

(19)



(11)

EP 2 690 184 A1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:
29.01.2014 Patentblatt 2014/05

(51) Int Cl.:
C21D 6/00 (2006.01) **C21D 8/02** (2006.01)
C21D 9/46 (2006.01) **C22C 38/00** (2006.01)
C22C 38/02 (2006.01) **C22C 38/04** (2006.01)
C22C 38/06 (2006.01) **C22C 38/20** (2006.01)
C22C 38/24 (2006.01) **C22C 38/28** (2006.01)
C22C 38/34 (2006.01) **C22C 38/38** (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **12178332.8**

(22) Anmeldetag: **27.07.2012**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR
 Benannte Erstreckungsstaaten:
BA ME

(71) Anmelder: **ThyssenKrupp Steel Europe AG**
47166 Duisburg (DE)

(72) Erfinder:
 • **Hammer, Brigitte, Dr.**
46562 Voerde (DE)

- **Heller, Thomas, Dr.**
47229 Duisburg (DE)
- **Hisker, Frank, Dr.**
46240 Bottrop (DE)
- **Kawalla, Rudolf, Prof.Dr.-Ing.**
09627 Bobritzsch (DE)
- **Korpala, Grzegorz**
09599 Freiberg (DE)

(74) Vertreter: **Cohausz & Florack**
Patent- und Rechtsanwälte
Partnerschaftsgesellschaft
Bleichstraße 14
40211 Düsseldorf (DE)

(54) **Kaltgewalztes Stahlflachprodukt und Verfahren zu seiner Herstellung**

(57) Die Erfindung betrifft ein kaltgewalztes Stahlflachprodukt mit $R_m \geq 1400$ MPa und $A_{80} \geq 5$ % sowie ein Verfahren zur Herstellung eines solchen Stahlflachprodukts. Das erfindungsgemäße Stahlflachprodukt enthält neben Fe und unvermeidbaren Verunreinigungen (in Gew.-%) 0,10 - 0,60 % C, 0,4 - 2,5 % Si, $\leq 3,0$ % Al, 0,4 - 3,0 % Mn, $\leq 1,0$ % Ni, $\leq 2,0$ % Cu, $\leq 0,4$ % Mo, ≤ 2 % Cr, $\leq 1,5$ % Co, $\leq 0,2$ % Ti, $\leq 0,2$ % Nb, $\leq 0,5$ % V. Sein Gefüge weist (in Vol.-%) ≥ 20 % Bainit, 10 - 35 % Restaustenit und als Rest Martensit auf. Bei der Herstellung des Stahlflachprodukts wird eine Bramme, Dünnbramme oder ein gegossenes Band mit der genannten Zusam-

mensetzung bereitgestellt, das Vorprodukt mit einer Warmwalzendtemperatur ≥ 830 °C zu Warmband warmgewalzt, das Warmband bei einer Haspeltemperatur ≤ 560 °C gehaspelt, das Warmband mit einem Kaltwalzgrad ≥ 30 % zu Kaltband kaltgewalzt und das Kaltband wärmebehandelt, indem es zuerst auf Glühtemperatur ≥ 800 °C erwärmt, dann mit einer Abkühlgeschwindigkeit von ≥ 8 °C/s auf eine Haltetemperatur von 470 °C bis $>$ Martensitstarttemperatur M_S abgekühlt und dann auf der Haltetemperatur gehalten wird, bis im Gefüge des Kaltbands mindestens 20 Vol.-% Bainit vorhanden sind.

EP 2 690 184 A1

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein kaltgewalztes Stahlflachprodukt mit einer Zugfestigkeit R_m von mindestens 1400 MPa und einer Dehnung A80 von mindestens 5 %. Produkte dieser Art zeichnen sich durch eine sehr hohe Festigkeit in Kombination mit guten Dehnungseigenschaften aus und sind als solche insbesondere für die Herstellung von Bauteilen für Kraftfahrzeugkarosserien geeignet.

[0002] Ebenso betrifft die Erfindung ein Verfahren zur Herstellung eines erfindungsgemäßen Stahlflachprodukts.

[0003] Unter dem Begriff "Stahlflachprodukt" werden hier durch einen Walzprozess erzeugte Stahlbleche oder Stahlbänder sowie davon abgeteilte Platinen und desgleichen verstanden.

[0004] Sofern hier Legierungsgehalte lediglich in "%" angegeben sind, ist damit immer "Gew.-%" gemeint, sofern nicht ausdrücklich etwas anderes angegeben ist.

[0005] Aus der EP 1 466 024 B1 (DE 603 15 129 T2) ist ein Verfahren zur Herstellung eines Stahlflachprodukts bekannt, das Zugfestigkeiten von deutlich mehr als 1000 MPa aufweisen soll. Um dies zu erreichen, wird eine Stahlschmelze, die (in Gew.-%) 0,0005 - 1 % C, 0,5 - 10 % Cu, bis zu 2 % Mn, bis zu 5 % Si, bis zu 0,5 % Ti, bis zu 0,5 % Nb, bis zu 5 % Ni, bis zu 2 % Al und als Rest Eisen und herstellungsbedingt unvermeidbare Verunreinigungen aufweist. Die Schmelze wird zu einem Band gegossen, dessen Dicke max. 10 mm beträgt und das durch Besprengen mit Wasser oder einem Wasser-Luft-Gemisch rasch auf eine Temperatur von höchstens 1000 °C abgekühlt wird. Anschließend wird das gegossene Band mit einer üblichen Reduktionsrate warmgewalzt. Das Warmwalzen wird bei einer Endtemperatur beendet, bei der sich das gesamte Kupfer noch in fester Lösung in der Ferrit- und/oder Austenitmatrix befindet. Dann wird das Band einem Schritt einer schnellen Abkühlung unterzogen, um das Kupfer in übersättigter fester Lösung in der Ferrit- und/oder Austenitlösung zu halten. Nach einem Haspeln zu einem Coil kann aus dem so erhaltenen Warmband mit einem 40 - 80 % betragenden Kaltwalzgrad ein Kaltband gewalzt werden. Dieses Kaltband wird dann einer rekristallisierenden Glühung unterzogen, bei der es möglichst schnell auf eine im Bereich von 840 °C liegenden Glüh-temperatur gebracht und dort gehalten wird, um einen möglichst großen Anteil des im Stahl enthaltenen Kupfers in Lösung zu bringen. Anschließend erfolgt eine schnelle Abkühlung auf eine 400 - 700 °C betragende Temperatur, bei der sich erneut Cu-Ausscheidungen bilden. Auf diese Weise soll durch Ausscheidungshärtung das angestrebte Festigkeitsniveau des Stahls erreicht werden. Gleichzeitig soll der Kupfergehalt die Korrosions- und Versprödungsbeständigkeit des Stahls durch Bildung einer Schutzoxidschicht erhöhen.

[0006] Ein weiteres Verfahren zur Herstellung eines extrem festen Kaltbands ist aus der US 7,591,977 B2 bekannt. Gemäß diesem Verfahren wird ein (in Gew.-%) 0,1 - 0,25 % C, 1,0 - 2,0 % Si und 1,5 - 3,0 % Mn enthaltendes Warmband mit einem Kaltwalzgrad von 30 - 70 % zu einem Kaltband gewalzt, das dann einer im kontinuierlichen Durchlauf absolvierten Wärmebehandlung unterzogen wird. Dabei wird das Kaltband in einem ersten Glühschritt auf eine oberhalb seiner Ar3-Temperatur liegende erste Glüh-temperatur erwärmt, um im Kaltband vorhandene Karbide in Lösung zu bringen. Anschließend erfolgt eine von der ersten Glüh-temperatur ausgehende, mit einer Abkühlgeschwindigkeit von mindestens 10 °C/s erfolgende Abkühlung auf eine zweite Glüh-temperatur. Diese ist so gewählt, dass sich im Kaltband Bainit bildet, und liegt typischerweise im Bereich von 300 - 450 °C. Dieser zur Bainitbildung durchgeführte zweite Glüh-schritt wird so lange ausgeführt, bis das Gefüge des Kaltbands zu mindestens 60 % aus Bainit und zu mindestens 5 % aus Restaustenit sowie als Rest aus polygonalem Ferrit besteht. Dabei wird angestrebt, dass das Gefüge möglichst vollständig bainitisch ist und andere Gefügebestandteile allenfalls in Spuren vorliegen. Das so beschaffene Kaltband erreicht Zugfestigkeiten von bis zu 1180 MPa bei einer Dehnung von mindestens 9 % und kann erforderlichenfalls mit einer metallischen, vor Korrosion schützenden Schicht belegt werden.

[0007] Vor dem Hintergrund des voranstehend erläuterten Standes der Technik bestand die Aufgabe der Erfindung darin, ein kaltgewalztes Stahlflachprodukt zu schaffen, dass auf einfache und betriebssichere Weise hergestellt werden kann und eine optimierte Kombination aus weiter gesteigerter Festigkeit und guter Verformbarkeit aufweist. Darüber hinaus sollte ein Verfahren zur Herstellung eines solchen kaltgewalzten Stahlflachprodukts genannt werden.

[0008] In Bezug auf das kaltgewalzte Stahlflachprodukt ist diese Aufgabe erfindungsgemäß durch das in Anspruch 1 angegebene Stahlflachprodukt gelöst worden.

[0009] In Bezug auf das Verfahren besteht die erfindungsgemäße Lösung der voranstehend genannten Aufgabe darin, dass zur Herstellung eines erfindungsgemäßen kaltgewalzten Stahlflachprodukts mindestens die in Anspruch 12 angegebenen Arbeitsschritte durchlaufen werden.

[0010] Vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung sind in den abhängigen Ansprüchen angegeben und werden nachfolgend wie der allgemeine Erfindungsgedanke im Einzelnen erläutert.

[0011] Das erfindungsgemäße kaltgewalzte Stahlflachprodukt zeichnet sich dadurch aus, dass es neben Eisen und unvermeidbaren Verunreinigungen (in Gew.-%)

C: 0,10 - 0,60 %,

Si: 0,4 - 2,5 %,

Al: bis zu 3,0 %

Mn: 0,4 - 3,0 %,
 Ni: bis zu 1,0 %,
 Cu: bis zu 2,0 %,
 Mo: bis zu 0,4 %,
 Cr: bis zu 2 %,
 Co: bis zu 1,5 %,
 Ti: bis zu 0,2 %,
 Nb: bis zu 0,2 %,
 V: bis zu 0,5 %,

enthält. Dabei besteht das Gefüge des erfindungsgemäßen Stahlflachprodukts im kaltgewalzten Zustand zu mindestens 20 Vol.-% aus Bainit, zu 10 - 35 Vol.-% aus Restaustenit und als Rest aus Martensit, wobei es selbstverständlich ist, dass im Gefüge des Stahlflachprodukts technisch unvermeidbare Spuren anderer Gefügebestandteile vorhanden sein können. Ein so beschaffenes erfindungsgemäßes kaltgewalztes Stahlflachprodukt erzielt regelmäßig Zugfestigkeiten Rm von mindestens 1400 MPa und eine Dehnung A80 von mindestens 5 %. Der C-Gehalt des Restaustenits beträgt typischerweise mehr als 1,0 Gew.-%.

[0012] Das erfindungsgemäße Verfahren zum Herstellen eines erfindungsgemäß beschaffenen Stahlflachprodukts umfasst folgende Arbeitsschritte:

- Bereitstellen eines Vorprodukts in Form einer Bramme, Dünnbramme oder eines gegossenen Bands, das neben Eisen und unvermeidbaren Verunreinigungen (in Gew.-%) C: 0,10 - 0,60 %, Si: 0,4 - 2,5 %, Al: bis zu 3,0 %, Mn: 0,4 - 3,0 %, Ni: bis zu 1,0 %, Cu: bis zu 2,0 %, Mo: bis zu 0,4 %, Cr: bis zu 2 %, Co: bis zu 1,5 %, Ti: bis zu 0,2 %, Nb: bis zu 0,2 %, V: bis zu 0,5 % enthält;
- Warmwalzen des Vorprodukts zu einem Warmband in einem oder mehreren Walzstichen, wobei das erhaltene Warmband beim Verlassen des letzten Walzstichs eine Warmwalzendtemperatur von mindestens 830 °C aufweist;
- Haspeln des erhaltenen Warmbands bei einer Haspeltemperatur, die zwischen der Warmwalzendtemperatur und 560 °C liegt;
- Kaltwalzen des Warmbands zu einem Kaltband mit einem Kaltwalzgrad von mindestens 30 %;
- Wärmebehandeln des erhaltenen Kaltbands, wobei das Kaltband im Zuge der Wärmebehandlung
 - auf eine mindestens 800 °C betragende Glühtemperatur erwärmt wird,
 - optional über eine Glühdauer von 50 - 150 s bei der Glühtemperatur gehalten wird,
 - ausgehend von der Glühtemperatur mit einer mindestens 8 °C/s betragenden Abkühlgeschwindigkeit auf eine Haltetemperatur abgekühlt wird, die in einem Haltetemperaturbereich liegt, dessen Obergrenze 470 °C beträgt und dessen Untergrenze höher ist als die Martensitstarttemperatur MS, ab der Martensit im Gefüge des Kaltbands entsteht, und
 - im Haltetemperaturbereich über einen Zeitraum gehalten wird, der ausreicht, um im Gefüge des Kaltbands mindestens 20 Vol.-% Bainit zu bilden.

[0013] Ein erfindungsgemäßes Stahlband weist ein dreiphasiges Gefüge auf, dessen dominierender Bestandteil Bainit ist und das darüber hinaus aus Restaustenit sowie als Rest aus Martensit besteht. Optimaler Weise liegt dabei der Bainitanteil bei mindestens 60 Vol.-% und der Restaustenitanteil im Bereich von 10 - 25 Vol.-%, wobei auch hier der Rest des Gefüges jeweils durch Martensit aufgefüllt ist. Der optimale Martensitanteil beträgt mindestens 10 Vol.-%. Ein derart zusammengesetztes Gefüge bewirkt die beste Kombination von Rm*A80 bei der geforderten Zugfestigkeit.

[0014] Neben den Hauptkomponenten "Bainit", "Restaustenit" und "Martensit" können Gehalte an anderen Gefügebestandteilen vorhanden sein, deren Anteile jedoch zu gering sind, um einen Einfluss auf die Eigenschaften des erfindungsgemäßen Kaltbands zu haben. Der Restaustenit liegt in einem erfindungsgemäßen Kaltband überwiegend filmartig mit kleinen globularen Inseln von blockigem Restaustenit mit einer Korngröße <5 µm vor, so dass der Restaustenit eine hohe Stabilität und damit einhergehend eine geringe Neigung zur unerwünschten Umwandlung in Martensit besitzt sowie den TRIP-Effekt ermöglicht.

[0015] Erfindungsgemäß erzeugtes Kaltband erreicht regelmäßig Zugfestigkeiten Rm von mehr als 1400 MPa, bei

Dehnungen A80, die ebenso regelmäßig oberhalb von 5 % liegen. Dementsprechend liegt die Güte $R_m \cdot A_{80}$ von erfindungsgemäßen Stahlflachprodukten regelmäßig oberhalb von 7000 MPa*%, wobei typischerweise Güten $R_m \cdot A_{80}$ von mindestens 13500 MPa*% erreicht werden. Ein erfindungsgemäßes Kaltband verfügt als solches über eine optimale Kombination aus extremer Festigkeit und ausreichender Umformbarkeit.

[0016] Die Martensitstarttemperatur, d. h. die Temperatur, ab der sich in erfindungsgemäß verarbeitetem Stahl Martensit bildet, kann gemäß der im Artikel "Thermodynamic Extrapolation and Martensite-Start-Temperature of Substitutionally Alloyed Steels" von H. Bhadeshia, erschienen in Metal Science 15 (1981), Seiten 178 -180 erläuterten Vorgehensweise berechnet werden.

[0017] Kohlenstoff verzögert im erfindungsgemäßen Stahl die Umwandlung in Ferrit/Perlit, senkt die Martensitstarttemperatur MS ab und trägt zur Erhöhung der Härte bei. Um diese positiven Effekte zu nutzen, kann der C-Gehalt des erfindungsgemäßen Stahlflachprodukts auf mindestens 0,25 Gew.-%, insbesondere mindestens 0,27 Gew.-% oder mindestens 0,28 Gew.-%, gesetzt werden, wobei sich die durch den vergleichbar hohen Kohlenstoffgehalt erzielten Effekte dann besonders sicher nutzen lassen, wenn der C-Gehalt im Bereich von > 0,25 - 0,5 Gew.-%, insbesondere 0,27 - 0,4 Gew.-% oder 0,28 - 0,4 Gew.-%, liegt.

[0018] Auch in einem erfindungsgemäßen kaltgewalzten Stahlflachprodukt kann die festigkeitssteigernde Wirkung von Kupfer genutzt werden. Hierzu kann im erfindungsgemäßen Stahlflachprodukt ein Mindestgehalt von 0,15 Gew.-% Cu, insbesondere mindestens 0,2 Gew.-% Cu, vorhanden sein. Einen besonders wirksamen Beitrag zur Festigkeit leistet Cu, wenn es in Gehalten von mindestens 0,55 Gew.-% im erfindungsgemäßen Stahlflachprodukt vorhanden ist, wobei sich negative Auswirkungen der Anwesenheit von Cu dadurch begrenzen lassen, dass der Cu-Gehalt auf höchstens 1,5 Gew.-% beschränkt wird.

[0019] Mn in Gehalten von mindestens 0,4 Gew.-% und bis zu 3 Gew.-%, insbesondere bis zu 2,5 Gew.-%, fördert im erfindungsgemäß verarbeiteten Stahl die Bainitbildung, wobei die optional zusätzlich vorhandenen Gehalte an Cu, Cr und Ni ebenfalls zur Bildung von Bainit beitragen. Abhängig von den jeweils anderen Bestandteilen des erfindungsgemäß verarbeiteten Stahls kann es dabei zweckmäßig sein, den Mn-Gehalt auf maximal 2 Gew.-% zu beschränken oder den Mindestgehalt an Mn auf 1,5 Gew.-% zu erhöhen.

[0020] Auch durch die optionale Zugabe von Cr kann die Martensitstarttemperatur abgesenkt und die Neigung des Bainits zur Umwandlung in Perlit oder Zementit unterdrückt werden. Des Weiteren fördert Cr in Gehalten bis zu der erfindungsgemäß vorgegebenen Obergrenze von maximal 2 Gew.-% die ferritische Umwandlung, wobei sich optimale Wirkungen der Anwesenheit von Cr im erfindungsgemäßen kaltgewalzten Stahlflachprodukt dann ergeben, wenn der Cr-Gehalt auf 1,5 Gew.-% beschränkt ist. Besonders wirksam nutzen lässt sich der positive Einfluss von Cr, wenn mindestens 0,3 Gew.-% Cr im erfindungsgemäßen Stahlflachprodukt vorhanden sind.

[0021] Durch die ebenfalls optionale Zugabe von Ti, V oder Nb kann die Entstehung von feinkörnigerem Gefüge unterstützt und die bainitische Umwandlung gefördert werden. Darüber hinaus tragen diese Mikrolegierungselemente durch die Bildung von Ausscheidungen zur Steigerung der Härte bei. Besonders effektiv lassen sich die positiven Wirkungen von Ti, V und Nb im erfindungsgemäßen kaltgewalzten Stahlflachprodukt dann nutzen, wenn ihr Gehalt jeweils im Bereich von 0,002 - 0,15 Gew.-% liegt, insbesondere 0,1 Gew.-% nicht überschreitet.

[0022] Si ist in einem erfindungsgemäßen Stahlflachprodukt in Gehalten von 0,4 - 2,5 Gew.-% vorhanden und bewirkt eine deutliche Mischkristallverfestigung. Um diesen Effekt besonders sicher zu nutzen, kann der Si-Gehalt auf mindestens 1,0 Gew.-% gesetzt werden. Ebenso kann es zur Vermeidung negativer Einflüsse zweckmäßig sein, den Si-Gehalt auf maximal 2 Gew.-% zu beschränken.

[0023] Al kann im erfindungsgemäß verarbeiteten Stahl den Si-Gehalt zu einem Teil ersetzen. Gleichzeitig wirkt Al wie auch Si bei der Stahlherstellung desoxidierend. Hierzu kann ein Mindestgehalt von 0,01 Gew.-% Al vorgesehen werden. Höhere Gehalte an Al erweisen sich beispielsweise dann als zweckmäßig, wenn durch die Zugabe von Al die Härte oder Zugfestigkeit des Stahls zu Gunsten einer verbesserten Verformbarkeit auf einen niedrigeren Wert eingestellt werden soll.

[0024] Eine weitere Funktion von Si und Al besteht darin, die Karbidbildung im Bainit zu unterdrücken und damit den Restaustenit durch gelösten C zu stabilisieren.

[0025] Die positiven Einflüsse der gleichzeitigen Anwesenheit von Al und Si können dadurch besonders effektiv genutzt werden, wenn die Gehalte an Si und Al innerhalb der erfindungsgemäß vorgegebenen Grenzen folgende Bedingung erfüllen: $\%Si + 0,8\%Al > 1,2 \text{ Gew.-%}$ (mit %Si: jeweiliger Si-Gehalt in Gew.-%, %Al: jeweiliger Al-Gehalt in Gew.-%).

[0026] Die Bildung des erfindungsgemäß vorgegebenen Gefüges lässt sich insbesondere dadurch gewährleisten, dass die Gehalte des erfindungsgemäß verarbeiteten Stahls und dementsprechend die Gehalte des erfindungsgemäßen Stahlflachprodukts an Mn, Cr, Ni, Cu und C die folgende Bedingung

$$1 < 0,5\%Mn + 0,167\%Cr + 0,125\%Ni + 0,125\%Cu + 1,334\%C < 2$$

erfüllen, wobei mit %Mn der jeweilige Mn-Gehalt in Gew.-%, mit %Cr der jeweilige Cr-Gehalt in Gew.-%, mit %Ni der jeweilige Ni-Gehalt in Gew.-%, mit %Cu der jeweilige Cu-Gehalt in Gew.-% und mit %C der jeweilige C-Gehalt in Gew.-% bezeichnet sind.

[0027] Zur Herstellung eines erfindungsgemäßen Stahlflachprodukts wird das aus einem erfindungsgemäß zusammengesetzten Stahl gegossene Vorprodukt zunächst auf eine Temperatur gebracht oder auf einer Temperatur gehalten, die ausreicht, um das ausgehend von dieser Temperatur durchgeführte Warmwalzen bei einer Warmwalzendtemperatur zu beenden, die im Bereich von 830 - 1000 °C liegen. Nach dem Verlassen des letzten für das Warmwalzen verwendeten Walzgerüsts kühlt das Warmband auf dem sich an das betreffende Walzgerüst anschließenden Rollgang ab. Im Anschluss an den Rollgang läuft das Warmband in eine Haspelinrichtung, in der es zu einem Coil gewickelt wird.

[0028] Die Haspeltemperatur muss mindestens 560 °C betragen, damit ein relativ weiches Warmbandgefüge aus Ferrit und Perlit entsteht. Ein für diesen Zweck optimaler Temperaturverlauf ergibt sich, wenn die Warmwalzendtemperatur im Bereich von 850 - 950 °C, insbesondere im Bereich von 880 - 950 °C, liegt. Typischerweise wird dazu das Vorprodukt vor dem Warmwalzen auf eine im Bereich von 1100 - 1300 °C liegende Temperatur erwärmt oder bei dieser Temperatur gehalten. Das Gefüge des so erhaltenen Warmbands besteht hauptsächlich aus Ferrit und Perlit. Die Gefahr einer Entstehung von Korngrenzenoxidation kann dadurch minimiert werden, dass die Haspeltemperatur auf maximal 750 °C beschränkt wird.

[0029] Nach dem Haspeln wird das Warmband kaltgewalzt, wobei das Warmband vor dem Kaltwalzen selbstverständlich in üblicher Weise chemisch oder mechanisch entzundert werden kann.

[0030] Das Kaltwalzen erfolgt mit einem Kaltwalzgrad von mindestens 30 %, insbesondere mindestens 45 %, um die Rekristallisation und Umwandlung beim anschließenden Glühen zu beschleunigen. Generell ergibt sich zudem durch Einhaltung eines entsprechend hohen Kaltwalzgrades eine bessere Oberflächenqualität. Kaltwalzgrade von mindestens 50 % haben sich hierfür als besonders günstig erwiesen. Nach dem Kaltwalzen absolviert das erfindungsgemäß erhaltene Kaltband in einem kontinuierlichen Durchlauf einen Glühzyklus, bei dem es in einer ersten Glühphase auf eine Temperatur von mindestens 800 °C, bevorzugt mindestens 830 °C, erwärmt wird. Diese erste Glühphase dauert mindestens so lange, dass das Kaltband vollständig austenitisiert ist. Hierzu sind typischerweise 50 - 150 s erforderlich.

[0031] Am Ende der ersten Glühphase wird das Produkt abgeschreckt, wobei die Abkühlgeschwindigkeit mindestens 8 °C/s, insbesondere 10 °C/s, beträgt. Die Zieltemperatur dieser Abschreckung ist eine Haltetemperatur, die höchstens 470 °C beträgt und höher ist als die Martensitstarttemperatur M_S , ab der Martensit im Gefüge des Kaltbands entsteht. In der Praxis kann als Anhalt für den Bereich, in dem die Haltetemperatur liegen soll, der Bereich von 300 - 420 °C, insbesondere 330 - 420 °C, angewendet werden.

[0032] Ausgehend von der jeweiligen Haltetemperatur wird das Kaltband in der zweiten Glühphase im Haltetemperaturbereich gehalten und zwar so lange, bis sich das Gefüge des Kaltbands zu mindestens 20 Vol.-% in Bainit gewandelt hat. Das Halten kann dabei als isothermes Halten auf der bei der Abkühlung erreichten Haltetemperatur oder als langsam erfolgende Temperaturabnahme innerhalb des Haltetemperaturbereichs durchgeführt werden.

[0033] Das erfindungsgemäß erzeugte Stahlflachprodukt kann in üblicher Weise mit einer metallischen Schutzschicht belegt werden. Dies kann beispielsweise durch Schmelztauchbeschichten erfolgen. Sofern vor dem Auftrag der metallischen Beschichtung ein Glühen erforderlich ist, kann die erfindungsgemäß vorgesehene Wärmebehandlung im Rahmen dieses Glühens durchgeführt werden.

[0034] Nachfolgend wird die Erfindung anhand von Ausführungsbeispielen näher erläutert.

[0035] Es sind fünf Stähle S1 - S5 erschmolzen worden, deren Zusammensetzung in Tabelle 1 angegeben ist.

[0036] Die entsprechend zusammengesetzten Stahlschmelzen sind auf konventionelle Weise zu einem Strang vergossen worden, von dem Brammen abgeteilt worden sind. Die Dünnbrammen sind anschließend auf ebenso konventionelle Weise auf eine Wiedererwärmungstemperatur erwärmt worden.

[0037] Die erwärmten Brammen sind in einer ebenfalls konventionellen Warmwalzstaffel zu Warmbändern mit einer Dicke von 2 mm warmgewalzt worden.

[0038] Die Warmwalzendtemperatur lag jeweils im Bereich von 830 - 900 °C. Ausgehend von dieser Temperatur sind die Warmbänder auf eine oberhalb von 560 °C liegende Haspeltemperatur abgekühlt worden und anschließend zu Coils gehaspelt worden.

[0039] Die so erhaltenen Warmbänder sind nach dem Haspeln entzundert und nach dem Entzundern bei Kaltwalzgraden von 50 % zu Kaltband kaltgewalzt worden.

[0040] Eine größere Zahl von Proben dieser Kaltbänder sind dann einer Wärmebehandlung unterzogen worden, bei der sie in einem ersten Glühschritt mit einer Erwärmungsgeschwindigkeit von mindestens 1,9 °C/s auf eine erste Glühtemperatur erwärmt worden sind, die im Bereich von 830 - 850 °C lag. Bei dieser Temperatur sind die Kaltbänder über eine Dauer von 120 s gehalten worden, bis sie vollständig durcherwärmt waren.

[0041] Anschließend erfolgte eine Abschreckung, bei der Kaltbänder mit einer mindestens 8 °C/s betragenden Abkühlgeschwindigkeit auf eine Haltetemperatur T2 abgeschreckt worden sind, die im Bereich von 350 - 420 °C lag. Konkret lagen die Haltetemperaturen T2 bei einer ersten Charge von Versuchen bei 300 °C, 310 °C, 330 °C, 340 °C, 375 °C, 390 °C und 410 °C. Bei der jeweiligen Haltetemperatur T2 sind die Kaltbandproben für eine Glühdauer t_2 gehalten worden.

[0042] In Fig. 1 sind die erzielten Zugfestigkeiten R_m über die jeweilige Glüh Temperatur T_2 aufgetragen. Es zeigt sich, dass die aus dem Stahl S5 gefertigten Kaltbandproben jeweils nur unter bestimmten Glühbedingungen die geforderte Mindestzugfestigkeit von 1400 MPa erreichen, während die Zugfestigkeiten der aus den anderen Stählen hergestellten Kaltbandproben stets sicher über der Mindestgrenze von 1400 MPa lagen. Als Grund hierfür ist der vergleichbar geringe, an der unteren Grenze des erfindungsgemäß vorgegebenen Gehaltsbereichs liegende Kohlenstoffgehalt des Stahls S5 ermittelt worden.

[0043] In Fig. 2 sind die Zugfestigkeiten der aus dem Stahl S4 erzeugten Kaltbandproben über die Glühdauer t_2 der zweiten Glühstufe aufgetragen. Es zeigt sich, dass die bei einer Haltetemperatur von 310 °C, 330 °C und 350 °C, also im Haltetemperaturbereich von 310 - 350 °C, gehaltenen Kaltbandproben die geforderte Zugfestigkeit R_m von 1400 MPa unabhängig von der jeweiligen Glühdauer t_2 erreicht haben.

[0044] In Fig. 3 sind in gleicher Weise die Zugfestigkeiten der aus dem Stahl S5 erzeugten Kaltbandproben über die Glühdauer t_2 der zweiten Glühstufe aufgetragen. Es zeigt sich hier, dass die bei einer Haltetemperatur von 350 °C und 390 °C, also im Haltetemperaturbereich von 350 - 390 °C, gehaltenen Kaltbandproben die geforderte Zugfestigkeit R_m von 1400 MPa erreichen, wenn die Glühdauer t_2 kürzer als 145 s ist.

[0045] In Fig. 4 ist die Dehnung A80 der aus dem Stahl S4 erzeugten Kaltbandproben über die Glühdauer t_2 der zweiten Glühstufe aufgetragen. Die bei einer Haltetemperatur von 310 °C, 330 °C und 350 °C, also im Haltetemperaturbereich von 310 - 350 °C, gehaltenen Kaltbandproben haben die geforderte Mindestdehnung A80 unabhängig von der jeweiligen Glühdauer t_2 erreicht.

[0046] In Fig. 5 ist die Dehnung A80 der aus dem Stahl S5 erzeugten Kaltbandproben über die Glühdauer t_2 der zweiten Glühstufe aufgetragen. Auch hier zeigt sich, dass die Kaltbandproben die geforderte Dehnung A80 von mindestens 5 % unabhängig von ihrer jeweiligen Haltetemperatur T_2 und unabhängig von der jeweiligen Glühdauer t_2 erreichen. Dementsprechend kann bei Einhaltung einer kurzen Glühdauer und geeignet niedrigen Haltetemperaturen T_2 auch aus dem Stahl S5 trotz seines vergleichsweise niedrigen C-Gehalts ein erfindungsgemäßes kaltgewalztes Stahlflachprodukt erzeugt werden, bei dem eine hohe Zugfestigkeit R_m mit einer ausreichenden Dehnung A80 kombiniert ist.

[0047] In Fig. 6 ist in einem Ausschnitt eine Vergrößerung eines Querschnitts eines erfindungsgemäßen Kaltbands dargestellt. Dabei sind beispielhaft Restaustenitblöcke RA-b markiert und eine Stelle durch eine Umkreisung hervorgehoben, an der filmartiger Restaustenit RA-f in einer lamellenartigen Schichtung vorliegt.

Tabelle 1

Stahl	C	Mn	Si	Cu	Cr	Ti	Nb	V	Al	N	Sonstige
S1	0,52	1,48	0,40	1,51	0,88	0,009	-	0,093	1,400	-	-
S2	0,301	1,41	1,46	1,47	0,87	0,014	0,005	0,09	0,021	0,0015	Ni: 0,021 Mo: <0,002
S3	0,505	1,50	0,40	0,6	1,30	0,011	-	0,098	0,012	0,002	Ni: 0,63 Mo: 0,30
S4	0,384	1,97	0,41	0,57	1,37	0,0016	-	<0,0005	0,018	0,0014	Ni: 0,59 Mo: 0,30
S5	0,252	1,47	2,15	0,32	0,41	0,020	-	0,11	0,009	-	Ni: 0,02 Mo: <0,002
Angaben in Gew.-%, Rest Eisen und unvermeidbare Verunreinigungen											

Patentansprüche

1. Kaltgewalztes Stahlflachprodukt, mit einer Zugfestigkeit R_m von mindestens 1400 MPa und einer Dehnung A80 von mindestens 5 %, enthaltend neben Eisen und unvermeidbaren Verunreinigungen (in Gew.-%):

C: 0,10 - 0,60 %,

Si: 0,4 - 2,5 %,

Al: bis zu 3,0 %

Mn: 0,4 - 3,0 %,

Ni: bis zu 1,0 %,
Cu: bis zu 2,0 %,
Mo: bis zu 0,4 %,
Cr: bis zu 2 %,
Co: bis zu 1,5 %,
Ti: bis zu 0,2 %,
Nb: bis zu 0,2 %,
V: bis zu 0,5 %,

wobei das Gefüge des Stahlflachprodukts zu mindestens 20 Vol.-% aus Bainit, zu 10 - 35 Vol.-% aus Restaustenit und als Rest aus Martensit besteht.

2. Stahlflachprodukt nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** sein C-Gehalt mindestens 0,25 Gew.-% beträgt.
3. Stahlflachprodukt nach einem der voranstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** sein C-Gehalt mindestens 0,27 Gew.-% beträgt.
4. Stahlflachprodukt nach einem der voranstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** sein Si-Gehalt mindestens 1,0 Gew.-% beträgt.
5. Stahlflachprodukt nach einem der voranstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** sein Al-Gehalt mindestens 0,01 Gew.-% beträgt.
6. Stahlflachprodukt nach einem der voranstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** sein Cu-Gehalt mindestens 0,2 Gew.-% beträgt.
7. Stahlflachprodukt nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** sein Cu-Gehalt mindestens 0,55 Gew.-% beträgt.
8. Stahlflachprodukt nach einem der voranstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** sein Cr-Gehalt mindestens 0,3 Gew.-% beträgt.
9. Stahlflachprodukt nach einem der voranstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** seine Gehalte an Mn, Cr, Ni, Cu und C die folgende Bedingung erfüllen:

$$1 < 0,5\% \text{Mn} + 0,167\% \text{Cr} + 0,125\% \text{Ni} + 0,125\% \text{Cu} + 1,334\% \text{C} < 2$$

mit %Mn: jeweiliger Mn-Gehalt in Gew.-%,
%Cr: jeweiliger Cr-Gehalt in Gew.-%,
%Ni: jeweiliger Ni-Gehalt in Gew.-%,
%Cu: jeweiliger Cu-Gehalt in Gew.-%,
%C: jeweiliger C-Gehalt in Gew.-%.

10. Stahlflachprodukt nach einem der voranstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** sein Gefüge mindestens 50 Vol.-% Bainit enthält.
11. Stahlflachprodukt nach einem der voranstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** sein Gefüge 10 - 25 Vol.-% Restaustenit enthält.
12. Verfahren zum Herstellen eines gemäß einem der Ansprüche 1 bis 11 beschaffenen Stahlflachprodukts umfassend folgende Arbeitsschritte:
 - Bereitstellen eines Vorprodukts in Form einer Bramme, Dünnbramme oder eines gegossenen Bands, das neben Eisen und unvermeidbaren Verunreinigungen (in Gew.-%) C: 0,10 - 0,60 %, Si: 0,4 - 2,5 %, Al: bis zu 3,0 %, Mn: 0,4 - 3,0 %, Ni: bis zu 1,0 %, Cu: bis zu 2,0 %, Mo: bis zu 0,4 %, Cr: bis zu 2 %, Co: bis zu 1,5 %,

EP 2 690 184 A1

Ti: bis zu 0,2 %, Nb: bis zu 0,2 %, V: bis zu 0,5 % enthält;

- Warmwalzen des Vorprodukts zu einem Warmband in einem oder mehreren Walzstichen, wobei das erhaltene Warmband beim Verlassen des letzten Walzstichs eine Warmwalzendtemperatur von mindestens 830 °C aufweist;

- Haspeln des erhaltenen Warmbands bei einer Haspeltemperatur, die zwischen der Warmwalzendtemperatur und 560 °C liegt;

- Kaltwalzen des Warmbands zu einem Kaltband mit einem Kaltwalzgrad von mindestens 30 %;

- Wärmebehandeln des erhaltenen Kaltbands, wobei das Kaltband im Zuge der Wärmebehandlung

- auf eine mindestens 800 °C betragende Glühtemperatur erwärmt wird,

- ausgehend von der Glühtemperatur mit einer mindestens 8 °C/s betragenden Abkühlgeschwindigkeit auf eine Haltetemperatur abgekühlt wird, die in einem Haltetemperaturbereich liegt, dessen Obergrenze 470 °C beträgt und dessen Untergrenze höher ist als die Martensitstarttemperatur MS, ab der Martensit im Gefüge des Kaltbands entsteht, und

- auf der Haltetemperatur über einen Zeitraum gehalten wird, der ausreicht, um im Gefüge des Kaltbands mindestens 20 Vol.-% Bainit zu bilden.

13. Verfahren nach Anspruch 12, **dadurch**

gekennzeichnet, dass die Warmwalzendtemperatur 850 - 950 °C beträgt.

14. Verfahren nach einem der Ansprüche 12 oder 13,

dadurch gekennzeichnet, dass die Haltetemperatur 300 - 420 °C beträgt.

15. Verfahren nach einem der Ansprüche 12 bis 14,

dadurch gekennzeichnet, dass das Kaltband nach der Wärmebehandlung mit einer metallischen Schutzschicht belegt wird.

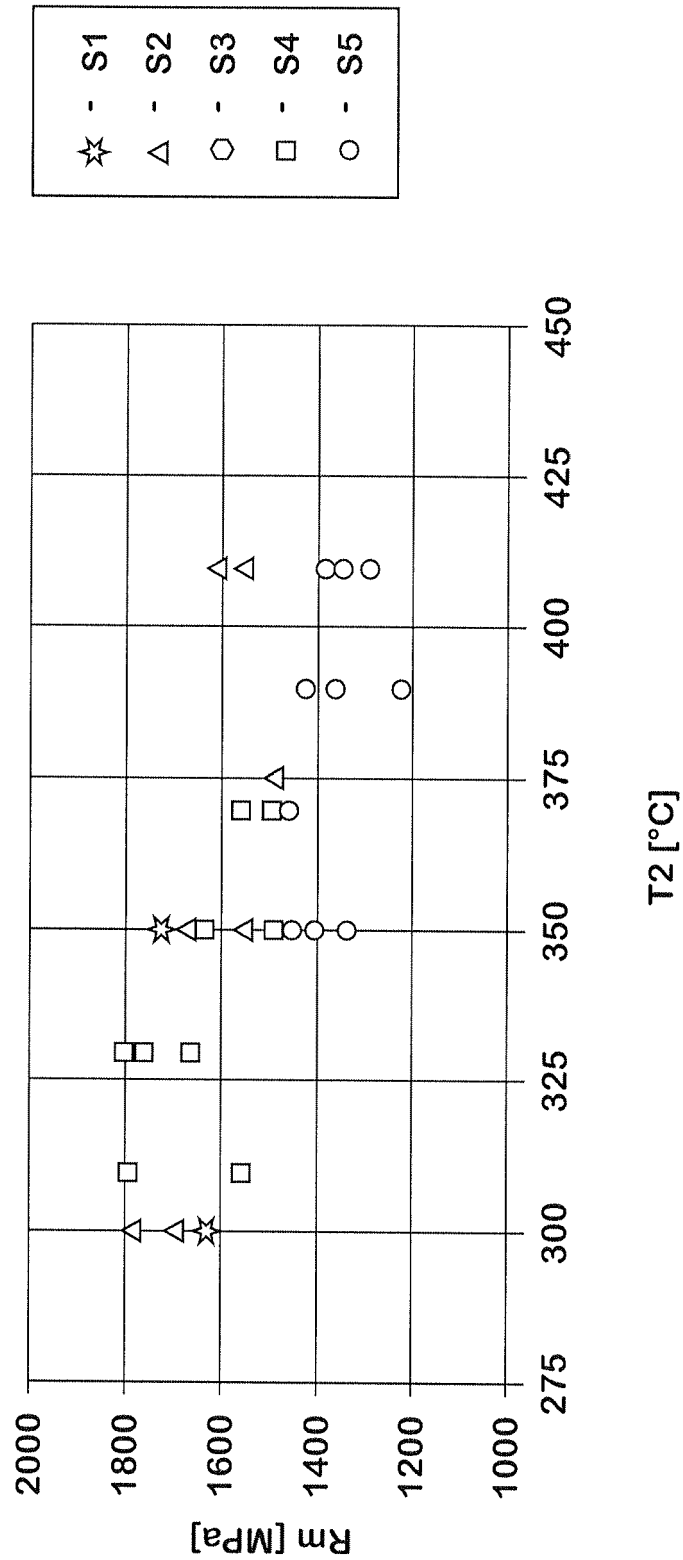


Fig. 1

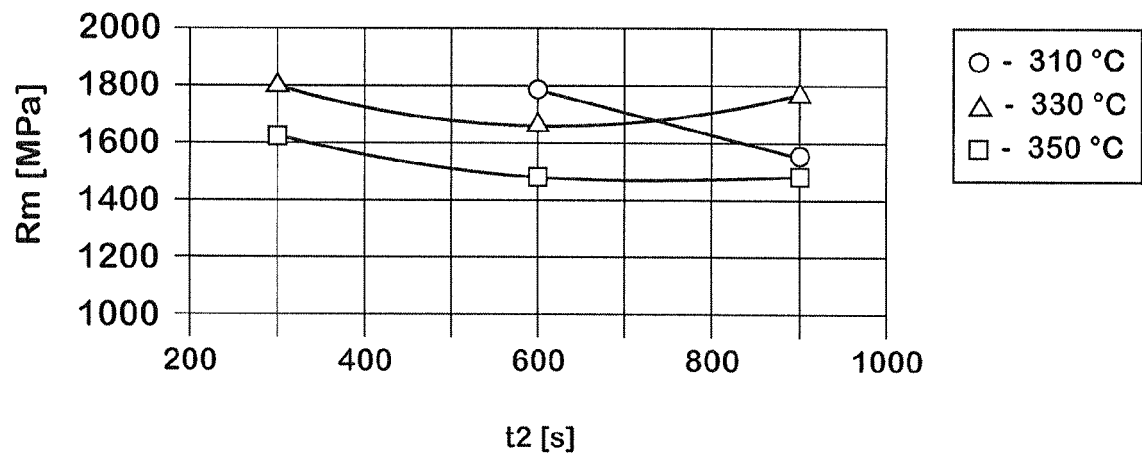


Fig. 2

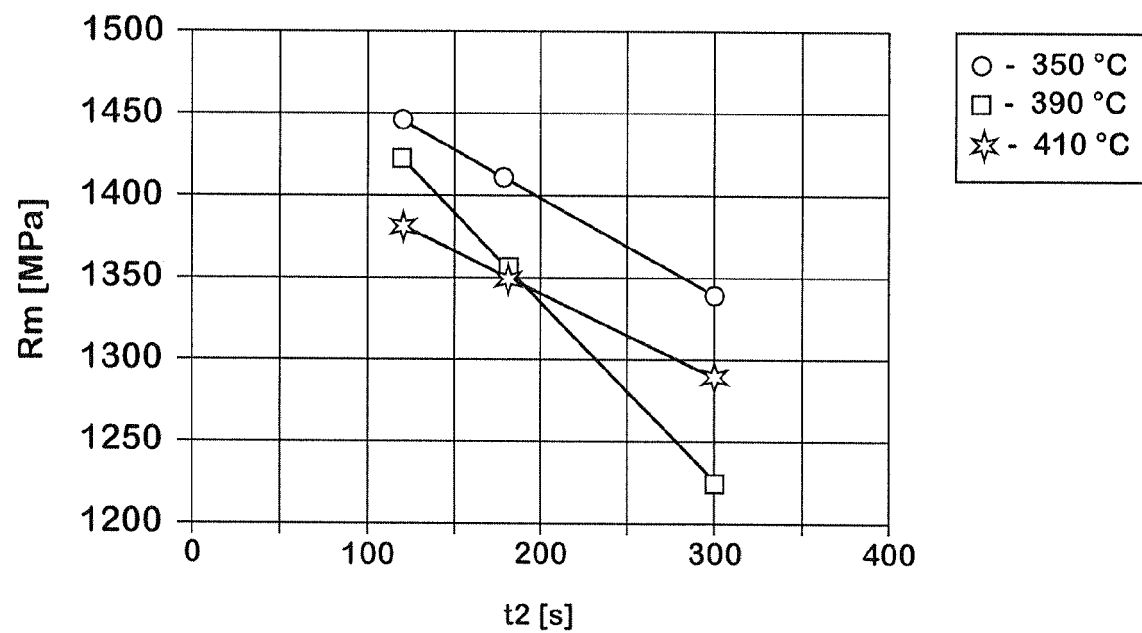


Fig. 3

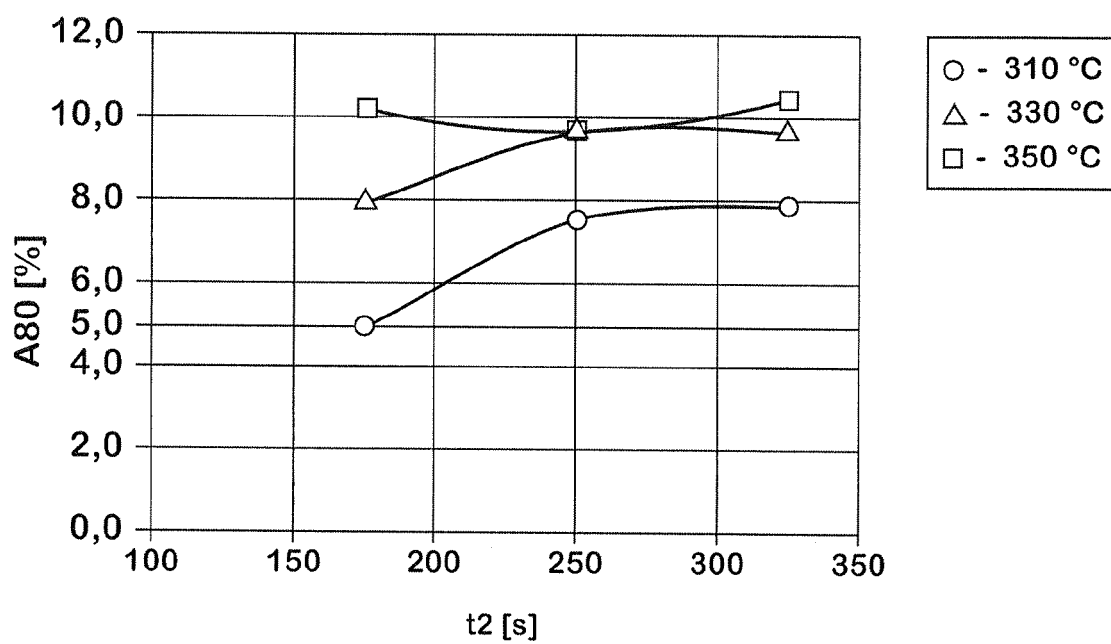


Fig. 4

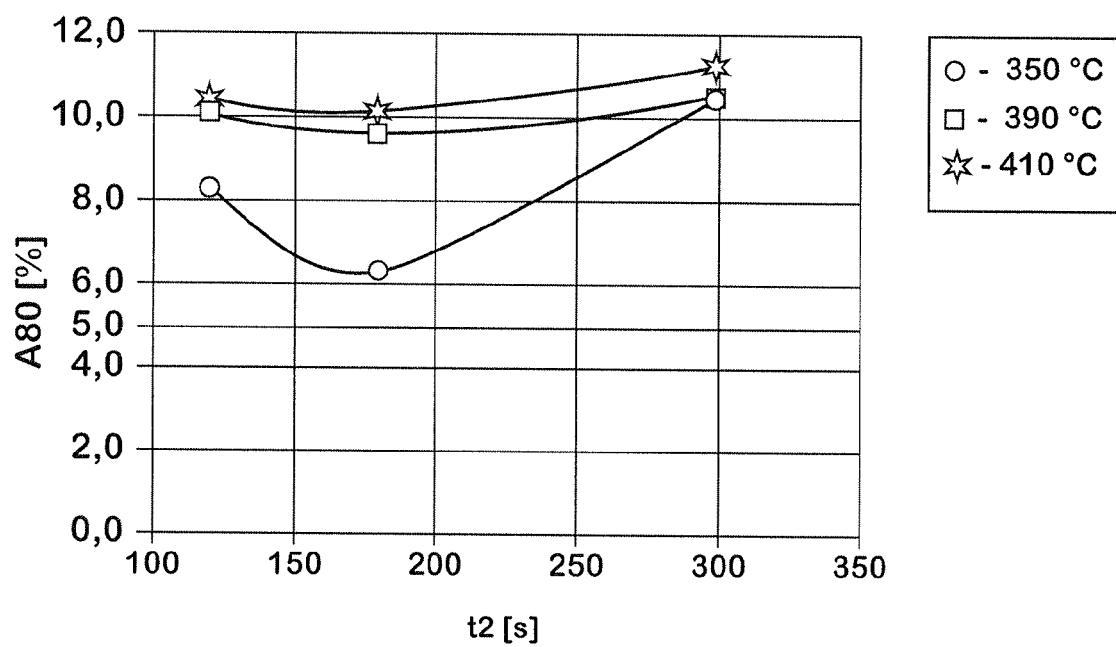


Fig. 5

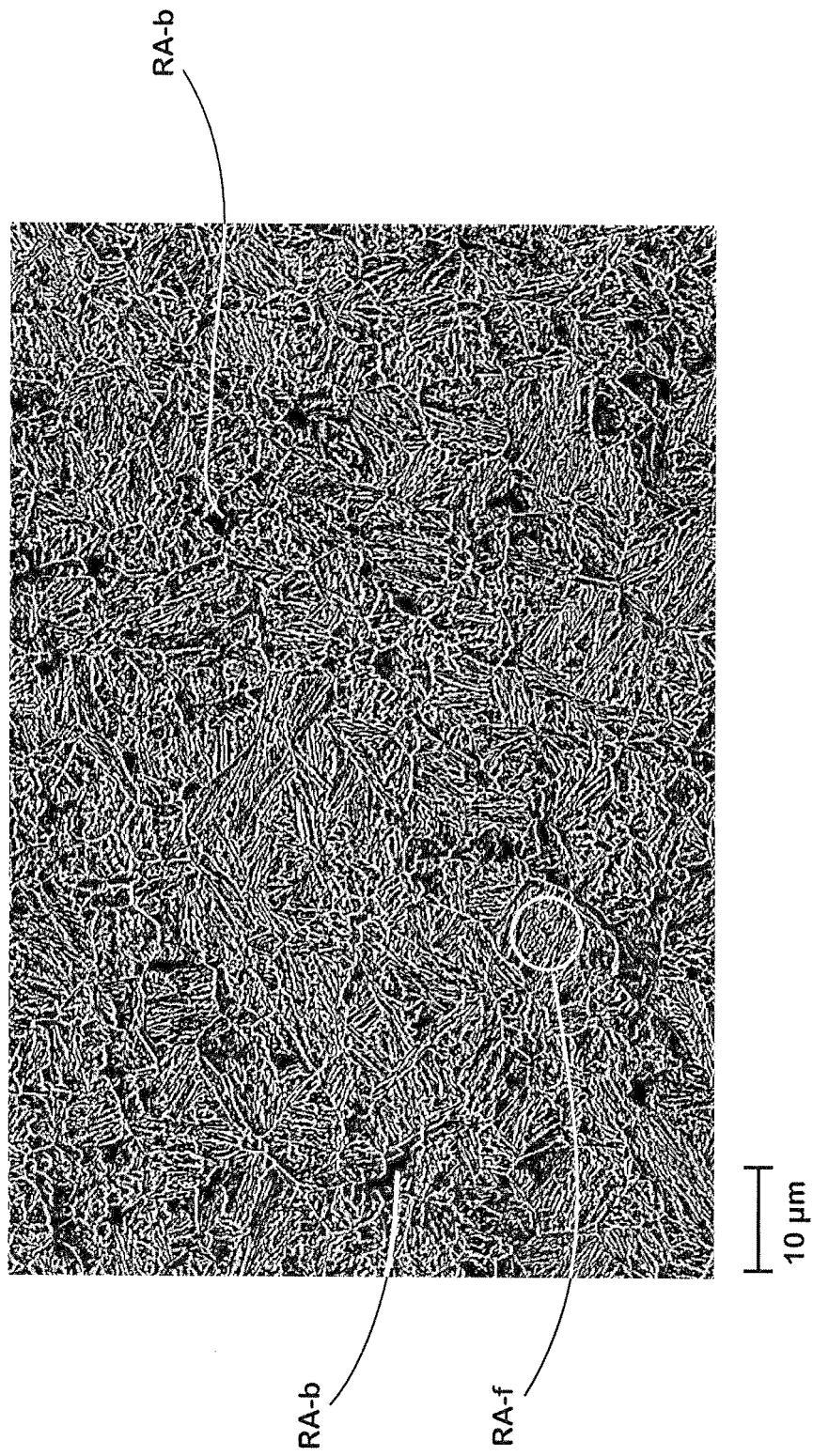


Fig. 6



EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

 Nummer der Anmeldung
EP 12 17 8332

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
X	WO 2011/111330 A1 (JFE STEEL CORP [JP]; MATSUDA HIROSHI [JP]; FUNAKAWA YOSHIMASA [JP]; TA) 15. September 2011 (2011-09-15) * Absatz [0024] - Absatz [0079] * * Ansprüche 1-11 * * Tabellen 1-3.2 *	1-15	INV. C21D6/00 C21D8/02 C21D9/46 C22C38/00 C22C38/02 C22C38/04 C22C38/06 C22C38/20 C22C38/24 C22C38/28 C22C38/34 C22C38/38
X	EP 2 327 810 A1 (JFE STEEL CORP [JP]) 1. Juni 2011 (2011-06-01) * Ansprüche 1-9 * * Absatz [0027] - Absatz [0074] * * Tabellen 1-3 *	1-15	
X	EP 2 325 346 A1 (JFE STEEL CORP [JP]) 25. Mai 2011 (2011-05-25) * Ansprüche 1-11 * * Tabellen 1-6 * * Absatz [0030] - Absatz [0091] *	1-15	
X	WO 2011/111333 A1 (JFE STEEL CORP [JP]; MATSUDA HIROSHI [JP]; FUNAKAWA YOSHIMASA [JP]; TA) 15. September 2011 (2011-09-15) * Ansprüche 1-7 * * Absatz [0020] - Absatz [0066] *	1-15	RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC) C21D C22C
X A	US 2010/307644 A1 (GIL OTIN JAVIER [ES] ET AL) 9. Dezember 2010 (2010-12-09) * Ansprüche 1-21 * * Absatz [0037] - Absatz [0108] * * Tabellen 1-3 *	1,2,4,5,8-15 3,6,7	
A	EP 2 267 176 A1 (JFE STEEL CORP [JP]) 29. Dezember 2010 (2010-12-29) * Ansprüche 1-8 * * Tabellen 1-5 * * Absatz [0015] - Absatz [0049] *	1-15	
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort Den Haag		Abschlußdatum der Recherche 12. April 2013	Prüfer Vlassi, Eleni
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 Patentedokument, 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 03.02 (P04C03)



EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

 Nummer der Anmeldung
EP 12 17 8332

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE				
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)	
A	EP 2 105 514 A1 (KOBE STEEL LTD [JP]) 30. September 2009 (2009-09-30) * Ansprüche 1-11 * * Absatz [0029] - Absatz [0101] * * Tabellen 1-4 * -----	1-15		
A	EP 2 246 456 A1 (JFE STEEL CORP [JP]) 3. November 2010 (2010-11-03) * Ansprüche 1-10 * * Tabellen 1-5 * * Absatz [0020] - Absatz [0093] * -----	1-15		
A	EP 2 436 794 A1 (KOBE STEEL LTD [JP]; VOESTALPINE STAHL GMBH [AT]) 4. April 2012 (2012-04-04) * Ansprüche 1-8 * * Tabellen 1-6 * * Absatz [0016] - Absatz [0101] * -----	1-15		
A	EP 1 975 266 A1 (KOBE STEEL LTD [JP]; SHINSHU TLO CO LTD [JP] KOBE STEEL LTD [JP]) 1. Oktober 2008 (2008-10-01) * Ansprüche 1-18 * * Tabellen 1-12 * * Absatz [0020] - Absatz [0183] * -----	1-15		RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)
A	EP 1 553 202 A1 (KOBE STEEL LTD [JP]; SHINSHU TLO CO LTD [JP]) 13. Juli 2005 (2005-07-13) * Ansprüche 1-10 * * Tabellen 1-6 * * Absatz [0015] - Absatz [0103] * -----	1-15		
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt				
Recherchenort Den Haag		Abschlußdatum der Recherche 12. April 2013	Prüfer Vlassi, Eleni	
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 12 17 8332

In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patentedokumente 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.

12-04-2013

Im Recherchenbericht angeführtes Patentedokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
WO 2011111330 A1	15-09-2011	CN 102884218 A	16-01-2013
		EP 2546382 A1	16-01-2013
		JP 2011184756 A	22-09-2011
		KR 20120113806 A	15-10-2012
		US 2013087253 A1	11-04-2013
		WO 2011111330 A1	15-09-2011
EP 2327810 A1	01-06-2011	CA 2734978 A1	18-03-2010
		CN 102149841 A	10-08-2011
		EP 2327810 A1	01-06-2011
		JP 2010065273 A	25-03-2010
		KR 20110042369 A	26-04-2011
		TW 201020329 A	01-06-2010
		US 2011162762 A1	07-07-2011
		WO 2010030021 A1	18-03-2010
EP 2325346 A1	25-05-2011	CA 2734976 A1	18-03-2010
		CN 102149840 A	10-08-2011
		EP 2325346 A1	25-05-2011
		JP 2010090475 A	22-04-2010
		KR 20110039395 A	15-04-2011
		TW 201016862 A	01-05-2010
		US 2011146852 A1	23-06-2011
		WO 2010029983 A1	18-03-2010
WO 2011111333 A1	15-09-2011	CN 102906291 A	30-01-2013
		EP 2546375 A1	16-01-2013
		JP 2011184758 A	22-09-2011
		KR 20120121406 A	05-11-2012
		KR 20120121407 A	05-11-2012
		US 2013048161 A1	28-02-2013
		WO 2011111333 A1	15-09-2011
US 2010307644 A1	09-12-2010	AR 066508 A1	26-08-2009
		CA 2686940 A1	04-12-2008
		CN 101765668 A	30-06-2010
		EP 1990431 A1	12-11-2008
		EP 2155915 A2	24-02-2010
		JP 2010526935 A	05-08-2010
		KR 20100016438 A	12-02-2010
		MA 31555 B1	02-08-2010
		RU 2009145940 A	20-06-2011
		US 2010307644 A1	09-12-2010
		WO 2008145871 A2	04-12-2008
		ZA 200907430 A	28-07-2010

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 1466024 B1 [0005]
- DE 60315129 T2 [0005]
- US 7591977 B2 [0006]

In der Beschreibung aufgeführte Nicht-Patentliteratur

- **VON H. BHADESHIA.** Thermodynamic Extrapolation and Martensite-Start-Temperature of Substitutionally Alloyed Steels. *Metal Science*, 1981, vol. 15, 178-180 [0016]