Legierungen.

Metallische Werkstoffe, bzw. Legierungen mit hoher Dämpfungskapazität sind grundsätzlich bekannt und werden auch als HIDAMETs (HIgh DAmping METals) bezeichnet.

Eine hohe mechanische Dämpfungskapazität ist zum Beispiel erwünscht zur Verringerung von Vibrationen und zur Geräuschdämpfung. Derartige Legierungen eignen sich deshalb besonders zur Herstellung von Schiffspropellern und Pumpengehäusen, sowie zum Einsatz in vibrierenden Maschinen und zur Verhinderung von Störungen durch Vibration bei verschiedenen Präzisionsapparaturen und elektronischen Instrumenten. Bei gleichzeitig hoher Verschleißbeständigkeit eigenen sich die Legierungen darüber hinaus zum Einsatz in diversen Werkzeugen, die beim Betrieb Schwingungen und/oder Schlägen ausgesetzt sind, beispielsweise Stempel bzw. Matrizen bei der Blechumformung oder bei Dreh- und Fräsmaschinen.

Es ist eine Vielzahl von HIDAMETs bekannt, die zur Geräuschdämpfung und zur Absorption von Vibrationen einsetzbar sind. Die Anwendungsgebiete eines Großteils dieser Werkstoffe, insbesondere von Magnesium und Magnesium-Legierungen, sind jedoch durch ihre ungenügenden mechanischen und Korrosionseigenschaften stark eingeschränkt.

HIDAMETs mit martensitischen Phasenumwandlungen sind im Stand der Technik zum Erzielen von hohen Dämpfungseigenschaften von besonderer Bedeutung. Legierungen mit martensitischen Phasenumwandlungen weisen im festen Zustand bei hohen Temperaturen eine andere Atomanordnung auf als bei niedrigen Temperaturen. Die Hochtemperaturphase wird als "Austenit" und die Niedertemperaturphase als "Martensit" bezeichnet. Die Umwandlung des Austenits in Martensit erfolgt bei Abkühlung des Werkstoffes aus dem austenitischen Zustand und beginnt bei der Martensit-Starttemperatur $M_S$. Die martensitische Umwandlung ist bei Erreichen der Martensit-Finishtemperatur $M_F$ abgeschlossen. Die Umwandlung von Martensit in Austenit findet bei Erwärmung des Werkstoffes aus dem martensitischen Zustand statt, beginnt bei der Austenit-Starttemperatur $A_S$ und ist mit Erreichen der Austenit-Finishtemperatur $A_F$ abgeschlossen. Im Allgemeinen ist die Dämpfung im Martensitbereich ($T<M_F$) wegen der sehr viel höheren Defektdichte höher als im Austenitbereich ($T>A_F$).

Die bekanntesten Legierungen der genannten Art sind Ni-Ti-Legierung ("Nitinol"), Cu-Zn-Al-Legierungen ("Proteus") und Mn-Cu-Legierungen ("Sonoston"). Diese drei Legierungstypen weisen jedoch Nachteile auf, die ihre Anwendungsmöglichkeiten wesentlich einschränken. Ni-Ti-Legierungen müssen aufwändig unter Vakuum hergestellt werden und sind zudem bedingt durch die beteiligten Legierungselemente sehr teuer. Im Vergleich mit Nitinol sind Cu-Zn-Al Legierungen wesentlich kostengünstiger. Die eingeschränkte Korrosionsbeständigkeit und die Neigung zum Sprödbruchverhalten stellen wesentliche Nachteile dieser Legierungen dar. Zusätzlich neigen sie sowohl im austenitischen als auch im martensitischen Zustand außerordentlich stark zur Alterung. Die weit verbreiteten Mn-Cu-Legierungen wurden speziell zur Herstellung von Schiffspropellern entwickelt. Durch das mit ca. 130 °C relativ breite Erstarrungsintervall neigen diese Legierungen stark zur Warmrissbildung. Zusätzlich treten auch hier Alterungseffekte auf, so dass bei Raumtemperatur bereits nach einer Lagerung von ca. 1000 h ein deutlicher Rückgang der Dämpfungswirkung auftritt.

Die Patentschrift US 3 868 279 offenbart hochdämpfende Cu-Mn-Al-Legierungen sowie eine Möglichkeit zur Verbesserung ihrer Dämpfungseigenschaften durch Wärmebehandlung. Diese ternären Legierungen enthalten 32 – 42 Gew.-% Mn, 2 – 4 Gew.-% Al und den Rest Cu, wobei der Mn-Gehalt vorzugsweise 40 % und der Al-Gehalt vorzugsweise 2 – 3 % beträgt. Diese Legierungen werden im kalten Zustand gewalzt und einer Wärmebehandlung bei Temperaturen zwischen 649 °C und 760 °C unterzogen, in Wasser abgeschreckt, anschließend bei 204 °C bis 482 °C für 1,5 bis 24 Stunden gealtert und an Luft abgekühlt. Es wird eine deutliche Verbesserung der Dämpfungseigenschaften bei geringerer Sprödigkeit im Vergleich zu den vorbekannten Heusler-Legierungen beschrieben.

Eine technisch interessante Werkstoffalternative zu den oben beschriebenen HIDAMETs stellen Cu-Al-Mn-Formgedächtnislegierungen dar. Auch diese Werkstoffe weisen eine thermoelastische Martensitumwandlung auf. Das Patent US 4 146 392 beschreibt Cu-Al-Mn-Formgedächtnislegierungen die neben dem Hauptbestandteil Kupfer als Legierungsbestandteile 4,6 bis 13 Gew.-% Mangan und 8,6 bis 12,8 Gew.-% Aluminium enthalten und eine gute Beständigkeit gegen Alterung aufweisen. Es handelt sich hierbei um Legierungen, deren Austenit-Martensit-Umwandlung bei Temperaturen unterhalb von 0 °C stattfindet und deren Formgedächtniseffekt ausgenutzt wird, um beispielsweise Rohrverbindungselemente herzustellen.

Aus der DE 2055755 ist ein Verfahren zur Herstellung von Gegenständen aus Kupfer-Basis-Legierungen bekannt, die in der Lage sind, bei Änderung der Temperatur ihre Gestalt zu ändern. Die hierfür vorgeschlagenen Legierungen enthalten neben Kupfer und Aluminium beispielsweise zusätzlich ein Element aus der Gruppe Zink, Silizium, Mangan und Eisen.

Trotz der sehr günstigen Kombination von mechanischen Eigenschaften und erzielbaren martensitischen Umwandlungstemperaturen ist die Anwendung von Cu-Al-Mn-Formgedächtnislegierungen für geräusch- und schwingungsdämpfende Werkstoffe bislang nicht in Betracht gezogen worden, da die mechanischen Dämpfungseigenschaften bislang nicht gezielt eingestellt werden konnten und unter Umständen sogar von Charge zu Charge stark schwankten.

Der Erfindung lag daher die Aufgabe zugrunde, hochbelastbare und korrosionsbeständige HIDAMETs mit einer gerade auch in dem für den geplanten Anwendungszweck entscheidenden Temperaturbereich zuverlässig einstellbaren hohen Dämpfungskapazität und ein Verfahren zu deren Herstellung bereitzustellen.

Die Aufgabe der Erfindung wird gelöst durch ein Verfahren zur Herstellung einer Kupferlegierung mit gezielt verbesserter mechanischer Dämpfung, insbesondere für mechanisch belastete Bauteile, das durch folgende Schritte gekennzeichnet ist:

a) eine Zusammensetzung für die Legierung wird ausgewählt und die Bestandteile werden bei geeigneter Temperatur in üblicher Weise erschmolzen,

b) während dieses Erschmelzens wird wenigstens eine der martensitischen und austenitischen Umwandlungstemperaturen $M_S$, $M_F$, $A_S$ und $A_F$ an einer der Schmelze entnommenen Probe bestimmt,

c) diese Umwandlungstemperaturen werden im Hinblick auf eine vorbekannte Einsatz- oder Arbeitstemperatur des Bauteils durch gezielte Zugabe wenigstens eines Legierungsbestandteils erhöht oder erniedrigt und damit angepasst,

d) die neu eingestellten Umwandlungstemperaturen und ggf. –intervalle werden mittels einer weiteren Probe überprüft und

e) die Legierung wird in die gewünschte Form abgegossen.

Die Schritte c) und d) können so oft wie erforderlich wiederholt werden bis die gewünschte Anpassung der Umwandlungstemperaturen bzw. –intervalle erreicht ist.

Die Zusammensetzung für die Legierung wird ausgewählt aus den Bestandteilen:

2 bis 12 Gew.-% Mangan,
5 bis 14 Gew.-% Aluminium und
einzeln oder in Summe
0 bis 18 Gew.-% eines oder mehrerer der Elemente Nickel, Eisen, Cobalt, Zink, Silizium, Vanadin, Niob, Molybdän, Chrom, Wolfram, Beryllium, Lithium, Yttrium, Cer, Scandium, Calzium, Titan, Phosphor, Zirkonium, Bor, Stickstoff, Kohlenstoff,

jedoch je Element nicht mehr als 6 % und
ad 100 Gew.-% Kupfer.

Die mit dem erfindungsgemäßen Verfahren erhaltenen Legierungen werden ansonsten durch konventionelle Schmelz- und Gießverfahren erzeugt. Außer als Gusslegierung kann die Legierung auch als Knetlegierung zum Einsatz kommen. Die Legierung lässt sich kalt oder warm umformen. Die hier beschriebenen Legierungen sind für alle Anwendungsfälle besonders vorteilhaft, bei denen es auf eine hohe mechanische Dämpfungskapazität ankommt, d.h. besonders für mechanisch belastete Bauteile, Geräte oder Gehäuse, die Vibrationen, Schlägen oder Stößen ausgesetzt sind.

Die Legierungen unterscheiden sich von Sonoston durch erheblich höhere Aluminium- und deutlich niedrigere Mangangehalte. Der hohe Aluminiumgehalt verbessert die Festigkeit des erfindungsgemäßen Werkstoffs und erhöht gleichzeitig seine Beständigkeit gegenüber Abrasion, Erosion und Kavitation. Die verringerte Mangan-Konzentration wirkt sich durch die Verkleinerung des Erstarrungsintervalls positiv auf die gießtechnologischen Eigenschaften der Legierung aus. Somit können dichte, oxid- und warmrissfreie Abgüsse auch mit Stückgewichten von mehreren Tonnen ohne Qualitätsprobleme gefertigt werden.

Um die für einen gewünschten Einsatzzweck optimalen Eigenschaften zu erhalten, werden die Mengenanteile der Legierungskomponenten üblicherweise variiert, z. B. wie nachfolgend noch genauer beschrieben. Es wurde gefunden, dass sich die bei Variation der Zusammensetzung häufig stark schwankende mechanische Dämpfungskapazität mit Hilfe eines gezielten Fein-Tunings der Gehalte der einzelnen Legierungskomponenten optimieren und auf höhere Werte einstellen lässt, als wenn man für besser reproduzierbare Dämpfungseigenschaften ausschließlich den martensitischen Bereich bevorzugen würde, wie es sonst im Stand der Technik üblich ist.

Für die gezielte Verbesserung der mechanischen Dämpfung werden die martensit-austenitischen Umwandlungstemperaturen oder die zugehörigen Intervalle $M_S$ bis $M_F$

und/oder $A_S$ bis $A_F$ an eine vorbestimmte Einsatz- oder Arbeitstemperatur angepasst, die bei der bestimmungsgemäßen Verwendung der Legierung in einem "Bauteil" auftreten wird. Hierdurch wird zugleich eine hohe innere Reibung eingestellt. Der Begriff "Bauteil" soll sich auf alle denkbaren praktischen Einsatzmöglichkeiten beziehen und sowohl Einzelteile, wie komplexere zusammengesetzte Bauteile, Gehäuse, Maschinen und dergleichen umfassen. Sowohl bei der Einsatz- wie auch der Arbeitstemperatur kann es sich um mittlere Temperaturen, d.h. Mittelwerte aus einem Arbeits- oder Einsatzbereich handeln. Gegebenenfalls können beide Umwandlungstemperaturintervalle, das martensitische und das austenitische, für die Einstellung auf einen größeren oder zwei verschiedenen Arbeitstemperaturbereiche verwendet werden. Die Anpassung geschieht mittels Variation der Gewichtsanteile der oben angegebenen Legierungsbestandteile während des Erschmelzens der Legierung.

Mit Hilfe der Elemente Nickel, Eisen, Cobalt, Zink, Silizium, Vanadin, Niob, Molybdän, Chrom, Wolfram, Beryllium, Lithium, Yttrium, Cer, Scandium, Calcium, Titan, Phosphor, Zirkonium, Bor, Stickstoff, Kohlenstoff ist es möglich, die Eigenschaften der durch das Verfahren erhaltenen Legierung auf den jeweiligen Verwendungszweck speziell anzupassen. So erhöht beispielsweise eine Zugabe von Nickel oder Silizium die Korrosionsbeständigkeit und Festigkeitseigenschaften. Die Elemente Eisen, Vanadin, Niob, Molybdän, Chrom, Wolfram, Yttrium, Cer, Scandium, Calcium, Titan, Zirkonium, Bor sind zum Erzielen einer Kornfeinung von Bedeutung. Stickstoff und Kohlenstoff verbessern gemeinsam mit Übergangselementen die mechanischen Eigenschaften der erfindungsgemäß erhaltenen Legierung. Die Alterungsbeständigkeit der Legierung sowohl im austenitischen als auch im martensitischen Zustand wird durch Zugabe von Cobalt erhöht. Beryllium und Phosphor schützen die Schmelze vor Oxidation. Durch diverse Kombinationen der Legierungselemente kann darüber hinaus ein unterschiedlich starker Einfluss auf die Umwandlungstemperaturen der erfindungsgemäßen Legierung genommen werden, um das Anforderungsprofil für einen konkreten Anwendungsfall optimal zu erfüllen.

Vorzugsweise enthält die Legierung daher zwischen 1 und 4 Gew.-% Nickel. Eine bevorzugte Ausführungsform der Legierung enthält zwischen 11.6 und 12 Gew.-%,

vorzugsweise etwa 11,8 Gew.-% Aluminium. Weiterhin sind Mangangehalte zwischen 8 und 10 Gew.-% in der Legierung bevorzugt. Die Legierung kann weiter vorzugsweise zwischen 0,01 und 1 Gew.-% Cobalt enthalten.

Das Gefüge der gegossenen Legierung zeichnet sich durch relativ große Gusskörner aus und wird vorzugsweise zum Erzielen der optimalen mechanischen Eigenschaften korngefeint. werden. Dafür sind Borzusätze zwischen 0,001 und 0,05 Gew.-% und/oder Chromzusätze zwischen 0,01 und 0,8 Gew.-% und/oder Eisenzusätze von 2 bis 4 Gew.-% besonders effektiv. Darüber hinaus kann die Kornfeinung durch Zugabe von Seltenen Erden bis zu 0,3 Gew.-% erfolgen.

Die Legierung kann weiter zwischen 2 und 6% Zink enthalten.

Die Legierungen können vorzugsweise $M_S$-Temperaturen > 0 °C besitzen, ohne dass die Erfindung hierauf beschränkt ist.

Die Erfindung schafft eine deutliche Verbesserung der Dämpfungseigenschaften, da erst durch die Erfindung die optimale Einstellung dieser Eigenschaften bei gleichzeitiger Berücksichtigung anderer gewünschter Eigenschaften möglich wird. Das erfindungsgemäße Verfahren ermöglicht es, die Umwandlungstemperaturen im Material so an die jeweiligen Einsatzbedingungen anzupassen, dass die spezifische Dämpfungskapazität der erfindungsgemäßen Legierungen bei der vorgesehenen Anwendungstemperatur bis zu 80 % und mehr erreicht.

Die Erfindung umfasst weiterhin eine besonders zusammengesetzte Kupferlegierung, die als Legierungsbestandteile
mehr als 4 Gew.-% Mangan,
mehr als 10 Gew.-% Aluminium,
0,01 bis 0,8 Gew.-% Chrom und
einzeln oder in Summe
0 bis 18 Gew.-% eines oder mehrerer der Elemente Nickel, Eisen, Cobalt, Zink, Silizium, Vanadin, Niob, Molybdän, Chrom, Wolfram, Beryllium, Lithium, Yttrium, Cer, Scandium, Calzium, Titan, Phosphor, Zirkonium, Bor, Stickstoff,

Kohlenstoff, jedoch je Element nicht mehr als 6% und
ad 100 Gew.-% Kupfer enthält.

Diese neue Legierung für mechanisch belastete Bauteile kann im übrigen die weiteren Spezifikationen, wie oben angegeben, besitzen und ist ebenfalls erhältlich durch Anpassung der martensit-austenitischen Umwandlungstemperaturen oder der zugehörigen Intervalle $M_S$ bis $M_F$ und/oder $A_S$ bis $A_F$ an eine vorbestimmte Einsatz- oder Arbeitstemperatur des Bauteils, wie oben beschrieben.

Für existierenden HIDAMETs mit martensitischen Phasenumwandlungen wurde im Stand der Technik beschrieben, dass die maximale Dämpfung beim Abkühlen aus dem Austenitzustand nahe der $M_S$-Temperatur und beim Erwärmen aus dem Martensitzustand im Bereich der $A_S$-Temperatur auftritt. Diese Dämpfungsmaxima werden in der Technik nicht genutzt, da die Umwandlungstemperaturen des Materials mit den bestehenden Verfahren nur schlecht reproduzierbar sind. Scheinbar kleine Veränderungen der chemischen Zusammensetzung durch Oxidation bzw. Abbrand der Legierungselemente bewirken Verschiebungen der Umwandlungstemperaturen, die mehr als 100 °C betragen können. Daher ist es auch durch sehr genaues Gattieren und sorgfältige Schmelzeführung bisher nicht möglich, die $M_S$- bzw. $A_S$-Temperatur im Bereich ±10 °C reproduzierbar einzustellen. Bei der Herstellung konventioneller HIDAMETs wird daher bewusst auf das Erreichen des Dämpfungsmaximums zugunsten der kleineren aber besser reproduzierbaren Dämpfungswerte im rein martensitischen Zustand verzichtet.
Dieser Nachteil wird durch die Erfindung überwunden.

Versuche der Erfinder zeigen, dass eine Zugabe von Kupfer die Umwandlungstemperaturen anhebt. Zusätze von anderen Legierungselementen verringern die Umwandlungstemperaturen. Ein besonders starker Einfluss auf die martensitischen Umwandlungstemperaturen ist durch Zugabe von Aluminium und Mangan zu erzielen. In einer bevorzugten Ausführungsform wird daher die Korrektur der Umwandlungstemperaturen während des Schmelzens durch Zusätze von Kupfer oder Aluminium erzielt. Durch den hohen Schmelzpunkt des Mangans und die hohe

Affinität zu Sauerstoff ist eine Zugabe von Aluminium zur Absenkung der Umwandlungstemperaturen einer Zugabe von Mangan vorzuziehen.

Die maximalen Werte für die spezifische Dämpfungskapazität treten bei der erfindungsgemäßen Legierung beim Abkühlen aus dem Austenitzustand im Bereich zwischen $M_S$ und $M_F$ und beim Erwärmen aus dem Martensitzustand zwischen $A_S$ und $A_F$ auf.

Daher sollte die Temperatur in der Mitte des martensitischen bzw. austenitischen Intervalls der Phasenumwandlung möglichst nah an der Einsatztemperatur von Bauteilen aus der erfindungsgemäßen Legierung liegen. Es ist daher mit der Erfindung möglich, Legierungen für spezielle vorbestimmte Einsatz- oder Arbeitstemperaturen oder –temperaturbereiche zu erzeugen, die dann für bestimmte Anwendungen und Bauteile besonders geeignet sind.

Die genaue Einstellung der Umwandlungstemperaturen wird mit einer während des Schmelzprozesses entnommenen Probe vorgenommen, die eine Express-Kontrolle der Umwandlungstemperaturen für die flüssige Legierung ermöglicht. Als Probe für die Express-Kontrolle kann vorzugsweise ein gegossener Draht verwendet werden, der mit Hilfe eines Quarzrohres, in dem ein Unterdruck erzeugt wird, aus der Schmelze gezogen wird. Die Ermittlung der Umwandlungstemperaturen kann an dieser Probe je nach dem voraussichtlichen Anwendungsfall entweder im Gusszustand oder nach der Wärmebehandlung durch bekannte experimentelle Methoden zur Detektion von Phasenübergängen erfolgen.

Vorzugsweise kann die Umwandlungstemperatur an der Probe durch Kalorimetrie, Dilatometrie, Messung der elektrischen Leitfähigkeit, Lichtmikroskopie oder Messung der akustischen Emission erfolgen.

Basierend auf den Ergebnissen der Untersuchung der Express-Probe erfolgt eine unmittelbare Korrektur der chemischen Zusammensetzung der Schmelze, wie oben beschrieben vorzugsweise mit Kupfer oder Aluminium. Mit dem erfindungsgemäßen Verfahren ist es somit möglich, die Umwandlungstemperaturen im Material so

einzustellen, dass die Legierung bei der angestrebten Anwendungstemperatur die maximal mögliche Dämpfungskapazität erreicht. Damit wird grundsätzlich eine effiziente Anpassung des Werkstoffs an die jeweiligen Einsatzbedingungen gewährleistet.

Die martensitische Umwandlung kann in einem definierten Temperaturbereich auch über von außen angelegte Spannungen eingeleitet werden. In diesem Fall steigen die Umwandlungstemperaturen im Material linear mit der Belastung an. Diese Steigerung der Umwandlungstemperaturen muss bereits bei der Herstellung von Bauteilen aus der erfindungsgemäßen Legierung berücksichtigt werden, wenn dort mechanische Spannungen zu erwarten sind.

Zusätzlich zu den bereits erwähnten Einflussfaktoren wird das Dämpfungsmaximum auch durch die Mikrostruktur der Legierung erheblich beeinflusst, wobei größere Körner zu besseren Dämpfungseigenschaften führen. Durch geeignete legierungstechnische Maßnahmen kann die Korngröße der Legierung so eingestellt werden, dass für jeden konkreten Anwendungsfall ein optimaler Kompromiss zwischen der Dämpfungskapazität und den mechanischen Eigenschaften erzielt wird.

Es wurde darüber hinaus festgestellt, dass eine Verbesserung der Dämpfungseigenschaften durch eine Wärmebehandlung erreicht werden kann. Als besonders effektiv hat sich eine Glühung bei Temperaturen von 650 °C bis 950 °C mit anschließendem Abkühlen bzw. Abschrecken (quenchen) in flüssigen oder gasförmigen Medien, wie z. B. Luft, flüssigem Stickstoff, Wasser, Salzbad oder Öl erwiesen. Die Temperatur des Abschreckmediums sollte dabei vorzugsweise oberhalb der $M_S$-Temperatur liegen, um unkontrollierbare Verschiebungen der Umwandlungstemperaturen im Material zu vermeiden. Die Alterungsempfindlichkeit der Umwandlungstemperaturen kann erfindungsgemäß durch eine zusätzliche Auslagerung der abgeschreckten Legierung bei einer Temperatur von 150 °C bis 250 °C reduziert werden. Zweckmäßig dauert eine solche Auslagerung 5 bis 120 Minuten.

An großen und massiven Gussstücken aus der erfindungsgemäßen Legierung, die keiner Wärmebehandlung und Abschreckung unterzogen werden können, kann nach einem weiteren Erfindungsmerkmal durch Laserumschmelzen ein martensitisches Gefüge in der Randschicht hergestellt werden. In diesem Fall übernimmt die Randschicht die dämpfende Rolle, ohne dass das ganze Bauteil einer kostenintensiven Wärmebehandlung unterzogen werden muss. Bei der Herstellung solcher Gussstücke werden die Umwandlungstemperaturen der Legierung beim Schmelzen durch die Express-Kontrolle so eingestellt, dass unter Berücksichtigung der Abkühlungsbedingungen beim Laserumschmelzen die Umwandlungstemperaturen in der Randschicht der Anwendungstemperatur des Bauteils entsprechen.

Die nach dem erfindungsgemäßen Verfahren erhaltenen Legierungen können besonders vorteilhaft zur Verringerung von Vibrationen zur Geräuschdämpfung an mechanisch belasteten Bauteilen verwendet werden, insbesondere bei Schiffspropellern, Maschinengehäusen, insbesondere Pumpengehäusen, Generatorgehäusen, vibrierenden Maschinen, Präzisionsapparaturen, elektronischen Instrumenten, Werkzeugen, die beim Betrieb Schwingungen und/oder Schlägen ausgesetzt sind oder diese erzeugen, insbesondere bei Stempeln, Matrizen, Maschinenhämmern, Dreh- und Fräswerkzeugen.

Die Erfindung wird im Folgenden anhand eines Ausführungsbeispiels näher erläutert.

**Beispiel**

Zur Herstellung von geräuschdämpfenden Kompressorgehäusen bzw. diversen Hydraulikkomponenten kann eine Legierung eingesetzt werden, die ihre maximalen Dämpfungseigenschaften bei einer Temperatur von ca. 120 °C entfaltet.

Zu diesem Zweck wurde folgende Legierung in einem Induktionsofen an der Luft hergestellt:

Grundzusammensetzung:
84 Gew.-% Kupfer
12 Gew.-% Aluminium
4 Gew.-% Mangan

Express-Probenentnahme:

Für die Express-Kontrolle der Umwandlungstemperaturen wurde folgendes Verfahren entwickelt: Als Probe dient ein gegossener Draht mit der Länge von 10 bis 150 mm (vorzugsweise 15 bis 100 mm) und einer Querschnittsfläche von 0,2 bis 7 $mm^2$, vorzugsweise 0,7 bis 3,2 $mm^2$. Dieser wird mit Hilfe eines Quarzrohres, in dem ein Unterdruck erzeugt wird, aus der Schmelze gezogen. An dieser Probe kann direkt und sehr schnell mit bekannten Detektionsverfahren gearbeitet werden. In einem auch hier verwendeten bevorzugten Verfahren wird die akustische Emission über ein Temperaturprofil verfolgt.

Die erste Probe für die Express-Kontrolle der Umwandlungstemperaturen an der Schmelze mit der Grundzusammensetzung lieferte $A_F$ = 100 °C; $A_S$ = 52 °C; $M_S$ = 68 °C und $M_F$ = 15 °C.

Durch Zugabe von Kupfer wurden die Umwandlungstemperaturen dieser Schmelze zu höheren Werten korrigiert. An der nachfolgend durchgeführten Express-Probe wurden $A_F$ = 145 °C, $A_S$ = 74 °C; $M_S$ = 102 °C und $M_F$ = 43 °C bestimmt. Diese Umwandlungstemperaturen sind für das Erzielen maximaler Dämpfungswerte bei 120 °C gut geeignet. Die Schmelze wurde in eine auf 300 °C vorgewärmte Kokille abgegossen. Aus den erhaltenen Gussstücken wurden Proben für die Dämpfungsmessung herausgearbeitet. Zur Charakterisierung des Dämpfungsverhaltens diente die spezifische Dämpfungskapazität. Die innere Reibung wurde bei einer Biegeschwingungsfrequenz von 0,1 Hz unter konstanter Aufheiz- und Abkühlrate (1K/s) gemessen. Für diese Zwecke wurde das 2980 DTMA V1.7B von Firma TA Instruments verwendet. Die innere Reibung wird in Form des Phasenwinkels zwischen mechanischer Spannung und Dehnung parametisiert. Zur Charakterisierung des Dämpfungsverhaltens diente eine spezifische Dämpfungskapazität, die durch die Formel

Spez. Dämpfungskapazität = $2\pi \tan\phi$

wiedergegeben wird.

Das Dämpfungsverhalten der auf diese Weise hergestellten Legierung ist in Figur 1 wiedergeben.

**Fig. 1:** Ausbildung der spezifischen Dämpfungskapazität der Legierung aus dem Beispiel, aufgenommen für einen Erwärmungs- und Abkühlungszyklus

Figur 1 zeigt ein Messdiagramm das zu dem oben beschriebenen Beispiel aufgenommen wurde. Aufgetragen ist die spezifische Dämpfungskapazität in % über der Temperatur in °C. Die Temperaturen wurden in einem Aufheiz- und-Abkühl-Zyklus von unter Null bis 200 °C und zurück durchlaufen. Wie zu erkennen sind bei der Beispiellegierung im austenitischen Intervall wesentlich höhere Dämpfungen zu erzielen als im martensitischen, so dass die im Stande der Technik häufig erfolgende Beschränkung auf martensitische Strukturen zu deutlichen Nachteilen für die Legierungseigenschaften führen muss.

Die Beispiellegierung erreicht ihre maximalen Dämpfungseigenschaften bei einer Temperatur von 120 °C und erfüllt somit erfolgreich die gestellte Aufgabe. Die erreichbare Dämpfung liegt über 70 %.

Ansprüche:

1. Verfahren zur Herstellung einer Kupferlegierung mit gezielt verbesserter mechanischer Dämpfung für mechanisch belastete Bauteile, die als Legierungsbestandteile

2 bis 12 Gew.-% Mangan,

5 bis 14 Gew.-% Aluminium und

einzeln oder in Summe

0 bis 18 Gew.-% eines oder mehrerer der Elemente Nickel, Eisen, Cobalt, Zink, Silizium, Vanadin, Niob, Molybdän, Chrom, Wolfram, Beryllium, Lithium, Yttrium, Cer, Scandium, Calzium, Titan, Phosphor, Zirkonium, Bor, Stickstoff, Kohlenstoff, jedoch je Element nicht mehr als 6% und

ad 100 Gew.-% Kupfer enthält, dadurch gekennzeichnet, dass

a) eine Zusammensetzung für die Legierung ausgewählt und die Bestandteile bei geeigneter Temperatur in üblicher Weise erschmolzen werden,

b) während dieses Erschmelzens wenigstens eine der martensitischen und austenitischen Umwandlungstemperaturen $M_S$, $M_F$, $A_S$ und $A_F$ an einer der Schmelze entnommenen Probe bestimmt werden,

c) diese Umwandlungstemperaturen im Hinblick auf eine vorbekannte Einsatz- oder Arbeitstemperatur des Bauteils durch gezielte Zugabe wenigstens eines Legierungsbestandteils erhöht oder erniedrigt und damit angepasst werden,

d) die neu eingestellten Umwandlungstemperaturen und ggf. –intervalle mittels einer weiteren Probe überprüft werden und

e) die Legierung in die gewünschte Form abgegossen wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Schritte c) und d) sooft erforderlich wiederholt werden.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass eine Korrektur der Umwandlungstemperaturen während des Schmelzens durch Zusätze von Kupfer oder Aluminium erfolgt.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Umwandlungstemperaturen so eingestellt werden, dass die Temperaturen in der Mitte des martensitischen oder austenitischen Intervalls der Phasenumwandlung möglichst nahe an der vorbestimmten Einsatz- oder Arbeitstemperatur liegen.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass die Legierung in Form eines primär durch Gießen oder Kneten und gegebenenfalls Umformen gewonnen Formteils einer Glühung bei Temperaturen von 650 °C bis 950 °C und anschließendem Abkühlen oder Abschrecken in flüssigen oder gasförmigen Medien, insbesondere Luft, flüssigem Stickstoff, Wasser, Salzbad oder Öl unterzogen wird.

6. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Temperatur des Abschreckmediums oberhalb der $M_S$-Temperatur der Legierung gewählt wird.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass die Legierung in Form eines primär durch Gießen oder Kneten und gegebenenfalls Umformen gewonnenen Formteils bei einer Temperatur von 100 bis 300 °C etwa 5 bis 120 Minuten ausgelagert/gealtert wird.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass die Legierung einem oder mehreren thermischen Zyklen zwischen austenitischem und martensitischem Zusatand und umgekehrt ausgesetzt wird.

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass eine Wärmebehandlung in der Randschicht eines durch Gießen oder Kneten und gegebenenfalls Umformen aus der Legierung gewonnenen Formteils mittels Laserumschmelzen der Randzone erfolgt.

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass die Probe zur schnellen Kontrolle der Umwandlungstemperaturen mit Hilfe eines Quarzrohres, in dem ein Unterdruck erzeugt wird, entnommen wird.

11. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass die Ermittlung der Umwandlungstemperaturen an der Probe durch Kalorimetrie, Dilatometrie, Messung der elektrischen Leitfähigkeit, Lichtmikroskopie oder Messung der akustischen Emission erfolgt.

12. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 11, dadurch gekennzeichnet, dass das Dämfpungsverhalten zusätzlich durch gezielte Veränderung der Korngröße beeinflusst wird.

13. Kupferlegierung, insbesondere für mechanisch belastete Bauteile mit gezielt verbesserter mechanische Dämpfung, die als Legierungsbestandteile
> 4 bis 12 Gew.-% Mangan,
> 10 bis 14 Gew.-% Aluminium,
0,01 bis 0,8 Gew.-% Chrom und
einzeln oder in Summe
0 bis 18 Gew.-% eines oder mehrerer der Elemente Nickel, Eisen, Cobalt, Zink, Silizium, Vanadin, Niob, Molybdän, Chrom, Wolfram, Beryllium, Litihium, Yttrium, Cer, Scandium, Calzium, Titan, Phosphor, Zirkonium, Bor, Stickstoff, Kohlenstoff, jedoch je Element nicht mehr als 6% und
ad 100 Gew.-% Kupfer enthält.

14. Kupferlegierung nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, dass die Legierung zwischen 1 und 4 Gew.-% Nickel enthält.

15. Kupferlegierung nach Anspruch 13 oder 14, dadurch gekennzeichnet, dass die Legierung zwischen 11,6 und 12 Gew.-%, vorzugsweise etwa 11,8 Gew.-% Aluminium enthält.

16. Kupferlegierung nach einem der Ansprüche 13 bis 15, dadurch gekennzeichnet, dass die Legierung zwischen 8 und 10 Gew.-% Mangan enthält.

17. Kupferlegierung nach einem der Ansprüche 13 bis 16, dadurch gekennzeichnet, dass die Legierung zwischen 2 und 4 Gew.-% Eisen und/oder zwischen 0,001 und 0,05 Gew.-% Bor enthält.

18. Kupferlegierung nach einem der Ansprüche 13 bis 17, dadurch gekennzeichnet, dass die Legierung zwischen 0,01 und 1 Gew..-% Cobalt enthält.

19. Kupferlegierung nach einem der Ansprüche 13 bis 18, dadurch gekennzeichnet, dass die Legierung zwischen 0,01 und 0,3 Gew.-% Seltene Erden enthält.

20. Kupferlegierung nach einem der Ansprüche 13 bis 19, dadurch gekennzeichnet, dass die Legierung zwischen 2 und 6 Gew.-% Zink enthält.

21. Verwendung der mit einem Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 12 erhaltenen Kupferlegierung zur Verringerung von Vibrationen und zur Geräuschdämpfung an mechanisch belasteten Bauteilen.

22. Verwendung nach Anspruch 21 bei Schiffspropellern, Maschinengehäusen, insbesondere Pumpengehäusen, Generatorgehäusen, vibrierenden Maschinen, Präzisionsapparaturen, elektronischen Instrumenten, Werkzeugen, die beim Betrieb Schwingungen und/oder Schlägen ausgesetzt sind oder diese erzeugen, insbesondere bei Stempeln, Matrizen, Maschinenhämmern, Dreh- und Fräswerkzeugen.

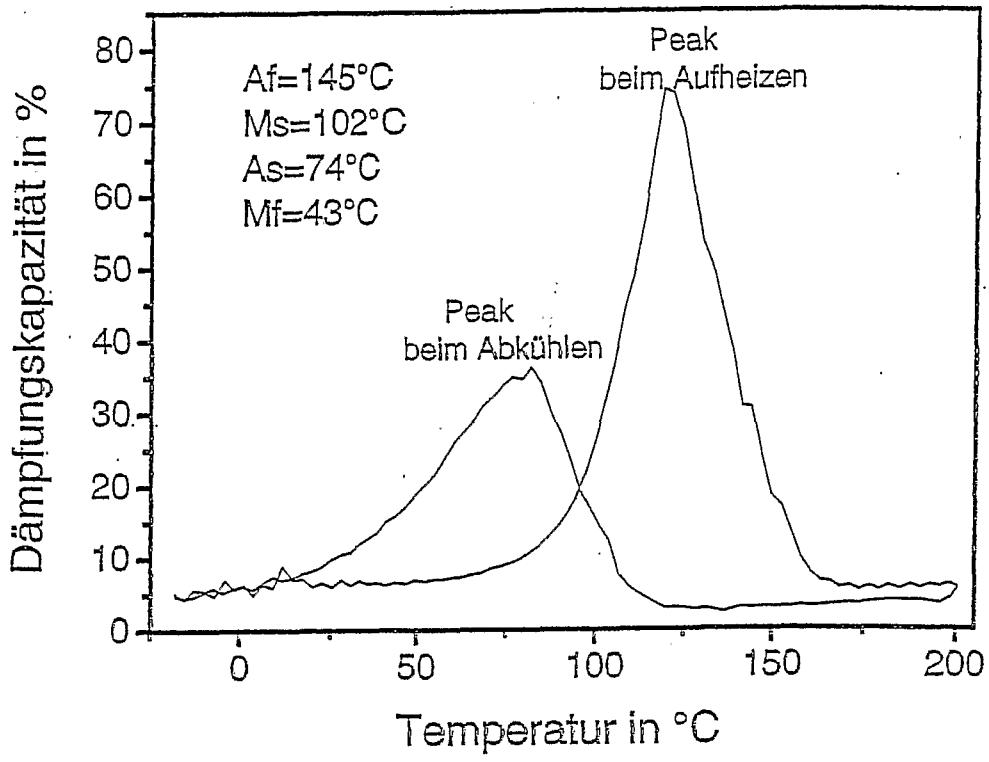

Dämpfungskapazität in %
80
70
60
50
40
30
20
10
0
Af=145°C
Ms=102°C
As=74°C
Mf=43°C
Peak
beim Aufheizen
Peak
beim Abkühlen
0
50
100
150
200
Temperatur in °C

Fig. 1