

(19)



(11)

**EP 1 887 096 A1**

(12)

**EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:  
**13.02.2008 Patentblatt 2008/07**

(51) Int Cl.:  
**C22C 38/22 (2006.01)**

(21) Anmeldenummer: **06118672.2**

(22) Anmeldetag: **09.08.2006**

(84) Benannte Vertragsstaaten:  
**AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HU IE IS IT LI LT LU LV MC NL PL PT RO SE SI SK TR**  
Benannte Erstreckungsstaaten:  
**AL BA HR MK YU**

(71) Anmelder: **Rovalma, S.A.**  
**08228 Terrassa (ES)**

(72) Erfinder: **Valls Angles, Isaac**  
**08172, Sant Cugat del Vallés (ES)**

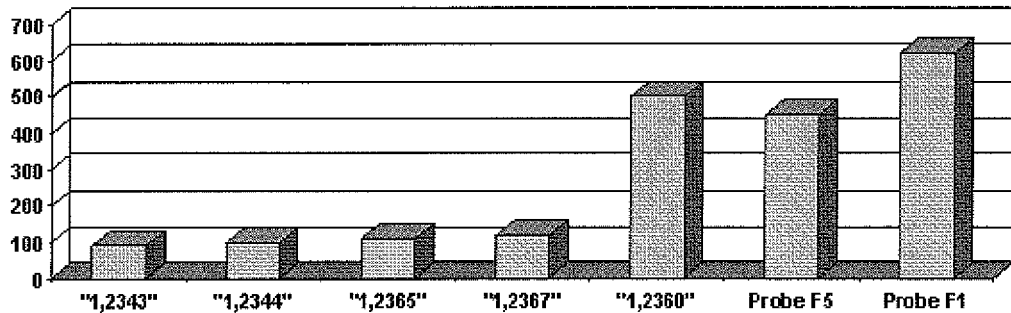
(74) Vertreter: **Graefe, Jörg**  
**Fritz Patent- und Rechtsanwälte**  
**Postfach 15 80**  
**59705 Arnsberg (DE)**

(54) **Warmarbeitsstahl**

(57) Die vorliegende Erfindung betrifft einen Warmarbeitsstahl mit folgender Zusammensetzung:  
0,26 bis 0,55 Gew.-% C;  
< 2 Gew.-% Cr;  
0 bis 10 Gew.-% Mo;  
0 bis 15 Gew.-% W;

wobei der Gehalt von W und Mo in der Summe 1,8 bis 15 Gew.-% beträgt;  
Rest: Eisen, Legierungsbegleitelemente und übliche Verunreinigungen.  
Der Warmarbeitsstahl weist im Vergleich zu bekannten Werkzeugstählen eine wesentlich höhere Wärmeleitfähigkeit auf.

Fig. 1



**EP 1 887 096 A1**

**Beschreibung**

**[0001]** Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf einen Warmarbeitsstahl. Warmarbeitsstähle sind legierte Werkzeugstähle, die neben Eisen als Legierungselemente insbesondere Kohlenstoff, Chrom, Wolfram, Silizium, Nickel, Molybdän, Mangan, Vanadium und Kobalt mit unterschiedlichen Anteilen enthalten.

**[0002]** Aus Warmarbeitsstählen können Warmarbeitsstahlgegenstände, wie zum Beispiel Werkzeuge, hergestellt werden, welche für die Bearbeitung von Werkstoffen, insbesondere beim Druckgießen, beim Strangpressen oder beim Gesenkschmieden, geeignet sind. Beispiele für derartige Werkzeuge sind Strangpressmatrizen, Schmiedewerkzeuge, Druckgießformen, Pressstempel, oder dergleichen, die bei hohen Arbeitstemperaturen besondere mechanische Festigkeitseigenschaften aufweisen müssen. Ein weiteres Anwendungsgebiet für Warmarbeitsstähle sind Werkzeuge zum Spritzgießen von Kunststoffen.

**[0003]** Warmarbeitswerkzeuge, die aus einem Warmarbeitsstahl hergestellt sind, müssen neben einer hohen mechanischen Stabilität bei höheren Arbeitstemperaturen eine gute Wärmeleitfähigkeit sowie einen hohen Warmverschleißwiderstand aufweisen. Weitere wichtige Eigenschaften von Warmarbeitsstählen sind neben einer ausreichenden Härte und Festigkeit auch eine hohe Warmhärte sowie ein hoher Verschleißwiderstand bei hohen Arbeitstemperaturen.

**[0004]** Eine hohe Wärmeleitfähigkeit des zur Herstellung von Werkzeugen eingesetzten Warmarbeitsstahls ist für manche Anwendungen von besonderer Bedeutung, da diese eine erhebliche Taktzeitverkürzung bewirken kann. Da der Betrieb von Warmumformvorrichtungen für das Warmumformen von Werkstücken relativ kostspielig ist, kann durch eine Reduzierung der Taktzeiten eine erhebliche Kosteneinsparung erreicht werden.

**[0005]** Die zur Herstellung von Werkzeugen häufig eingesetzten Werkzeugstähle weisen typischerweise eine Wärmeleitfähigkeit in einer Größenordnung von etwa 18 bis 24 W/mK bei Raumtemperatur auf. Im Allgemeinen betragen die Wärmeleitfähigkeiten der aus dem Stand der Technik bekannten Warmarbeitsstähle etwa 16 bis 37 W/mK.

**[0006]** Aus der EP 0 632 139 A1 ist beispielsweise ein Warmarbeitsstahl bekannt, der bei Temperaturen bis etwa 1.100°C eine vergleichsweise hohe Wärmeleitfähigkeit von über 35 W/mK aufweist. Der aus dieser Druckschrift bekannte Warmarbeitsstahl enthält neben Eisen und unvermeidbaren Verunreinigungen:

0,30 bis 0,55 Gew.-% C;  
weniger als 0,90 Gew.-% Si;  
bis 1,0 Gew.-% Mn;  
2,0 bis 4,0 Gew.-% Cr;  
3,5 bis 7 Gew.-% Mo;  
0,3 bis 1,5 Gew.-% eines oder mehrerer der Elemente Vanadium, Titan und Niob.

**[0007]** Herkömmliche Warmarbeitswerkzeugstähle weisen einen Gehalt von mehr als 2 Gew.-% Chrom auf. Chrom ist ein vergleichsweise kostengünstiger Karbidbildner und stellt dem Warmarbeitsstahl darüber hinaus eine gute Oxidationsbeständigkeit zur Verfügung. Ferner bildet Chrom sehr dünne Sekundärkarbide aus, so dass das Verhältnis der mechanischen Festigkeit zur Zähigkeit bei den herkömmlichen Warmarbeitswerkzeugstählen sehr gut ist.

**[0008]** Ein Nachteil der aus dem Stand der Technik bekannten Warmarbeitsstähle besteht darin, dass diese für manche Anwendungsgebiete nur eine unzureichende Wärmeleitfähigkeit aufweisen.

**[0009]** Hier setzt die vorliegende Erfindung an und macht es sich zur Aufgabe, einen Warmarbeitsstahl zur Verfügung zu stellen, der eine höhere thermische Leitfähigkeit als die aus dem Stand der Technik bekannten Warmarbeitsstähle aufweist.

**[0010]** Diese Aufgabe wird durch einen Warmarbeitsstahl mit den Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst. Die Unteransprüche betreffen vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung.

**[0011]** Gemäß Anspruch 1 zeichnet sich ein erfindungsgemäßer Warmarbeitsstahl durch folgende Zusammensetzung aus:

0,26 bis 0,55 Gew.-% C;  
< 2 Gew.-% Cr;  
0 bis 10 Gew.-% Mo;  
0 bis 15 Gew.-% W;  
wobei der Gehalt von W und Mo in der Summe 1,8 bis 15 Gew.-% beträgt;  
Rest: Eisen, Legierungsbegleitelemente und übliche Verunreinigungen.

**[0012]** Der besondere Vorteil des erfindungsgemäßen Warmarbeitsstahls besteht in erster Linie in der drastisch erhöhten Wärmeleitfähigkeit. Ein wesentlicher Aspekt der hier beschriebenen Lösung besteht darin, Kohlenstoff und vorzugsweise auch Chrom im Festlösungszustand weitgehend aus der Warmarbeitsstahl-Matrix herauszuhalten und die

Fe<sub>3</sub>C-Karbide durch Karbide mit höherer Wärmeleitfähigkeit zu ersetzen. Chrom kann nur dadurch aus der Matrix herausgehalten werden, dass es überhaupt nicht vorhanden ist. Kohlenstoff kann insbesondere mit Karbidbildnern gebunden werden, wobei Mo und W die kostengünstigsten Elemente sind und sowohl als Elemente als auch als Karbide eine vergleichsweise hohe Wärmeleitfähigkeit aufweisen.

5 **[0013]** Quantenmechanische Simulationsmodelle für Werkzeugstähle und insbesondere für Warmarbeitsstähle können zeigen, dass Kohlenstoff und Chrom im Festlösungszustand zu einer Matrixverzerrung führen, was eine Verkürzung der mittleren freien Weglänge von Phononen zur Folge hat. Ein größerer Elastizitätsmodul und ein höherer Wärmeausdehnungskoeffizient sind die Folge. Der Einfluss von Kohlenstoff auf die Elektronen- und Phononenstreuung ist mit Hilfe geeigneter Simulationsmodelle ebenfalls untersucht worden. Damit konnten die Vorteile einer im Hinblick auf Kohlenstoff sowie Chrom verarmten Matrix auf die Erhöhung der Wärmeleitfähigkeit verifiziert werden. Während die Wärmeleitfähigkeit der Matrix vom Elektronenfluss dominiert wird, wird die Leitfähigkeit der Karbide durch die Phononen bestimmt.

10 *In Festlösungszustand hat Chrom eine sehr negative Wirkung auf die durch Elektronenfluss erzielte Wärmeleitfähigkeit.*  
**[0014]** Überraschend hat sich gezeigt, dass der erfindungsgemäße Warmarbeitsstahl gemäß Anspruch 1 eine Wärmeleitfähigkeit bei Raumtemperatur in einer Größenordnung von etwa 55 bis 60 W/mK und darüber erreichen kann. Die Wärmeleitfähigkeit des erfindungsgemäßen Warmarbeitsstahls ist somit fast doppelt so groß wie bei den aus dem Stand der Technik bekannten Warmarbeitsstählen. Damit eignet sich der hier beschriebene Warmarbeitsstahl insbesondere auch für solche Anwendungen, bei denen eine hohe Wärmeleitfähigkeit gefordert ist. In der drastisch verbesserten Wärmeleitfähigkeit besteht somit der besondere Vorteil des erfindungsgemäßen Warmarbeitsstahls.

15 **[0015]** Die erfindungsgemäße Verwendung des hier beschriebenen Warmarbeitsstahls als Werkstoff zur Herstellung von Warmarbeitswerkzeugen liefert zahlreiche und zum Teil äußerst bemerkenswerte Vorteile im Vergleich zu den aus dem Stand der Technik bekannten Warmarbeitsstählen, die bislang als Werkstoffe für entsprechende Werkzeuge eingesetzt wurden. Die höhere Wärmeleitfähigkeit der aus dem erfindungsgemäßen Warmarbeitsstahl hergestellten Werkzeuge gestattet zum Beispiel eine Verringerung der Taktzeiten beim Bearbeiten/Herstellen von Werkstücken. Ein weiterer Vorteil besteht in einer signifikanten Reduktion der Oberflächentemperatur des Werkzeugs *sowie der Reduktion des Oberflächentemperaturgefälles*, woraus sich eine beachtliche Auswirkung auf die Langlebigkeit des Werkzeugs ergibt. *Dies ist insbesondere der Fall, wenn Werkzeugschäden in erster Linie auf thermische Ermüdung, thermische Schocks oder Aufschweißen zurück zu führen sind.* Dies ist insbesondere im Hinblick auf Werkzeuge für Aluminium-Druckgussanwendungen der Fall.

20 **[0016]** Es ist ebenfalls überraschend, dass die übrigen mechanischen und/oder thermischen Eigenschaften des erfindungsgemäßen Warmarbeitsstahls im Vergleich zu den bekannten Warmarbeitsstählen entweder verbessert werden konnten oder zumindest unverändert blieben. Der Elastizitätsmodul konnte beispielsweise verringert werden, die Dichte des erfindungsgemäßen Warmarbeitsstahls konnte im Vergleich zu herkömmlichen Warmarbeitsstählen erhöht und der Wärmeausdehnungskoeffizient konnte verkleinert werden. Für manche Anwendungen können weitere Verbesserungen erreicht werden, wie zum Beispiel eine erhöhte mechanische Festigkeit bei hohen Temperaturen oder eine erhöhte Verschleißfestigkeit.

25 **[0017]** In einer besonders vorteilhaften Ausführungsform wird vorgeschlagen, dass der Warmarbeitsstahl karbidbildende Elemente Ti, Zr, Hf, Nb, Ta mit einem Anteil von bis zu 3 Gew.-% in der Summe aufweist. Die Elemente Ti, Zr, Hf, Nb, Ta sind in der Metallurgie als starke Karbidbildner bekannt. Starke Karbidbildner wirken sich im Hinblick auf die Erhöhung der Wärmeleitfähigkeit des Werkzeugstahl positiv aus, da diese eine bessere Fähigkeit besitzen, Kohlenstoff im Festlösungszustand aus der Matrix zu entfernen. Karbide mit hoher Wärmeleitfähigkeit können die Leitfähigkeit des Warmarbeitsstahls darüber hinaus noch verstärken. Aus der Metallurgie ist bekannt, dass folgende Elemente Karbidbildner sind, wobei deren Kohlenstoffaffinität im Folgenden aufsteigend geordnet ist: Cr, W, Mo, V, Ti, Nb, Ta, Zr, Hf.

30 **[0018]** Besonders vorteilhaft sind in diesem Zusammenhang relativ große und damit lang ausgedehnte Karbide, da die gesamte Wärmeleitfähigkeit des Warmarbeitsstahls dem Mischungsgesetz mit negativen Grenzeffekten folgt. Je stärker die Affinität eines Elements für Kohlenstoff ist, desto größer ist die Tendenz, relativ große Primärkarbide zu bilden. Die großen Karbide wirken sich allerdings in gewissen Maßen nachteilig auf einige mechanische Eigenschaften des Warmarbeitsstahls, insbesondere auf dessen Zähigkeit, aus, so dass für jeden Verwendungszweck des Warmarbeitsstahls ein geeigneter Kompromiss zwischen den gewünschten mechanischen und den thermischen Eigenschaften gefunden werden muss.

35 **[0019]** In einer bevorzugten Ausführungsform wird vorgeschlagen, dass der Warmarbeitsstahl weniger als 1,5 Gew.-% Cr, vorzugsweise weniger als 1 Gew.-% Cr aufweist.

40 **[0020]** Es besteht in einer besonders bevorzugten Ausführungsform die Möglichkeit, dass der Warmarbeitsstahl weniger als 0,5 Gew.-% Cr, vorzugsweise weniger als 0,2, insbesondere weniger als 0,1 Gew.-% Cr aufweist.

45 **[0021]** Wie oben erläutert, wirkt sich die Anwesenheit von Chrom im Festlösungszustand in der Matrix des Warmarbeitsstahls negativ auf dessen Wärmeleitfähigkeit aus. Die Intensität dieser negativen Wirkung auf die Wärmeleitfähigkeit durch eine Steigerung des Chromgehalts im Werkzeugstahl ist für das Intervall von weniger als 0,4 Gew.-% Cr am größten. Eine Intervallabstufung in der Abnahme der Intensität der nachteiligen Wirkung auf die Wärmeleitfähigkeit des Warmarbeitsstahls ist in den beiden Intervallen von mehr als 0,4 Gew.-%, aber weniger als 1 Gew.-%, sowie von mehr

als 1 Gew.-% und weniger als 2 Gew.-% sinnvoll. Für Anwendungen, bei denen die Oxidationsbeständigkeit des Warmarbeitsstahls eine große Rolle spielt, kann so zum Beispiel eine Abwägung in den Anforderungen im Hinblick auf die Wärmeleitfähigkeit und die Oxidationsbetändigkeit, die sich im optimierten Prozentanteil an Chrom widerspiegelt, vorgenommen werden.

5 **[0022]** Es besteht in einer bevorzugten Ausführungsform die Möglichkeit, dass der Molybdängehalt 0,5 bis 7 Gew.-%, insbesondere 1 bis 7 Gew.-% beträgt. Unter den kostengünstigeren Karbidbildnern besitzt Molybdän eine vergleichsweise hohe Karbonaffinität. Darüber hinaus weisen Molybdänkarbide eine höhere Wärmeleitfähigkeit als Eisen- und Chromkarbide auf. Darüber hinaus ist die nachteilige Wirkung von Molybdän im Festlösungszustand auf die Wärmeleitfähigkeit des Werkzeugstahls im Vergleich zu Chrom im Festlösungszustand erheblich geringer. Aus diesen Gründen gehört Molybdän zu denjenigen Karbidbildnern, die für eine große Anzahl von Anwendungen geeignet sind. Für Anwendungen, die eine hohe Zähigkeit erfordern, sind jedoch andere Karbidbildner mit kleineren Sekundärkarbiden, wie Vanadium (etwa 1 bis 15 nm große Kolonien gegenüber bis zu 200nm großen Kolonien bei Molybdän) die bessere Wahl.

10 **[0023]** Es kann in einer bevorzugten Ausführungsform vorgesehen sein, dass der Warmarbeitsstahl zusätzlich Vanadium mit einem Gehalt von bis zu 4 Gew.-% aufweist. Wie oben erläutert, begründet Vanadium feine Karbidnetzwerke. Dadurch können zahlreiche mechanische Eigenschaften des Warmarbeitsstahls verbessert werden. Vanadium zeichnet sich im Vergleich zu Molybdän nicht nur durch seine höhere Kohlenstoffaffinität aus, sondern hat ferner den Vorteil, dass dessen Karbide eine höhere Wärmeleitfähigkeit aufweisen. Darüber hinaus ist Vanadium ein vergleichsweise kostengünstiges Element. Ein Nachteil von Vanadium gegenüber Molybdän besteht jedoch darin, dass das im Festlösungszustand verbleibende Vanadium einen vergleichsweise erheblich größeren negativen Effekt auf die Wärmeleitfähigkeit des Warmarbeitsstahls ausübt. Aus diesem Grund ist es nicht von Vorteil, den Werkzeugstahl mit Vanadium allein zu legieren.

**[0024]** Molybdän kann in zahlreichen Anwendungen durch Wolfram ersetzt werden. Die Karbonaffinität von Wolfram ist etwas geringer und die Wärmeleitfähigkeit von Wolframkarbid erheblich größer.

25 **[0025]** Es besteht in einer weiteren besonders vorteilhaften Ausführungsform die Möglichkeit, dass der Gehalt von Mo, W und V in der Summe 2 bis 10 Gew.-% beträgt. Der Gehalt dieser drei Elemente in der Summe ist dabei insbesondere von der gewünschten Karbidanzahl, das heißt, von den jeweiligen Anwendungsanforderungen abhängig.

**[0026]** In einer besonders bevorzugten Ausführungsform wird vorgeschlagen, dass der Warmarbeitsstahl Elemente zum Festlösungsverfestigen, insbesondere Co, Ni, Si, Cu und Mn, aufweist.

30 **[0027]** In Abhängigkeit von der konkreten Anwendung kann zum Beispiel ein Gehalt von bis zu 6 Gew.-% Co vorteilhaft sein, um die Hochtemperaturfestigkeit des Warmarbeitsstahls zu verbessern. Der Warmarbeitsstahl kann in einer weiteren bevorzugten Ausführungsform Co mit einem Gehalt von bis zu 3 Gew.-%, vorzugsweise mit einem Gehalt von bis zu 2 Gew.-% aufweisen.

**[0028]** Es besteht weiterhin die Möglichkeit, dass der Warmarbeitsstahl Mn mit einem Gehalt von bis zu 2% Gew.-% aufweist.

35 **[0029]** Um die Zähigkeit des Warmarbeitsstahls bei niedrigen Temperatur zu erhöhen, kann in einer bevorzugten Ausführungsform vorgesehen sein, dass der Warmarbeitsstahl Si mit einem Gehalt von bis zu 1,6% Gew.-% aufweist.

**[0030]** Es besteht darüber hinaus die Möglichkeit, dass die Legierungsbegleitelemente mindestens eines der Elemente Ni, S, P, Bi, Ca, As, Sn oder Pb umfassen. Um die Bearbeitbarkeit des Warmarbeitsstahls zu vereinfachen, wird in einer besonders bevorzugten Ausführungsform vorgeschlagen, dass der Warmarbeitsstahl entsprechend geeignete Zusatzelemente aufweist. Diese Zusatzelemente können zum Beispiel hauptsächlich Schwefel S (mit einem Gehalt von bis zu 1 Gew.-%) umfassen. Ferner können auch die Elemente Ca, Bi oder As vorhanden sein, um die Bearbeitbarkeit des Warmarbeitsstahls zu vereinfachen.

40 **[0031]** Es kann in einer vorteilhaften Ausführungsform auch vorgesehen sein, dass Kohlenstoff zumindest teilweise durch Stickstoff ersetzt ist, wobei der Gehalt von C und N in der Summe 0,25 - 1 Gew.-% beträgt. Ebenfalls von Bedeutung ist die mechanische Stabilität des Warmarbeitsstahls bei hohen Temperaturen der legierungsbildenden Karbide. In diesem Zusammenhang sind zum Beispiel sowohl Mo- als auch W-Karbide im Hinblick auf die mechanischen Stabilitäts- und Festigkeitseigenschaften vorteilhafter als Chrom- und Eisenkarbide. Eine Verarmung von Chrom zusammen mit der Verringerung des Kohlenstoffgehalts in der Matrix führt zu einer verbesserten Wärmeleitfähigkeit, besonders wenn dies durch Wolfram- und/oder Molybdänkarbide geschieht.

50 **[0032]** Die Verfahren, mit denen der Warmarbeitsstahl hergestellt wird spielen ebenfalls eine wichtige Rolle für dessen thermische und mechanische Eigenschaften. Durch eine gezielte Wahl des Herstellungsverfahrens können somit die mechanischen und/oder thermischen Eigenschaften des Warmarbeitsstahls gezielt variiert und dadurch an den jeweiligen Anwendungszweck angepasst werden.

55 **[0033]** Der hier beschriebene Warmarbeitsstahl kann zum Beispiel durch Pulvermetallurgie (heiß-isostatisches Pressen) hergestellt werden. Es besteht zum Beispiel auch die Möglichkeit, den Warmarbeitsstahl durch Vakuuminduktionsschmelzen oder durch Ofenschmelzen herzustellen. Das jeweils gewählte Herstellungsverfahren beeinflusst die resultierende Karbidgröße, die ihrerseits, wie oben bereits dargelegt, Auswirkungen auf die Wärmeleitfähigkeit und die mechanischen Eigenschaften des Warmarbeitsstahls hat.

**[0034]** Der Warmarbeitsstahl kann zudem auch durch an sich bekannte Veredelungsverfahren, wie zum Beispiel durch VAR-Verfahren (VAR=Vacuum Arc Remelting; VaKuuum-Lichtbogenumschmelzen), AOD-Verfahren (AOD=Argon Oxygen Decarburation; Argon-Sauerstoff-Entkohlung), oder so genannte ESR-Verfahren (ESR: engl, Electro Slag Remelting) veredelt werden.

5 **[0035]** Ebenso kann der erfindungsgemäße Warmarbeitsstahl zum Beispiel durch Sand- oder Feinguß hergestellt werden. Er kann durch Heißpressen oder ein anderes pulvermetallurgisches Verfahren (Sintern, Kaltpressen, isostatisches Pressen), und bei all diesen Herstellungsverfahren mit oder ohne Anwendung von thermomechanischen Prozessen (Schmieden, Walzen, Fließpressen) hergestellt werden. Auch weniger konventionelle Herstellungsmethoden wie Tixo-Guß (tixo-casting), Plasma- oder Laser-Auftragung sowie lokales Sintern können verwendet werden.

10 **[0036]** Gemäß Anspruch 16 wird eine Verwendung eines Warmarbeitsstahls nach einem der Ansprüche 1 bis 15 als Werkstoff zur Herstellung eines Warmarbeitsstahlgegenstands, insbesondere eines Warmarbeitswerkzeugs, vorgeschlagen.

**[0037]** Die vorliegende Erfindung soll anhand der nachfolgenden Verwendungsbeispiele näher erläutert werden.

15 **[0038]** Es hat sich gezeigt, dass zur Herstellung von Werkzeugen, die zur Warmumformung (Hotstamping) von Stahlblechen eingesetzt werden, die Verwendung eines Warmarbeitsstahls mit der nachfolgenden Zusammensetzung besonders vorteilhaft ist:

0,32 bis 0,5 Gew.-% C;  
weniger als 1 Gew.-% Cr;  
20 0 bis 4 Gew.-% V;  
0 bis 10 Gew.-%, insbesondere 3 bis 7 Gew.-% Mo;  
0 bis 15 Gew.-%, insbesondere 2 bis 8 Gew.-% W;  
wobei der Gehalt von Mo und W in der Summe 5 bis 15 Gew.-% beträgt.

25 **[0039]** Darüber hinaus enthält der Warmarbeitsstahl Eisen, Legierungsbegleitelemente und unvermeidliche Verunreinigungen. Ferner kann der Warmarbeitsstahl starke Karbidbildner, wie zum Beispiel die oben genannten Elemente Ti, Zr, Hf, Nb, Ta, mit einem Gehalt von bis zu 3 Gew.-% in der Summe aufweisen. Bei dieser Anwendung spielt die Abriebfestigkeit des aus dem Warmarbeitsstahl hergestellten Werkzeugs eine besonders wichtige Rolle. Das Volumen der gebildeten Primärkarbide sollte daher möglichst groß sein.

30 **[0040]** Aluminiumdruckgießen ist in der heutigen Zeit ein sehr wichtiger Markt, in dem die Eigenschaften der zur Herstellung der Werkzeuge verwendeten Warmarbeitsstähle eine wichtige Rolle für die Wettbewerbsfähigkeit spielen. Die mechanischen Eigenschaften bei hohen Temperaturen des zur Herstellung eines Druckgusswerkzeugs verwendeten Warmarbeitsstahls sind hierbei von besonderer Bedeutung. In einem solchen Fall ist der Vorteil einer erhöhten Wärmeleitfähigkeit besonders wichtig, da nicht nur eine Reduktion der Taktzeit ermöglicht wird, sondern auch die Oberflächentemperatur des Werkzeugs und das Temperaturgefälle im Werkzeug verringert wird. Die positiven Auswirkungen auf die Haltbarkeit der Werkzeuge sind dabei von erheblichem Ausmaß. Bei Druckgussanwendungen, insbesondere im Hinblick auf Aluminiumdruckguss, ist die Verwendung eines Warmarbeitsstahls als Werkstoff zur Herstellung eines entsprechenden Werkzeugs mit folgender Zusammensetzung besonders vorteilhaft:

40 0,3 bis 0,42 Gew.-% C;  
weniger als 2 Gew.-%, insbesondere weniger als 1 Gew.-% Cr;  
0 bis 6 Gew.-%, insbesondere 2,5 bis 4,5 Gew.-% Mo;  
0 bis 6 Gew.-%, insbesondere 1 bis 2,5 Gew.-% W;  
wobei der Gehalt von Mo und W in der Summe 3,2 bis 5,5 Gew.-% beträgt;  
45 0 bis 1,5 Gew.-%, insbesondere 0 bis 1 Gew.-% V.

**[0041]** Darüber hinaus enthält der Warmarbeitsstahl Eisen, Legierungsbegleitelemente und unvermeidliche Verunreinigungen. Ferner kann der Warmarbeitsstahl starke Karbidbildner, wie zum Beispiel Ti, Zr, Hf, Nb, Ta mit einem Gehalt von bis zu 3 Gew.-% in der Summe aufweisen.

50 **[0042]** Bei Aluminium-Druckgussanwendungen sollte  $Fe_3C$  möglichst nicht vorhanden sein. Cr und V mit Zusätzen von Mo und W sind dabei die bevorzugten Elemente, um  $Fe_3C$  zu ersetzen. Vorzugsweise wird jedoch Cr ebenfalls durch Mo und/oder W ersetzt. Um bei manchen Anwendungen Vanadium vorzugsweise vollständig oder aber zumindest teilweise zu ersetzen, können ebenfalls W und/oder Mo eingesetzt werden. Alternativ können aber auch stärkere Karbidbildner, wie zum Beispiel Ti, Zr, Hf, Nb, oder Ta eingesetzt werden. Die Wahl der Karbidbildner und deren Anteile hängen wiederum von der konkreten Anwendung und von den Erfordernissen im Hinblick auf die thermischen und/oder mechanischen Eigenschaften des Werkzeugs ab.

55 **[0043]** Beim Druckgießen von Legierungen mit einem vergleichsweise hohen Schmelzpunkt ist die Verwendung eines Warmarbeitsstahls zur Herstellung eines entsprechenden Werkzeugs mit folgender Zusammensetzung vorteilhaft:

## EP 1 887 096 A1

0,25 bis 0,4 Gew.-% C;  
weniger als 2 Gew.-%, insbesondere weniger als 1 Gew.-% Cr;  
0 bis 5 Gew.-%, insbesondere 2,5 bis 4,5 Gew.-% Mo;  
0 bis 5 Gew.-%, insbesondere 0 bis 3 Gew.-% W;  
wobei der Gehalt von Mo und W in der Summe 3 bis 5,2 Gew.-% beträgt;  
0 bis 1 Gew.-%, insbesondere 0 bis 0,6 Gew.-% V.

**[0044]** Darüber hinaus enthält der Warmarbeitsstahl Eisen, Legierungsbegleitelemente und unvermeidliche Verunreinigungen. Ferner kann der Warmarbeitsstahl starke Karbidbildner, wie zum Beispiel Ti, Zr, Hf, Nb, Ta, mit einem Gehalt von bis zu 3 Gew.-% in der Summe aufweisen. Eine größere Zähigkeit des Warmarbeitsstahls ist bei dieser Anwendung erforderlich, so dass Primärkarbide möglichst vollständig unterdrückt werden sollten und stabile Karbidbildner vorteilhafter sind.

**[0045]** Beim Spritzgießen von Kunststoffen sowie beim Druckgießen von Legierungen mit einem verhältnismäßig niedrigen Schmelzpunkt ist die Verwendung eines Warmarbeitsstahls zur Herstellung eines entsprechenden Werkzeugs besonders vorteilhaft:

0,4 bis 0,55 Gew.-% C;  
weniger als 2 Gew.-%, insbesondere weniger als 1 Gew.-% Cr;  
0 bis 4 Gew.-%, insbesondere 0,5 bis 2 Gew.-% Mo;  
0 bis 4 Gew.-%, insbesondere 0 bis 1,5 Gew.-% W;  
wobei der Gehalt von Mo und W in der Summe 2 bis 4 Gew.-% beträgt;  
0 bis 1,5 Gew.-% V.

**[0046]** Darüber hinaus enthält der Warmarbeitsstahl Eisen, Legierungsbegleitelemente und unvermeidliche Verunreinigungen. Ferner kann der Warmarbeitsstahl starke Karbidbildner, wie Ti, Zr, Hf, Nb, Ta mit einem Anteil von bis zu 3 Gew.-% in der Summe aufweisen. Bei diesen Anwendungsbereichen sollte der Anteil von Vanadium möglichst gering gehalten werden. Vorzugsweise kann der Vanadiumgehalt des Warmarbeitsstahls weniger als 1 Gew.-% und insbesondere weniger als 0,5 Gew.-% und in einer besonders bevorzugten Ausführungsform weniger als 0,25 Gew.-% betragen. Die Erfordernisse im Hinblick auf die mechanischen Eigenschaften der Werkzeuge sind beim Spritzgießen relativ gering. Eine mechanische Festigkeit von etwa 1500 MPa ist in der Regel ausreichend. Eine höhere Wärmeleitfähigkeit ermöglicht jedoch eine Verkürzung der Taktzeiten beim Herstellen von Spritzgussteilen, so dass die Kosten für die Herstellung der Spritzgussteile verringert werden können.

**[0047]** Beim Warm Schmieden ist es besonders vorteilhaft, zur Herstellung eines entsprechenden Werkzeugs einen Warmarbeitsstahl zu verwenden, der folgende Zusammensetzung aufweist:

0,4 bis 0,55 Gew.-% C;  
weniger als 1 Gew.-% Cr,  
0 bis 10 Gew.-%, insbesondere 3 bis 5 Gew.-% Mo;  
0 bis 7 Gew.-%, insbesondere 2 bis 4 Gew.-% W;  
wobei der Gehalt von Mo und W in der Summe 6 bis 10 Gew.-% beträgt;  
0 bis 3 Gew.-%, insbesondere 0,7 bis 1,5 Gew.-% V.

**[0048]** Darüber hinaus enthält der Warmarbeitsstahl Eisen, Legierungsbegleitelemente und unvermeidliche Verunreinigungen. Ferner kann der Warmarbeitsstahl starke Karbidbildner, wie zum Beispiel Ti, Zr, Hf, Nb, Ta mit einem Anteil von bis zu 3 Gew.-% in der Summe aufweisen. Der Warmarbeitsstahl kann Elemente zum Festlösungsverfestigen, insbesondere Co, aber auch Ni, Si, Cu und Mn enthalten. Insbesondere ist ein Gehalt von bis zu 6 Gew.-% Co vorteilhaft, um die Hochtemperaturfestigkeit des Werkzeugs zu verbessern.

**[0049]** Mit Hilfe der hier beispielhaft beschriebenen Warmarbeitsstähle, die für eine Vielzahl von Anwendungen geeignet sind, kann eine Wärmeleitfähigkeit erhalten werden, die etwa zwei Mal so groß ist wie diejenige der bekannten Warmarbeitsstähle.

**[0050]** In Tabelle 1 sind einige thermoelastische Kenngrößen von fünf exemplarischen Proben (Probe F1 bis Probe F5) eines Warmarbeitsstahls gemäß der vorliegenden Erfindung im Vergleich zu herkömmlichen Werkzeugstählen gezeigt. Man erkennt beispielsweise, dass die Warmarbeitsstähle eine höhere Dichte als die bekannten Werkzeugstähle aufweisen. Ferner zeigen die Ergebnisse, dass die Wärmeleitfähigkeit der Proben des erfindungsgemäßen Warmarbeitsstahls im Vergleich zu den herkömmlichen Werkzeugstählen drastisch vergrößert ist.

**[0051]** In Tabelle 2 sind die mechanischen Eigenschaften zweier Warmarbeitsstahlproben (Probe F1 und F5) gemäß der vorliegenden Erfindung im Vergleich zu herkömmlichen Werkzeugstählen zusammengefasst.

**[0052]** In Fig. 1 ist schließlich die Abriebfestigkeit zweier Proben (F1 und F5) im Vergleich zu herkömmlichen Werk-

## EP 1 887 096 A1

zeugstählen dargestellt. Die Abriebfestigkeit wurde dabei mit Hilfe eines Stifts, der aus dem entsprechenden Stahl hergestellt wurde, und einer Scheibe aus einem USIBOR-1500P-Blech ermittelt. Die Probe "1.2344" ist dabei die Referenzprobe (Abriebfestigkeit: 100%). Ein Material mit einer Abriebfestigkeit von 200% weist somit eine doppelt so hohe Abriebfestigkeit wie die Referenzprobe auf und erfährt damit nur einen halb so großen Gewichtsverlust während der Durchführung des Abriebtestverfahrens. Man erkennt, dass die Proben des erfindungsgemäßen Warmarbeitsstahls im Vergleich zu den meisten bekannten Stählen eine sehr hohe Abriebfestigkeit aufweisen.

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

55 50 45 40 35 30 25 20 15 10 5

Tabelle 1

Material	Dichte [g/cm <sup>3</sup> ]	Spezifische Wärme [J/Kg.K]	Wärmeleitfähigkeit [W/m.K]	Wärmeleitzahl [mm <sup>2</sup> /s]	Elastizitätsmodul	Poisson-Zahl [GPa]
Herkömmliche Werkzeugstähle						
<b>W.Nr.-1.2343</b>	7.750	462	24.621	6.876	221.086	0.28014
<b>W.Nr.-1.2344</b>	7.665	466	24.332	6.811	224.555	0.28123
<b>W.Nr.-1.2365</b>	7.828	471	31.358	8.505	217.124	0.28753
<b>W.Nr.-1.2367</b>	7.806	460	29.786	8.295	220.107	0.28140
Beispiele für Warmarbeitsstähle gemäß der vorliegenden Erfindung						
<b>Probe F1</b>	7.949	444	56.633	16.0319	197.18	0.2821
<b>Probe F2</b>	7.969	454	58.464	16.1594		
<b>Probe F3</b>	7.965	449	55.550	15.5328		
<b>Probe F4</b>	7.996	479	61.127	15.9364		
<b>Probe F5</b>	7,916	440	64.231	18.4411	195.02	0.2844

55

50

45

40

35

30

25

20

15

10

5

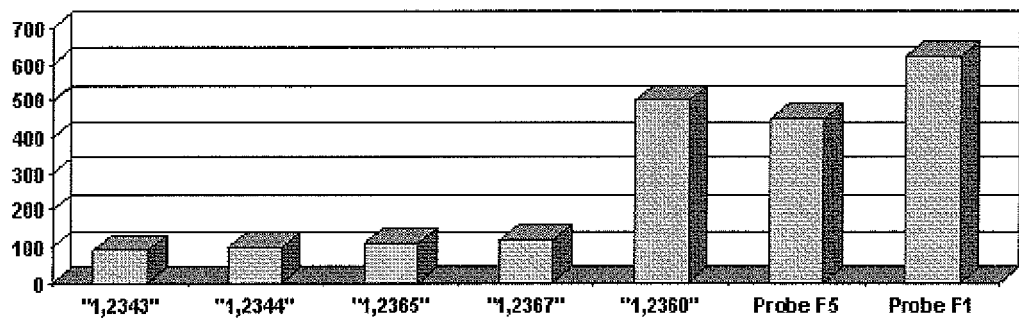
Tabelle 2

<b>MATERIAL</b>	<b>Härthe [HRC]</b>	<b>Streckereise [MPa]</b>	<b>Mechanische Festigkeit [MPa]</b>	<b>Bruchdehnung [%]</b>	<b>Schlagzähigkeit [J]</b>	<b>Ermüdewiderstand <math>K_k</math> [MPa.m<sup>-10</sup>]</b>	<b>Ermüdungssdwelle <math>K_{Tg}</math> [MP.am<sup>-10</sup>]</b>
<b>W.Nr.-1.2343</b>	44-46	1170	1410	16	322	56	4.8
<b>W.Nr.-1.2344</b>	44-46	1278	1478	14	364	49	4.7
<b>W.Nr.-1.2365</b>	44-46	1440	1570	12	289	43	
<b>W.Nr.-1.2367</b>	44-46	1300	1490	13	215	41	
<b>Probe F5</b>	44-46	1340	1510	16	>450	64	5.5
<b>Probe F1</b>	50-52	1560	1680	8	405	41	4.8

**Patentansprüche**

1. Warmarbeitsstahl, **gekennzeichnet durch** folgende Zusammensetzung:
  - 5           0,26 bis 0,55 Gew.-% C;
  - < 2 Gew.-% Cr;
  - 0 bis 10 Gew.-% Mo;
  - 0 bis 15 Gew.-% W;
  - wobei der Gehalt von W und Mo in der Summe 1,8 bis 15 Gew.-% beträgt;
  - 10          Rest: Eisen, Legierungsbegleitelemente und übliche Verunreinigungen.
2. Warmarbeitsstahl nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Warmarbeitsstahl karbidbildende Elemente Ti, Zr, Hf, Nb, Ta mit einem Anteil von bis zu 3 Gew.-% in der Summe aufweist.
- 15 3. Warmarbeitsstahl nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Warmarbeitsstahl Mo und W mit einem Gehalt von 2 bis 15 Gew.-%, insbesondere mit einem Gehalt von 2,5 bis 15 Gew.-% in der Summe aufweist.
4. Warmarbeitsstahl nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Warmarbeitsstahl weniger als 1,5 Gew.-% Cr, vorzugsweise weniger als 1 Gew.-% Cr aufweist.
- 20 5. Warmarbeitsstahl nach Anspruch 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Warmarbeitsstahl weniger als 0,5 Gew.-% Cr, vorzugsweise weniger als 0,2 Gew.-% Cr und insbesondere weniger als 0,1 Gew.-% Cr aufweist.
6. Warmarbeitsstahl nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Molybdängehalt 0,5 bis 25 10 Gew.-% insbesondere 1 bis 10 Gew.-%, beträgt.
7. Warmarbeitsstahl nach Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Warmarbeitsstahl darüber hinaus V mit einen Gehalt von bis zu 4 Gew.-% aufweist.
- 30 8. Warmarbeitsstahl nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Gehalt von Mo, W und V in der Summe 2 bis 10 Gew.-% beträgt.
9. Warmarbeitsstahl nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Gehalt von Mo, W und V in der Summe 2 bis 10 Gew.-% beträgt.
- 35 10. Warmarbeitsstahl nach einem der Ansprüche 1 bis 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Warmarbeitsstahl Elemente zum Festlösungsverfestigen, insbesondere Co, Ni, Si, Cu und Mn, aufweist.
11. Warmarbeitsstahl nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Warmarbeitsstahl Co mit einem Gehalt von bis zu 6 Gew.-% aufweist.
- 40 12. Warmarbeitsstahl nach Anspruch 10 oder 11, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Warmarbeitsstahl Co mit einem Gehalt von bis zu 3 Gew.-%, vorzugsweise mit einem Gehalt von bis zu 2 Gew.-% aufweist.
- 45 13. Warmarbeitsstahl nach einem der Ansprüche 10 bis 12, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Warmarbeitsstahl Mn mit einem Gehalt von bis zu 2 Gew.-% aufweist.
14. Warmarbeitsstahl nach einem der Ansprüche 10 bis 13, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Warmarbeitsstahl Si mit einem Gehalt von bis zu 1,6% Gew.-% aufweist.
- 50 15. Warmarbeitsstahl nach einem der Ansprüche 1 bis 14, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Legierungsbegleitelemente mindestens eines der Elemente Ni, S, P, Bi, Ca, As, Sn oder Pb umfassen.
- 55 16. Verwendung eines Warmarbeitsstahls nach einem der Ansprüche 1 bis 15 als Werkstoff zur Herstellung eines Warmarbeitsstahlgegenstands, insbesondere eines Warmarbeitswerkzeugs.

Fig. 1  
|





EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
X	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN Bd. 016, Nr. 428 (M-1307), 8. September 1992 (1992-09-08) -& JP 04 147706 A (KAWASAKI STEEL CORP), 21. Mai 1992 (1992-05-21) * Zusammenfassung * * Beispiele B,C,D; Tabelle 1 * -----	1-16	INV. C22C38/22
X	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN Bd. 1999, Nr. 13, 30. November 1999 (1999-11-30) -& JP 11 222650 A (NIPPON KOSHUHA STEEL CO LTD; ISHIDA KIYOHITO), 17. August 1999 (1999-08-17) * Zusammenfassung * * Beispiel 2; Tabelle 1 * -----	1,16	
X	EP 1 275 745 A (MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES, LTD) 15. Januar 2003 (2003-01-15) * Absätze [0044], [0045] * * Beispiele 2-10,12-14; Tabelle 1 * * Beispiele 15-21; Tabelle 3 * * Beispiele 25-29; Tabelle 7 * * Ansprüche 1-10 * -----	1-16	RECHERCHIERTES SACHGEBIETE (IPC) C22C C21D
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN Bd. 1997, Nr. 02, 28. Februar 1997 (1997-02-28) -& JP 08 260093 A (HITACHI METALS LTD), 8. Oktober 1996 (1996-10-08) * Zusammenfassung * * Tabelle 1 * -----	1,16	
-/--			
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
1	Recherchenort München	Abschlußdatum der Recherche 5. Oktober 2006	Prüfer Gavrilu, Alexandru
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : nichtschriftliche Offenbarung P : Zwischenliteratur		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument ..... & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	

EPO FORM 1503 03.02. (P04C03)



EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN Bd. 1995, Nr. 10, 30. November 1995 (1995-11-30) -& JP 07 179988 A (AICHI STEEL WORKS LTD), 18. Juli 1995 (1995-07-18) * Zusammenfassung * * Tabelle 1 *	1,16	
A,D	DE 43 21 433 C1 (THYSSEN STAHL AG, 47166 DUISBURG, DE) 8. Dezember 1994 (1994-12-08) ganz Dokument	1-16	
A	EP 0 733 719 A (BOEHLER EDELSTAHL GMBH) 25. September 1996 (1996-09-25) ganz Dokument	1-16	
			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort München		Abschlußdatum der Recherche 5. Oktober 2006	Prüfer Gavriliu, Alexandru
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : mündliche Offenbarung P : Zwischenliteratur		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	

1  
EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)

**ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT  
 ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR.**

EP 06 11 8672

In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patentdokumente angegeben.  
 Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am  
 Diese Angaben dienen nur zur Unterrichtung und erfolgen ohne Gewähr.

05-10-2006

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
JP 04147706 A	21-05-1992	JP 7087930 B	27-09-1995
JP 11222650 A	17-08-1999	KEINE	
EP 1275745 A	15-01-2003	KEINE	
JP 08260093 A	08-10-1996	CN 1132261 A KR 175178 B1	02-10-1996 18-02-1999
JP 07179988 A	18-07-1995	KEINE	
DE 4321433 C1	08-12-1994	AT 156865 T EP 0632139 A1	15-08-1997 04-01-1995
EP 0733719 A	25-09-1996	AT 403058 B AT 51695 A DE 59601353 D1 ES 2128828 T3	25-11-1997 15-03-1997 08-04-1999 16-05-1999

EPO FORM P0461

Für nähere Einzelheiten zu diesem Anhang : siehe Amtsblatt des Europäischen Patentamts, Nr.12/82

**IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE**

*Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.*

**In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente**

- EP 0632139 A1 [0006]