

(19)



(11)

EP 3 019 292 B1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:
27.02.2019 Patentblatt 2019/09

(51) Int Cl.:
B22D 11/06 ^(2006.01) **B22D 11/12** ^(2006.01)
B21B 1/46 ^(2006.01) **C22C 38/02** ^(2006.01)
C22C 38/04 ^(2006.01) **C22F 1/00** ^(2006.01)

(21) Anmeldenummer: **13741744.0**

(86) Internationale Anmeldenummer:
PCT/EP2013/065656

(22) Anmeldetag: **24.07.2013**

(87) Internationale Veröffentlichungsnummer:
WO 2015/003755 (15.01.2015 Gazette 2015/02)

(54) **VERFAHREN ZUR ERZEUGUNG EINES FLACHPRODUKTES AUS EINER EISENBASIERTEN FORMGEDÄCHTNISLEGIERUNG**

METHOD FOR PRODUCING A FLAT PRODUCT FROM AN IRON-BASED SHAPE MEMORY ALLOY

PROCÉDÉ DE FABRICATION D'UN PRODUIT PLAT À PARTIR D'UN ALLIAGE A MEMOIRE DE FORME À BASE DE FER

(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

- **HÖCKLING, Christian**
45478 Mülheim a.d.R. (DE)
- **PATBERG, Lothar**
47445 Moers (DE)
- **BECKER, Jens-Ulrik**
47058 Duisburg (DE)

(30) Priorität: **10.07.2013 EP 13175870**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
18.05.2016 Patentblatt 2016/20

(74) Vertreter: **thyssenkrupp Intellectual Property GmbH**
ThyssenKrupp Allee 1
45143 Essen (DE)

(73) Patentinhaber: **ThyssenKrupp Steel Europe AG**
47166 Duisburg (DE)

(72) Erfinder:
• **FECHTE-HEINEN, Rainer**
46238 Bottrop (DE)

(56) Entgegenhaltungen:
JP-A- H02 182 354 JP-A- S62 112 751
JP-A- 2005 146 320 US-A- 5 901 777

EP 3 019 292 B1

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents im Europäischen Patentblatt kann jedermann nach Maßgabe der Ausführungsordnung beim Europäischen Patentamt gegen dieses Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Erzeugung eines Flachprodukts aus einer eisenbasierten Formgedächtnislegierung, bei welchem eine Schmelze, die zumindest als Hauptbestandteil Eisen, Legierungselemente und unvermeidbare Verunreinigungen enthält, in einer Gießeinrichtung zu einem gegossenen Band vergossen und dabei abgekühlt wird.

[0002] Aus dem Stand der Technik, beispielsweise aus der JP 62 112 751 A ist es bekannt, dass sich Folien oder Drähte durch Bandgussverfahren erzeugen lassen. Beim Bandgießen wird die Schmelze in einer Gießeinrichtung vergossen, bei der der Gießbereich bzw. der Stauungsbereich, in dem das gegossene Band geformt wird, an mindestens einer Längsseite durch eine während des Gießvorgangs kontinuierlich fortbewegte und gekühlte Wand begrenzt ist.

[0003] Ein Beispiel für ein solches endabmessungsnahes kontinuierliches Gießverfahren bzw. eine Gießeinrichtung zur Erzeugung beispielsweise eines Stahlflachprodukts ist die sog. "Zwei-Rollen-Gießeinrichtung" oder auch "Twin-Roll-Caster". Bei einem Twin-Roll-Caster rotieren im Gießbetrieb zwei achsparallel zueinander ausgerichtete Gießwalzen bzw. Gießrollen gegenläufig und begrenzen im Bereich ihres engsten Abstands einen den Gießbereich definierenden Gießspalt. Die Gießrollen sind dabei stark gekühlt, so dass die auf sie treffende Schmelze zu jeweils einer Schale erstarrt. Die Drehrichtung der Gießrollen ist so gewählt, dass die Schmelze und mit ihr die aus ihr auf den Gießrollen gebildeten Schalen in den Gießspalt transportiert werden. Die in den Gießspalt gelangenden Schalen werden unter Wirkung einer ausreichenden Bandformungskraft zu dem gegossenen Band zusammengedrückt, wodurch eine zumindest annähernde Durcherstarrung erfolgt.

[0004] Ein anderes Prinzip verwenden die sogenannten "Belt-Caster". Bei einer entsprechenden Gießeinrichtung wird flüssiger Stahl über ein Zuführsystem auf ein umlaufendes Gießband gegossen, worauf der Stahl erstarrt. Die Laufrichtung des Bandes ist dabei so gewählt, dass die Schmelze vom Zuführungssystem weg befördert wird. Oberhalb des unteren Gießbands kann ein weiteres Gießband angeordnet sein, das gegenläufig zum ersten Gießband umläuft. Unabhängig davon, ob ein oder zwei Gießbänder vorgesehen sind, begrenzt auch bei den voranstehend genannten Verfahren mindestens ein Gießband den Bereich, in dem das gegossene Band gebildet wird. Das jeweilige Gießband wird intensiv gekühlt, so dass die mit dem betreffenden Gießband in Kontakt kommende Schmelze darauf zu einem Band erstarrt, das von dem Gießband abgenommen werden kann.

[0005] Das aus der jeweiligen Gießeinrichtung austretende gegossene Band wird abgezogen, gekühlt und kann einer Weiterverarbeitung zugeleitet werden. Diese Weiterverarbeitung kann eine Wärmebehandlung und/oder ein Warmwalzen umfassen. Ein Vorteil des Bandgießens liegt darin, dass die auf das Bandgießen

folgenden Arbeitsschritte in einer kontinuierlichen, unterbrechnungsfreien Abfolge absolviert werden können.

[0006] In der bereits erwähnten japanischen Offenlegungsschrift JP 62 112 751 A ist eine eisenbasierte Formgedächtnislegierung bekannt, welche neben Eisen insbesondere Elemente aus der Gruppe "Mn, Si" aufweist und in der neben diesen Elementen zusätzliche Gehalte an Cr, Ni, Co, Mo, C, Al, Ca und seltene Erden vorhanden sein können. Aus derart zusammengesetzten Legierungen sollen sich durch Bandgießen gegossene Folien erzeugen lassen, die temperatur- und auch korrosionsbeständig sind.

[0007] Vor diesem Hintergrund liegt der vorliegenden Erfindung die Aufgabe zugrunde, kostengünstige Verfahren zur Herstellung von Flachprodukten aus einer eisenbasierten Formgedächtnislegierung vorzuschlagen, die biegesteif und auf Druck und Torsion belastbar sind. Darüber hinaus soll ein Flachprodukt erzeugt werden, welches sich auf praxisgerechte Weise kostengünstig herstellen lässt. Als Flachprodukt wird ein gegossenes und/oder gewalztes Band oder Blech sowie daraus gewonnene Platinen, Zuschnitte oder dergleichen verstanden.

[0008] Gemäß einer ersten Lehre des erfindungsgemäßen Verfahrens wird die Schmelze in einer Gießeinrichtung zu einem Band gegossen und gekühlt, so dass ein kontinuierlicher Gießbetrieb gewährleistet werden kann, wobei die Dicke des Bandes größer 1 mm und kleiner 30 mm beträgt, deren Gießbereich mindestens an einer seiner Längsseiten durch eine sich während des Gießbetriebes in Gießrichtung bewegende und gekühlte Wand begrenzt wird.

[0009] Erfindungsgemäß wird die Schmelze in Kontakt mit der sich bewegenden Wand oder Gießband mit einer Abkühlrate von insbesondere mindestens 20 K/s, vorzugsweise 50 K/s, besonders bevorzugt mindestens 100 K/s gekühlt. Durch die hohe Erstarrungsgeschwindigkeit können Seigerungsvorgänge, die sich nachteilig auf die Werkstoffeigenschaften auswirken, verringert werden. Die Abkühlrate ist so gewählt, dass am Ende des Gießprozesses ein erstarrtes Flachprodukt erzeugt wird, beispielsweise ein eisenbasiertes Band aus einer Formgedächtnislegierung.

[0010] Um ein Flachprodukt aus einer eisenbasierten Formgedächtnislegierung mit Verfestigungen durch interkristalline Atome (Gruppe 1) der durch Misch-Kristallverfestigung (Gruppe 2) oder mit einem Gefüge aus Austenit, ϵ -Martensit und feinen Ausscheidungen in Form von Karbiden, Boriden, Nitriden und/oder deren Mischform bereit zu stellen (Gruppe 1 + Gruppe 2), enthält erfindungsgemäß die Schmelze neben Eisen und herstellungsbedingten Verunreinigungen Mangan mit 12 Gew.-% bis 45 Gew.-% und Silizium mit 1 Gew.-% bis 12 Gew.-% und mindestens ein weiteres Element einer Gruppe 1, wobei die Gruppe 1 die Elemente N, B, C umfasst und für die Legierungsanteile der Gruppe 1 in Gew.-% gilt:

$$\sum N, C, 10 \cdot B \geq 0,005\%,$$

und/oder mindestens ein weiteres Element einer Gruppe 2 enthält, wobei die Gruppe 2 die Elemente Ti, Nb, W, V, Zr umfasst und für die Legierungsanteile der Gruppe 2 in Gew.-% gilt:

$$\sum Ti, Nb, W, V, Zr \geq 0,01\%,$$

bevorzugt

$$\sum Ti, Nb, W, V, Zr \geq 0,1\%$$

[0011] und optional mindestens eine oder mehrere der folgenden Anteile an Legierungsbestandteilen vorhanden sein können:

Cu ≤ 20 Gew.-%,

Cr ≤ 20 Gew.-%,

Al ≤ 20 Gew.-%,

Mg ≤ 20 Gew.-%,

Ni ≤ 20 Gew.-%,

O ≤ 0,5 Gew.-%,

Co ≤ 20 Gew.-%,

Mo ≤ 20 Gew.-%,

Ca ≤ 0,5 Gew.-%,

P ≤ 0,5 Gew.-%, und/oder

S ≤ 0,5 Gew.-%.

[0012] Erfindungsgemäß ist vorgesehen, dass das aus dem Gießspalt der Gießeinrichtung austretende oder das auf dem Gießband erstarrte und optional im Anschluss daran zusätzlich warmgewalzte, optional kaltgewalzte Band abschließend mindestens auf die Martensit-Finish (M_F)-Temperatur der jeweiligen Legierung erwärmt wird. Das so erzeugte Flachprodukt ermöglicht das Einprägen einer Bauteilgestalt durch entsprechende Beaufschlagung des Flachproduktes mit einer Last, wobei während des Lastbeaufschlagens die Temperatur auf mindestens Austenit-Finistemperatur (A_F) erhöht wird und für mindestens 20 Sekunden die Last und die Temperatur > A_F auf das Flachprodukt einwirkt. Der Formgedächtniseffekt ist somit in dem erfindungsgemäßen Flachprodukt auf die gewünschte Bauteilgestalt einge-

stellt.

[0013] Die Banddicken, mit denen das erfindungsgemäße gegossene und abgekühlte Band den Gießspalt verlässt oder auf das Gießband gegossen wird und erstarrt, betragen zwischen mehr als 1 mm und 30 mm, insbesondere zwischen 1,5 mm und 20 mm, weiter bevorzugt zwischen 2 mm und 10 mm.

[0014] Mit dem erfindungsgemäßen Verfahren lassen sich eisenbasierte Formgedächtnislegierungen auf Basis von Fe-Mn-Si(-Cr(-Ni))-Systemen mittels einer Bandgießrichtung als Flachprodukt gießen. Aufgrund ihrer Verwendung vorzugsweise für Schaltzwecke insbesondere in Hochtemperaturbereichen ist es erforderlich, ein Material zur Verfügung zu stellen, das den jeweiligen Anforderungen gerecht wird. Abhängig von dem Einsatz wird ein Material verwendet, das eine Mindestdicke von >1 mm aufweist, um die erforderlichen späteren Bauteileigenschaften, wie z.B. Widerstandsfähigkeit gegen Knicken und/oder Wirksamkeit bei Biegebeanspruchung gewährleisten zu können.

[0015] Gemäß einer weiteren Ausgestaltung des Verfahrens wird als Gießeinrichtung ein Twin-Roll-Caster oder ein Belt-Caster verwendet. Es hat sich herausgestellt, dass die erfindungsgemäße Schmelze sich bevorzugt über die genannten Bandgießeinrichtungen herstellen lässt. Das Bandgießen eignet sich hervorragend für eisenbasierte Formgedächtnislegierungen, da gegenüber dem konventionellen Gießen, insbesondere Stranggießen kein Gießpulver verwendet werden muss, so dass verhindert werden kann, dass, wenn insbesondere hoch reaktive Legierungsbestandteile, wie beispielsweise Mn, Si, Cr und/oder Al in hohen Gehalten vorhanden sind, Probleme beim Gießen auftreten. Ferner ist das Bandgießen von Vorteil, insbesondere wenn beispielsweise hohe Legierungsgehalte an stark seigernden Elementen, wie z.B. Mn, Si, Cr und/oder Ni vorhanden sind. Eine Seigerung kann durch eine schnelle Erstarrung im Wesentlichen unterdrückt werden. Ferner weisen eisenbasierte Formgedächtnislegierungen eine niedrige Hochtemperaturduktilität auf, so dass die Biegung beim Gießen nur für geringen Dicken möglich ist bzw. abhängig von der Gießeinrichtung nicht unbedingt erforderlich ist. Charakteristisch ist ferner, dass eisenbasierte Formgedächtnislegierungen einen hohen Warmumformwiderstand haben und dennoch im Wesentlichen endabmessungsnah dünngegossen werden. Die Einrichtungen können zur energieeffizienten Herstellung des Flachproduktes mit Formgedächtniseigenschaften eingesetzt werden. Wie schon ausgeführt, bilden bei einem Twin-Roll-Caster die achsparallel angeordneten Rollen jeweils eine sich im Gießbetrieb in Gießrichtung kontinuierlich fortbewegende, gekühlte Begrenzung des Gießbereichs, mit welchen zumindest zwei Längsseiten des Bandes geformt werden. Damit kann eine ausreichend hohe Kapazität mit einer einzigen Gießeinrichtung bereit gestellt werden, da die Austrittsgeschwindigkeiten des gegossenen Bandes relativ hoch sind.

[0016] Bei dem Belt-Caster übernimmt diese Funktion

ein horizontal bewegtes Gießband, auf welches die Schmelze zur Herstellung des Bandes gegossen wird. Der Vorteil der Verwendung dieser Bandgießeinrichtungen liegt darin, dass andere Verfahrensschritte, wie beispielsweise ein Warmwalzen, sich unmittelbar anschließen können und insbesondere der Walzaufwand wegen der geringen Gießdicken niedrig ist und aufgrund des kompakten Charakters der entsprechenden Gießeinrichtungen eine Prozessführung mit dem werkstoffseitig geforderten Parametern, vor allem bezüglich der Temperatur, besonders vorteilhaft möglich ist. Da die Schmelze im Belt-Caster in der Horizontalen gegossen und abgekühlt wird, erfährt das erstarrte Band keine Umlenkung und im Ergebnis sind im Band selbst nur geringe Spannungen vorhanden, so dass insbesondere die Rissentstehungsgefahr im Hochtemperaturbereich des erzeugten Flachprodukts minimiert wird.

[0017] Wird während des Gießens beim Twin-Roll-Caster ein legierungsabhängiger Rollendruck, ausgedrückt durch die sog. RSF (Roll separating force) oder Bandformungskraft (BFK) eingestellt, kann gewährleistet werden, dass mit hoher Prozesssicherheit das Band nach dem Austritt aus dem Gießbereich im Wesentlichen völlig durcherstarrt ist. Der spezifische Rollendruck kann empirisch ermittelt werden und gewährleistet einen sicheren Bandgießprozess.

[0018] Durchläuft das Band vor dem Warmwalzen eine Aufwärmvorrichtung, kann ein evtl. beim Austritt des Bandes aus der Gießeinrichtung auftretender Wärmeverlust wieder ausgeglichen werden und die spezifische Warmwalztemperatur prozesssicher erreicht werden.

[0019] Die Bandgeschwindigkeiten, mit denen das gegossene Band aus dem Gießspalt austritt liegen in der Praxis typischerweise im Bereich von 0,06 bis 3,0 m/s.

[0020] Ein besonders effektives und wirtschaftliches Herstellverfahren kann dadurch bereitgestellt werden, dass das aus dem Gießbereich austretende, gegossene Band mindestens einem Walzgerüst kontinuierlich zugeführt wird. Die Gießeinrichtung kann somit unmittelbar mindestens ein Walzgerüst mit einem gegossenen Band zum Auswalzen versorgen, so dass kein Handling der gegossenen Bänder zwischen Gießen und Walzen erfolgen muss. Alternativ kann das gegossene Band entsprechend auch abgekühlt und zu einem späteren Zeitpunkt ggf. wieder erwärmt und gewalzt werden. Schließlich wird das Warmband optional kaltgewalzt, wobei das Kaltwalzen in mindestens einem Walzstich erfolgt.

[0021] Um einer Versprödung während der folgenden Fertigungs- und Verarbeitungsschritte entgegenzuwirken, kann erfindungsgemäß eine Glühbehandlung in warm- und/oder kaltgewalztem Zustand bei einer Temperatur oberhalb der Schalttemperatur für einen Zeitraum von 20 Sekunden bis 48 Stunden durchgeführt werden.

[0022] Nach dem Gießen des Bandes kann das gegossene Band einem Warmwalzen unterzogen werden, bei dem die Warmwalzanfangstemperatur zwischen

500°C und $T_{\text{Solidus}} - 50^\circ\text{C}$ betragen sollte. Durch die inline auf den Gieß- und Abkühlvorgang folgenden Warmwalzschriffe kann einerseits die gewünschte Enddicke des Bandes und andererseits die Oberflächenbeschaffenheit eingestellt sowie die Mikrostruktur optimiert werden, indem beispielsweise in gegossenem Zustand noch vorhandene Kavitäten geschlossen werden. Das Warmband kann auch einem Kaltwalzen unterzogen werden und somit in seiner Dicke weiter reduziert werden.

[0023] Es hat sich herausgestellt, dass durch endabmessungsnahe Gießverfahren Flachprodukte aus einer eisenbasierten Formgedächtnislegierung erzeugt werden können, die je nach Legierungsbestandteile Verfestigungen durch interkristalline Atome (Gruppe 1) oder durch Misch-Kristallverfestigung (Gruppe 2) oder ein Gefüge aus Austenit, ϵ -Martensit und optional feinen Ausscheidungen (Gruppe 1 + Gruppe 2) besitzen. Dabei sind die erfindungsgemäß jeweils verarbeiteten Legierungen so zusammengesetzt, dass sich der gewünschte Gefügestand sicher einstellt. Es hat sich herausgestellt, dass Flachprodukte aus eisenbasierten Formgedächtnislegierungen auch über eine Gießeinrichtung zu einem gegossenen Band vergossen werden können, so dass ein endabmessungsnahe Stahlflachprodukt hergestellt werden kann. Bei dem angewandten Bandgussverfahren wird ein Band erzeugt, welches beispielsweise aufgrund der Gehalte der Legierungsbestandteile gemäß der Gruppe 1 N, C, B in Verbindung mit den Elementen der Gruppe 2 Ti, Nb, W, V, Zr Ausscheidungspaare in Form von Karbiden, Nitriden, Boriden oder deren Mischform enthält, welche in Verbindung mit dem Eisen-, Mangan- und Siliziumgehalt der Legierung die gewünschte Gefügekombination zur Erzielung eines Formgedächtniseffektes bereitstellt. Als möglicher Bestandteil enthält die Legierung wenigstens eines der Elemente Bor, Stickstoff und/oder Kohlenstoff und wenigstens eines der Elemente Titan, Niob, Wolfram, Vanadium oder Zirkonium sowie als Rest Eisen, Mangan, Silizium und unvermeidliche Verunreinigungen. Die Elemente der Gruppe 1 und 2 erweisen sich als besonders vorteilhaft, weil sie zu den gewünschten Ausscheidungen führen, die an den entsprechenden Stellen als Keimzellen für die erwünschte Phasentransformation dienen. Mit den in den Ansprüchen genannten Gehalten an diesen Elementen ermöglicht das erfindungsgemäße Herstellungsverfahren eine betriebssichere Herstellung eines Flachproduktes mit Formgedächtniseffekt. Mangan in Gehalten von 12 Gew.-% bis 45 Gew.-% fördert in dem erfindungsgemäß erzeugten Stahlflachprodukt eine Stabilisierung des Austenits des Werkstoffs. Um diesen Effekt sicher zu erreichen, kann der Mn-Gehalt zwischen 20 Gew.-% und insbesondere 35 Gew.-% liegen. Si-Gehalte von 1 Gew.-% bis zu 12 Gew.-% dienen der Sicherstellung der Reversibilität der Umwandlung von Martensit in Austenit in den erfindungsgemäßen Flachprodukten. Bevorzugte Si-Gehalte betragen 3 Gew.-% bis 10 Gew.-%. Für die Praxis zweckmäßige Einstellungen der Gehalte an N, B, C bzw. Ti, Nb, W, Zr ergeben sich dann, wenn der C-Gehalt auf

max. 0,5 Gew.-%, insbesondere auf max. 0,2 Gew.-% beschränkt wird. Der B-Gehalt wird zweckmäßigerweise auf max. 0,5 Gew.-%, insbesondere auf max. 0,05 Gew.-% beschränkt. Der N-Gehalt wird zweckmäßigerweise auf 0,5 Gew.-%, insbesondere auf max. 0,2 Gew.-% beschränkt. Bevorzugt wird darüber hinaus der Gehalt an Elementen der Gruppe 2 (Ti, Nb, W, V, Zr) auf max. 2,0 Gew.-%, insbesondere auf max. 1,5 Gew.-% einzeln beschränkt. Dabei kann es günstig sein, jeweils eines oder mehrere der Elemente der Gruppe 1 (N, B, C) in Verbindung mit einem oder mehreren der Elemente der Gruppe 2 (Ti, Nb, W, V, Zr) in den angegebenen enger eingegrenzten Gehalten zuzugeben, während die anderen Elemente der Gruppe 1 (N, B, C) innerhalb der erlaubten maximalen Vorgaben zugegeben werden. Gleiches kann bezüglich der beiden Gruppen auch umgekehrt gelten.

[0024] Auch wenn es als möglich angesehen wird, die Gruppe der Legierungselemente einer eisenbasierten Formgedächtnislegierung neben Fe, Mn, Si und unvermeidbaren Verunreinigungen auf mindestens ein Element der Gruppe 1 und mindestens ein weiteres Element der Gruppe 2 zu beschränken, kann es unter bestimmten Umständen für die Einstellung bestimmter Eigenschaften der erhaltenen Stahlfachprodukte zweckmäßig sein, der Formgedächtnislegierung optional eines oder mehrere der Elemente aus der Gruppe Cu, Cr, Al, Mg, Mo, Co, Ni, O, P, S, Ca zuzugeben. Die hierzu jeweils in Frage kommenden Gehaltsbereiche lauten:

Cu: ≤ 20 Gew.-%, vorzugsweise ≤ 10 Gew.-%,

Cr: ≤ 20 Gew.-%, vorzugsweise ≤ 10 Gew.-%,

Al: ≤ 20 Gew.-%, vorzugsweise ≤ 10 Gew.-%,

Mg: ≤ 20 Gew.-%, vorzugsweise ≤ 10 Gew.-%,

Mo: ≤ 20 Gew.-%, vorzugsweise ≤ 10 Gew.-%,

Co: ≤ 20 Gew.-%, vorzugsweise ≤ 10 Gew.-%,

Ni: ≤ 20 Gew.-%, vorzugsweise ≤ 10 Gew.-%,

O: $\leq 0,5$ Gew.-%,

P: $\leq 0,5$ Gew.-%,

S: $\leq 0,5$ Gew.-%,

Ca: $\leq 0,5$ Gew.-%.

[0025] Durch die Zugabe von Cu, Mo und Co kann einzeln oder in Kombination der Formgedächtniseffekt verbessert werden, wohingegen die Wirkung von Cr, Al und Mg einzeln oder in Kombination hauptsächlich in einer Verbesserung der Korrosionsbeständigkeit liegt. Die einzeln genannten Elemente können bis zu 20 Gew.-%, vorzugsweise bis zu 10 Gew.-% zulegiert werden. Um ne-

gative Einflüsse von S, P und O zu vermeiden, sind diese auf max. 0,5 Gew.-%, bevorzugt max. 0,2 Gew.-%, besonders bevorzugt auf max. 0,1 Gew.-% beschränkt. Ni unterstützt die Stabilisierung des Austenits im Gefüge und verbessert die Umformbarkeit des Materials. Ca kann bei Vorhandensein von S mit maximal 0,5 Gew.-% zulegiert werden, um eine unerwünschte Bindung von Mn in Form von MnS zu unterdrücken. Der Gehalt wird auf max. 0,5 Gew.-%, bevorzugt max. 0,2 Gew.-%, besonders bevorzugt auf max. 0,1 Gew.-% beschränkt.

[0026] Um die positiven Einflüsse der optional zugegebenen Legierungselemente Cr und Ni nutzen zu können, kann die Schmelze jeweils optional mindestens 0,1 Gew.-% Ni und mindestens 0,2 Gew.-% Cr enthalten.

[0027] Gemäß einer weiteren Ausgestaltung weist die Formgedächtnislegierung folgende Legierungsbestandteile in Gewichtsprozent auf:

25,0 Gew.-% $\leq$ Mn $\leq$ 32,0 Gew.-%,
 3,0 Gew.-% $\leq$ Si $\leq$ 10,0 Gew.-%,
 3,0 Gew.-% $\leq$ Cr $\leq$ 10,0 Gew.-%,
 0,1 Gew.-% $\leq$ Ni $\leq$ 6,0 Gew.-%, vorzugsweise 4,0 Gew.-%,
 P $\leq$ 0,1 Gew.-%,
 S 0,1 Gew.-%,
 Mo $\leq$ 0,5 Gew.-%,
 Cu $\leq$ 0,5 Gew.-%,
 Al $\leq$ 5,0 Gew.-%,
 Mg $\leq$ 5,0 Gew.-%,
 O 0,1 Gew.-%,
 Ca $\leq$ 0,1 Gew.-%,
 Co $\leq$ 0,5 Gew.-%,

wobei mindestens ein Element einer Gruppe 1 von Elementen vorhanden ist, die Gruppe 1 aus den Elementen N, C, B mit folgenden Gehalten

N $\leq$ 0,1 Gew.-%,

C $\leq$ 0,1 Gew.-%,

B $\leq$ 0,1 Gew.-%

besteht und für die Summe der Gehalte der Legierungsbestandteile der Gruppe 1 gilt:

$$\sum N, C, B \geq 0,005\%$$

und/oder wobei mindestens ein Element einer Gruppe 2 von Elementen vorhanden ist, die Gruppe 2 aus den Elementen Ti, Nb, W, V, Zr mit folgenden Gehalten

Ti $\leq$ 1,5 Gew.-%,

Nb $\leq$ 1,5 Gew.-%,

W $\leq$ 1,5 Gew.-%,

V $\leq$ 1,5 Gew.-%,

Zr $\leq$ 1,5 Gew.-% besteht und für die Summe der Gehalte der Legierungsbestandteile der Gruppe 2 gilt:

$$\sum Ti, Nb, W, V, Zr \geq 0,01\%$$

bevorzugt

$$\sum \text{Ti, Nb, W, V, Zr} \geq 0,1\%$$

und darauf aufbauend gemäß einer weiteren erfindungsgemäßen Ausgestaltung für das Verhältnis der Summe der Legierungsbestandteile der Gruppe 1 und der Gruppe 2 in Atom-% gilt:

$$0,5 \leq \frac{\sum_{\text{Gruppe 2}}}{\sum_{\text{Gruppe 1}}} \leq 2,0,$$

mit Rest Eisen und unvermeidbaren Verunreinigungen.

[0028] Neben den genannten möglichen Bestandteilen der Formgedächtnislegierung, der Legierungsbestandteile Mn, Si, Cr, Ni sowie eines der Elemente der Gruppe 1 (N, C, B) und/oder eines der Elemente der Gruppe 2 (Ti, Nb, W, V, Zr) kann die Formgedächtnislegierung zusätzlich die Elemente P, S, Mo, Cu, Al, Mg, O, Ca oder Co optional enthalten, welche bis zu den angegebenen Werten vorteilhafte Wirkungen entfalten können. Die den Formgedächtniseffekt beeinflussenden Ausscheidungen, deren Bildung durch das Verhältnis der beiden Elementgruppen, Gruppe 1 und Gruppe 2 zueinander beeinflusst wird, zeigen einen deutlichen, positiven Einfluss auf den Formgedächtniseffekt, sofern die Summe der Bestandteile der Elemente der Gruppe 2 in Atom-% der Legierung im Verhältnis zu der Summe der Legierungsbestandteile der Gruppe 1 in Atom-%, im Bereich von 0,5 bis 2,0 liegt. Hierdurch wird ein gezieltes stöchiometrisches Verhältnis der Legierungselemente der Gruppe 1 und Gruppe 2 eingestellt. Es wurde festgestellt, dass gerade bei diesem Verhältnis der Legierungsbestandteile in Atom-% der Gruppe 2 zu der Gruppe 1 die Ausscheidungsbildung besonders günstig ist und den Formgedächtniseffekt unterstützt. Ist das angegebene Verhältnis beispielsweise kleiner als 0,5, können die Ausscheidungselemente in Form von N, C und/oder B nicht abgebunden werden und der Formgedächtniseffekt wird reduziert, da die Elemente der Gruppe 1 in gelöster Form im Gefüge vorliegen. Im Ergebnis wird zudem ein negativer Effekt auf die Reversibilität der Phasentransformation, d.h. der Rückumwandlung von Martensit in Austenit, beobachtet. Wird das so gebildete Verhältnis der Summen der Legierungsbestandteile größer als 2, stellen sich unerwünschte Verfestigungen aufgrund der Elemente der Gruppe 2 ein, die sich als freie Atome im Gefüge einlagern und damit wiederum den Formgedächtniseffekt behindern.

[0029] Der Mangangehalt von 25 Gew.-% bis 32 Gew.-% dient zur Stabilisierung des Austenits im Gefüge und hat insbesondere Einfluss auf die Schalttemperatur des Formgedächtnismaterials. Unterhalb eines Mn-Gehalts

von 25,0 Gew.-% wird vermehrt Ferrit gebildet, der sich nachteilig auf den Formgedächtniseffekt auswirkt. Erhöht man den Mn-Gehalt oberhalb von 32 Gew.-%, verringert sich die gewünschte Schalttemperatur zu sehr, so dass sich die Schalttemperatur und die möglichen Einsatztemperaturen eines entsprechenden Bauteils zu stark annähern.

[0030] Silizium dient der Sicherstellung der Reversibilität der Phasenumwandlung von Martensit in Austenit. Gehalte unterhalb von 3,0 Gew.-% Si führen zu einer Reduzierung des Formgedächtniseffekts. Oberhalb von 10 Gew.-% kann eine Versprödung des Materials beobachtet werden. Zudem findet bei Si-Gehalten oberhalb von 10 Gew.-% die vermehrte Ausbildung des ungünstigen ferritischen Gefüges statt.

[0031] Um eine ausreichende Korrosionsbeständigkeit sicherzustellen, enthält die Formgedächtnislegierung mindestens 3,0 Gew.-% Cr. Eine Steigerung des Cr-Gehaltes auf oberhalb von 10 Gew.-% begünstigt wiederum die Ferritbildung, welche sich, wie bereits ausgeführt, negativ auf den Formgedächtniseffekt auswirkt.

[0032] Nickel dient nun schließlich zur Stabilisierung des austenitischen Gefüges und verbessert zudem die Umformbarkeit des Materials. Ein Ni-Gehalt von unterhalb von 0,1 Gew.-% hat allerdings keinen signifikanten Einfluss auf die Eigenschaften des Materials. Ni-Gehalte von mehr als 6,0 Gew.-% führen jedoch lediglich in Zusammenhang mit einem erhöhten Cr-Anteil zu geringfügigen Verbesserungen der vorgenannten Eigenschaften, so dass zur Kosteneinsparung der Ni-Gehalt auf maximal 6,0 Gew.-%, vorzugsweise auf maximal 4,0 Gew.-% beschränkt wird.

[0033] Um zu gewährleisten, dass die gewünschten Ausscheidungen erfolgen, ohne sich negativ auf weitere Eigenschaften der Formgedächtnislegierung auszuwirken, ist als Obergrenze für alle Elemente der Gruppe 1, also N, C und B maximal 0,1 Gew.-% vorgesehen. Die Elemente der Gruppe 2 (Ti, Nb, W, V, Zr) können mit einem Mindestgehalt von 0,01 Gew.-% vorhanden sein, wobei dies mindestens für ein Element dieser Gruppe gilt. Mit einem Gewichtsanteil von mindestens 0,01 Gew.-%, vorzugsweise mindestens 0,1 Gew.-% für Ti, Nb, W, V und/oder Zr wird der Formgedächtniseffekt positiv beeinflusst. Insbesondere die Reversibilität der Phasentransformation kann durch einen entsprechenden Gehalt eines der Gruppe 2 Elemente sichergestellt werden. Bevorzugt überschreitet jedes einzelne Element der Gruppe 2 den maximalen Gehalt von 1,5 Gew.-% nicht, besonders bevorzugt liegt der maximale Gehalt jedes einzelnen Elementes bei 1,2 Gew.-% bzw. bei maximal 1,0 Gew.-%, um unerwünschte Verfestigungen entgegen zu wirken.

[0034] Gemäß einer Ausgestaltung der Formgedächtnislegierung beträgt der Cr-Gehalt in Gewichtsprozent $3,0 \text{ Gew.-%} \leq \text{Cr} \leq 10,0 \text{ Gew.-%}$, so dass ein guter Kompromiss zwischen Ferritbildung und Korrosionsbeständigkeit der Formgedächtnislegierung erreicht wird. Die Ferritbildung wirkt gegen den Formgedächtniseffekt, da

Ferrit keine Phasentransformation eingeht und zur vorzeitigen plastischen Verformung neigt.

[0035] Gemäß einer weiteren Ausgestaltung der Formgedächtnislegierung gilt für die Differenz des Cr-Gehalts und des Ni-Gehalts: $0 \text{ Gew.-%} \leq \text{Cr-Ni} \leq 6,0 \text{ Gew.-%}$. Die maximale Differenz der Gehalte von Cr und Ni ist insofern auf 6 Gew.-% beschränkt. Es hat sich gezeigt, dass ein Ansteigen der Differenz des Chrom- und Nickelgehaltes auf über 6 Gew.-% zu keinen nennenswerten Verbesserungen der mechanischen Eigenschaften, sondern vielmehr zur Versprödung des Materials führt. Ein Absinken der Differenz auf unterhalb von 0 Gew.-%, d.h. dass der Nickel-Gehalt größer ist als der Chrom-Gehalt kann sich dagegen negativ auf die Schmelztemperatur auswirken, in dem diese abgesenkt wird und sich der Einsatztemperatur des Werkstoffes annähert.

[0036] Gemäß einer weiteren Ausgestaltung der Formgedächtnislegierung gilt für das Verhältnis in Atom-% der Summe der Legierungsbestandteile der Gruppe 1 und Gruppe 2:

$$0,5 \leq \frac{\sum_{\text{Gruppe 2}}}{\sum_{\text{Gruppe 1}}} \leq 1,5 ,$$

so dass einerseits der Formgedächtniseffekt durch ausreichende Bildung von Ausscheidungen vollständig gewährleistet werden kann und andererseits Verfestigungen aufgrund von freien Atomen der Gruppe 2 im Gefüge deutlich reduziert werden können.

[0037] Eine weitere Ausgestaltung der Formgedächtnislegierung weist N, C und/oder B in folgender Menge in Gewichtsprozent:

$$\begin{aligned} 0,005 \text{ Gew.-%} &\leq \text{N} \leq 0,1 \text{ Gew.-%}, \\ 0,005 \text{ Gew.-%} &\leq \text{C} \leq 0,1 \text{ Gew.-%} \text{ und/oder} \\ 0,0005 \text{ Gew.-%} &\leq \text{B} \leq 0,1 \text{ Gew.-%} \end{aligned}$$

auf. Enthält die Formgedächtnislegierung die Elemente N und/oder C in Gehalten von mindestens 0,005 Gew.-% und/oder B in einem Gehalt von mindestens 0,0005 Gew.-%, kann durch die Mindestgehalte die Bildung der Ausscheidungen verbessert werden. Durch die Obergrenze von 0,1 Gew.-%, vorzugsweise von 0,05 Gew.-%, besonders bevorzugt 0,01 Gew.-% von B, wird gewährleistet, dass die Oxidationsbeständigkeit der Formgedächtnislegierung nicht zu stark herabsinkt.

[0038] Gleichzeitig wird der Gehalt von N und C jeweils auf maximal 0,1 Gew.-%, vorzugsweise maximal 0,07 Gew.-% beschränkt, so dass die Ausscheidungen nicht zu groß werden und diese sich negativ auf mechanischen Eigenschaften der Legierung auswirken können.

[0039] Bei einer weiteren Ausgestaltung der Legierung werden die Legierungsgehalte der Legierungsbestandteile der Elemente der Gruppe 2 beschränkt. Gemäß dieser Ausführungsform betragen die Legierungsbestand-

teile der Elemente der Gruppe 2

$$\text{Ti} \leq 1,2 \text{ Gew.-%},$$

$$\text{Nb} \leq 1,2 \text{ Gew.-%},$$

$$\text{W} \leq 1,2 \text{ Gew.-%},$$

$$5 \quad \text{V} \leq 1,2 \text{ Gew.-%},$$

$$\text{Zr} \leq 1,2 \text{ Gew.-%},$$

wobei bevorzugt die Obergrenze auf 1,0 Gew.-% für jedes einzelne Element der Gruppe 2 herabgesenkt wird. Die Entstehung von Verfestigungen wird hierdurch weiter verringert, so dass die Formgedächtnislegierung ein gutes Umformverhalten aufweist.

[0040] Schließlich sollten gemäß einer weiteren Ausführungsform der Formgedächtnislegierung Schwefel, Phosphor und Sauerstoff auf Gehalte von maximal 0,1 Gew.-%, bevorzugt auf maximal 0,05 Gew.-% und besonders bevorzugt auf maximal 0,03 Gew.-% beschränkt werden, um deren negative Einflüsse, beispielsweise auf die Korrosionsbeständigkeit, zu verringern. Molybdän, Kupfer und Kobalt können einzeln oder in unterschiedlicher Kombination zur Verbesserung des Formgedächtniseffekts zulegiert werden. Ein entsprechender Einfluss ist jeweils auf Gehalte von maximal 0,5 Gew.-% beschränkt. Aluminium und Magnesium können einzeln oder in Kombination zur Verbesserung der Korrosionsbeständigkeit beitragen und bewirken zugleich auch eine Dichtereduzierung der Legierung. Ihr Gehalt ist auf maximal 5 Gew.-%, vorzugsweise auf maximal 2,0 Gew.-%, besonders bevorzugt auf maximal 1,0 Gew.-% beschränkt.

[0041] Gemäß einer weiteren Ausgestaltung kann Kalzium zur Abbindung von vorhandenem Schwefel zulegiert werden, um eine unerwünschte Bindung von Schwefel mit Mangan in Form von MnS zu vermeiden. Um die Korrosionsbeständigkeit nicht zu vermindern und zu große Verunreinigungen durch Ca zu vermeiden, wird der Gehalt von Ca auf maximal 0,015 Gew.-%, vorzugsweise auf maximal 0,01 Gew.-% beschränkt.

[0042] Gemäß einer zweiten Lehre der vorliegenden Erfindung wird die oben aufgezeigte Aufgabe auch durch ein Flachprodukt mit Formgedächtniseffekt bestehend aus einer Legierung, welche neben Eisen und herstellungsbedingten Verunreinigungen Mangan mit 12 Gew.-% bis 24 Gew.-%, Silizium mit einem Gew.-% bis 12 Gew.-% aufweist, gelöst, wobei mindestens ein weiteres Element einer Gruppe 1 enthalten ist, wobei die Gruppe 1 die Elemente (N, B, C) umfasst und für die Legierungsanteile der Gruppe 1 in Gew.-% gilt:

$$50 \quad \sum \text{N, C, B} \geq 0,005\% ,$$

und/oder mindestens ein weiteres Element einer Gruppe 2 enthalten ist, wobei die Gruppe 2 die Elemente (Ti, Nb, W, V, Zr) umfasst und für die Legierungsanteile der Gruppe 2 in Gewichtsprozent gilt:

55

$$\sum \text{Ti, Nb, W, V, Zr} \geq 0,01\%,$$

[0043] und die folgenden Anteile an Legierungsbestandteilen vorhanden sein können:

Cu ≤ 20 Gew.-%,
 Cr ≤ 20 Gew.-%,
 Al ≤ 20 Gew.-%,
 Mg ≤ 20 Gew.-%,
 Ni ≤ 20 Gew.-%,
 O ≤ 0,5 Gew.-%,
 Co ≤ 20 Gew.-%,
 Mo ≤ 20 Gew.-%,
 Ca ≤ 0,5 Gew.-%,
 P ≤ 0,5 Gew.-%,
 S ≤ 0,5 Gew.-%

und das Flachprodukt bandgegossen ist.

[0044] Weitere Ausgestaltungen, insbesondere der Legierungszusammensetzung des Flachproduktes und Fertigungsparameter zur Erzeugung ergeben sich aus der oben genannten Beschreibung des Herstellverfahrens.

[0045] Im Weiteren soll die Erfindung anhand von Ausführungsbeispielen in Verbindung mit der Zeichnung näher erläutert werden. Die Figuren 1 und 2 zeigen schematisch jeweils eine Vorrichtung zur Erzeugung eines Flachproduktes durch Bandgießen in einer schematischen Schnittansicht.

[0046] Die in Tabelle 1 aufgelisteten Ausführungsbeispiele wurden unter Verwendung der in Fig. 1 dargestellten Gießeinrichtung (Twin-Roll-Caster) gegossen und deren Formgedächtniseffekt überprüft. Es zeigte sich, dass die Ausführungsbeispiele im Vergleich zum Stand der Technik eine geringere Neigung zu unerwünschten Verfestigungen zeigten und gleichzeitig einen guten Formgedächtniseffekt bei ausreichend hoher Schalltemperatur. Bei Simulationsversuchen mit identischen Schmelzen zeigte sich, dass die Ausführungsbeispiele auch durch Bandgießen in einem Belt-Caster hergestellt werden können, wie in Fig. 2 dargestellt.

[0047] Die Anlage 1 zum Erzeugen eines gegossenen Bands B umfasst eine Gießeinrichtung 2, die als konventioneller Twin-Roll-Caster aufgebaut ist und dementsprechend zwei gegeneinander um achsparallel zueinander und auf gleicher Höhe ausgerichtete Achsen X1, X2 rotierende Rollen 3,4 umfasst. Die Rollen 3,4 sind mit einem die Dicke D des zu produzierenden gegossenen Bands B festlegenden Abstands angeordnet und begrenzen so an dessen Längsseiten einen als Gießspalt ausgebildeten Gießbereich 5, in dem das gegossene Band B geformt wird. An seinen Schmalseiten ist der Gießbereich 5 in ebenso bekannter Weise durch hier nicht sichtbare Seitenplatten abgedichtet, die gegen die Stirnseiten der Rollen 3,4 gedrückt werden.

[0048] Während des Gießbetriebs rotieren die bei-

spielsweise intensiv gekühlten Rollen 3,4 und bilden auf diese Weise eine Begrenzung der Längsseiten einer durch die Rollen 3,4 und die Seitenplatten gebildeten Gießkokille, die sich im Gießbetrieb kontinuierlich fortbewegen. Die Drehrichtung der Rollen 3,4 ist dabei in Schwerkraftrichtung R in den Gießbereich 5 hinein gerichtet, so dass in Folge der Rotation Schmelze S aus einem im Raum oberhalb des Gießbereichs 5 zwischen den Rollen 3,4 anstehenden Schmelzenpool in den Gießbereich 5 gefördert wird. Dabei erstarrt die Schmelze S, wenn sie die Umfangsfläche der Rollen 3,4 berührt, aufgrund der dort stattfindenden intensiven Wärmeabfuhr zu jeweils einer Schale. Die auf den Rollen 3,4 haftenden Schalen werden durch die Rotation der Rollen 3,4 in den Gießbereich 5 gefördert und dort unter Wirkung einer Bandformungskraft BFK zu dem gegossenen Band B zusammengepresst. Die im Gießbereich 5 wirksame Kühlleistung und die Bandformungskraft BFK sind dabei so aufeinander abgestimmt, dass das kontinuierlich aus dem Gießbereich 5 austretende gegossene Band B weitestgehend vollständig erstarrt ist.

[0049] Das aus dem Gießbereich 5 austretende Band B wird zunächst in Schwerkraftrichtung vertikal abgefördert und anschließend in bekannter Weise in einem kontinuierlich gekrümmten Bogen in eine horizontal ausgerichtete Förderstrecke 6 umgelenkt. Auf der Förderstrecke 6 kann das gegossene Band B anschließend eine Erwärmungseinrichtung 8 durchlaufen, in der das Band B auf mindestens Warmwalzanfangstemperatur erwärmt wird. Das entsprechend aufgewärmte gegossene Band B wird anschließend in mindestens einem Warmwalzgerüst 9 zu Warmband WB gewalzt. Durch eine gezielte Abkühlung 7 nach dem Warmwalzgerüst kann Einfluss auf die Ausbildung des Gefüges genommen werden. Durch Kühlung des Bandes auf ca. 400°C kann eine Vergröberung der Ausscheidungen unterdrückt werden. Im Anschluss kann das Warmband WB gehaspelt und anderweitig zum Abtransport vorbereitet werden.

[0050] Aus den drei in Tabelle 1 angegebenen Stahlschmelzen Z1, Z2 und Z3 wurde jeweils ein Band B mit der in Fig. 1 dargestellten Gießeinrichtung gegossen. Es zeigte sich, dass das gegossene Band B hinter der Kühlbehandlung ein Gefüge aus Austenit, ε-Martensit und fein verteilten Ausscheidungen in Form NbC, NbN, VC, VN, TiN, TiC und/oder deren Mischformen aufwies, so dass ein gute Formgedächtniseigenschaften ermittelt werden konnten.

[0051] Die beschriebene Wärmebehandlung mittels der Erwärmungseinrichtung 8 sowie das Warmwalzen mit dem Warmwalzgerüst 9 bzw. der Kühlschnitt unter Verwendung der Kühleinrichtung 7 sind nur optionale Verfahrensschritte.

[0052] Der in Fig. 2 dargestellte Belt-Caster 1' verwendet ein Gießband 10, auf welches die Stahlschmelze 11 mit der erfindungsgemäßen Zusammensetzung gegossen wird. Dies erfolgt im Bereich der ersten Umlenkrolle 10a des Gießbandes. Über die zweite Umlenkrolle 10b wird das stark gekühlte Gießband wieder zurückgeführt.

Über Abdeckmittel 12 wird ermöglicht, dass der weitere Transport des gegossenen Bandes 13 möglichst ohne Wärmeverlust und optional unter Schutzgasatmosphäre zum Warmwalzen 9 erfolgt. Anstelle des Abdeckmittels 12 kann alternativ ein zweites dem ersten Gießband 10 gegenläufiges Gießband (hier nicht dargestellt) vorgesehen sein. Unmittelbar vor dem Warmwalzgerüst 9 können auch Erwärmungsmittel 8 vorgesehen sein, welche das gegossene Band 13 auf mindestens Warmwalzanfangstemperatur erwärmen.

[0053] Über die Abschreckung 7 nach dem Warmwalzen kann ein gewünschtes Gefüge im Band eingestellt werden, so dass ein Flachprodukt aus einer Formgedächtnislegierung entsteht, welches im Anschluss gepelt oder anderweitig zum Abtransport vorbereitet werden kann.

[0054] Selbstverständlich ist ein Warmwalzgerät, wie in den Fig. 1 und 2 beispielhaft dargestellt, nicht zwingend erforderlich. Um das gemischte Gefüge einzustellen, kann das aus dem Gießbereich austretende, gegossene Band direkt ohne Walzung gekühlt werden.

Tabelle 1

Gewichts-%																									Verhältnis in Atom-%		
Versuch/Element	Fe	Mn	Si	Cr	Ni	Nb	Ti	V	W	Zr	N	C	B	P	S	O	Ca	Mo	Cu	Al	Mg	Co	$\sum$ Gruppe 2 / $\sum$ Gruppe 1	Cr - Ni			
Ausführungsbeispiel 1	60,437	27,8	5,8	4,9	0,51	0,46	0,015	0	0	0	0,004	0,061	0	0,005	0,008	0	0	0	0	0	0	0	0,98	4,39			
Ausführungsbeispiel 2	59,851	27,8	6	5,2	0,51	0,49	0,02	0	0	0	0,0192	0,068	0	0,034	0,008	0	0	0	0	0	0	0	0,81	4,69			
Ausführungsbeispiel 3	58,225	29	6	5,2	0,65	0,49	0,01	0,06	0	0	0,011	0,057	0	0,029	0,001	0	0	0,121	0,119	0	0	0,027	1,20	4,55			

Patentansprüche

1. Verfahren zur Erzeugung eines Flachprodukts aus einer eisenbasierten Formgedächtnislegierung, bei welchem eine Schmelze, die zumindest als Hauptbestandteil Eisen, Legierungselemente und unvermeidbare Verunreinigungen enthält, in einer Gießeinrichtung zu einem gegossenen Band vergossen und dabei abgekühlt wird, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Schmelze in einer Gießeinrichtung zu einem Band gegossen und abgekühlt wird, wobei die Dicke des Bandes größer 1 mm und kleiner 30 mm beträgt, deren Gießbereich mindestens an einer seiner Längsseiten durch ein sich während des Gießbetriebes in Gießrichtung bewegende und gekühlte Wand begrenzt wird, die Schmelze in Kontakt mit der sich bewegenden Wand oder Gießband mit einer Abkühlrate von mindestens 20 K/s gekühlt wird, die Schmelze neben Eisen und herstellungsbedingten Verunreinigungen Mangan mit 12 Gew.-% bis 45 Gew.-% und Silizium mit 1 Gew.-% bis 12 Gew.-% enthält, mindestens ein weiteres Element einer Gruppe 1 enthält, wobei die Gruppe 1 die Elemente N, B, C umfasst und für die Legierungsanteile der Gruppe 1 in Gewichtsprozent gilt:

$$\sum N, C, 10 \cdot B \geq 0,005\%,$$

und/oder mindestens ein weiteres Element einer Gruppe 2 enthalten ist, wobei die Gruppe 2 die Elemente Ti, Nb, W, V, Zr umfasst und für die Legierungsanteile der Gruppe 2 in Gewichtsprozent gilt:

$$\sum Ti, Nb, W, V, Zr \geq 0,01\%$$

und optional mindestens eine oder mehrere der folgenden Anteile an Legierungsbestandteilen vorhanden sein können:

Cu ≤ 20 Gew.-%,
Cr ≤ 20 Gew.-%,
Al ≤ 20 Gew.-%,
Mg ≤ 20 Gew.-%,
Ni ≤ 20 Gew.-%,
O ≤ 0,5 Gew.-%,
Co ≤ 20 Gew.-%,
Mo ≤ 20 Gew.-%,
Ca ≤ 0,5 Gew.-%,
P ≤ 0,5 Gew.-% und/oder
S ≤ 0,5 Gew.-%,

das aus dem Gießspalt der Gießeinrichtung austretende oder das auf dem Gießband erstarrte und im

Anschluss daran zusätzlich warmgewalzte, optional kaltgewalzte Band abschließend mindestens auf die Martensit-Finish (M_F) - Temperatur der jeweiligen Legierung erwärmt wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** als Gießeinrichtung ein Twin-Roll-Caster oder ein Belt-Caster verwendet wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Band vor dem Warmwalzen eine Aufwärmvorrichtung durchläuft.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Band nach dem Austritt aus dem Gießbereich im Wesentlichen vollständig erstarrt ist.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** das aus dem Gießbereich austretende, gegossene Band mindestens einem Walzgerüst kontinuierlich zugeführt wird.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** das aus dem Gießbereich austretende, gegossene Band direkt gekühlt wird.

Claims

1. Method for producing a flat product from an iron-based shape memory alloy, in which a melt which comprises at least as principal constituent iron, alloying elements, and unavoidable impurities is cast in a casting means to form a cast strip and in the process is cooled, **characterized in that** the melt is cast to a strip in a casting means and cooled, the thickness of the strip being greater than 1 mm and less than 30 mm, the casting region of said means being bounded at least on one of its longitudinal sides by a wall which is moving in the casting direction during the casting operation and which is cooled, the melt in contact with the moving wall or casting belt is cooled at a cooling rate of at least 20 K/s, the melt, as well as iron and production-related impurities, comprises manganese at 12 wt% to 45 wt% and silicon at 1 wt% to 12 wt%, and comprises at least one further element from a group 1, the group 1 encompassing the elements N, B, and C and the following statement being valid for the alloying fractions of the group 1 in weight percent:

$$\sum N, C, 10 \cdot B \geq 0.005\%,$$

and/or at least one further element of a group 2 is present, the group 2 encompassing the elements Ti, Nb, W, V, and Zr and the following statement being valid for the alloying fractions of the group 2 in weight percent:

$$\sum Ti, Nb, W, V, Zr \geq 0.01\%$$

and

it being possible optionally for at least one, or two or more, of the following fractions of alloying constituents to be present:

Cu ≤ 20 wt%,
Cr ≤ 20 wt%,
Al ≤ 20 wt%,
Mg ≤ 20 wt%,
Ni ≤ 20 wt%,
O ≤ 0.5 wt%,
Co ≤ 20 wt%,
Mo ≤ 20 wt%,
Ca ≤ 0.5 wt%,
P ≤ 0.5 wt% and/or
S ≤ 0.5 wt%.

the strip emerging from the casting gap of the casting means, or the optionally cold-rolled strip which has solidified on the casting belt and subsequently been additionally hot-rolled, is heated, lastly, at least to the martensite finish (M_f) temperature of the respective alloy.

2. Method according to Claim 1, **characterized in that** the casting means used comprises a twin-roll caster or a belt caster.
3. Method according to Claim 1 or 2, **characterized in that** the strip passes prior to hot rolling through a warming apparatus.
4. Method according to any of Claims 1 to 3, **characterized in that** the strip following emergence from the casting region is substantially fully solidified.
5. Method according to any of Claims 1 to 4, **characterized in that** the cast strip emerging from the casting region is supplied continuously to at least one rolling stand.
6. Method according to any of Claims 1 to 5, **characterized in that** the cast strip emerging from the casting region is cooled directly.

Revendications

1. Procédé pour produire un produit plat à partir d'un alliage à mémoire de forme à base de fer, dans lequel une masse fondue, qui contient au moins, comme constituant principal, du fer, des éléments d'alliage et des impuretés inévitables, est coulée dans une installation de coulée en un feuillard coulé et est refroidie, **caractérisé en ce que** la masse fondue est coulée en un feuillard dans une installation de coulée et est refroidie, l'épaisseur du feuillard étant supérieure à 1 mm et inférieure à 30 mm, la zone de coulée de laquelle est délimitée, au moins au niveau d'un de ses côtés longitudinaux, par une paroi mobile pendant le fonctionnement de coulée dans la direction de coulée et refroidie, la masse fondue en contact avec la paroi mobile ou la courroie de coulée est refroidie à une vitesse de refroidissement d'au moins 20 K/s, la masse fondue contient, outre du fer et les impuretés provoquées par la fabrication, le manganèse à raison de 12% en poids à 45% en poids et le silicium à raison de 1% en poids à 12% en poids, au moins un autre élément d'un groupe 1, le groupe 1 comprenant les éléments N, B, C et pour les proportions d'alliage du groupe 1, en pour cent en poids, l'équation suivante s'appliquant :

$$\sum N, C, 10 \cdot B \geq 0,005\%,$$

et/ou au moins un autre élément d'un groupe 2 étant contenu, le groupe 2 comprenant les éléments Ti, Nb, W, V, Zr et pour les proportions d'alliage du groupe 2, en pour cent en poids, l'équation suivante s'appliquant :

$$\sum Ti, Nb, W, V, Zr \geq 0,01\%$$

et éventuellement au moins l'une ou plusieurs des proportions de constituants d'alliage suivantes pouvant être présentes :

Cu 20% en poids,
Cr 20% en poids,
Al 20% en poids,
Mg 20% en poids,
Ni 20% en poids,
O 0,5% en poids,
Co 20% en poids,
Mo 20% en poids,
Ca 0,5% en poids,
P 0,5% en poids et/ou
S 0,5% en poids,

le feuillard sortant de la fente de coulée de l'installation de coulée ou le feuillard solidifié sur la courroie

de coulée et ensuite en outre laminé à chaud, éventuellement laminé à froid est enfin réchauffé au moins à la température de finition de martensite (M_F) de l'alliage en question.

5

2. Procédé selon la revendication 1, **caractérisé en ce qu'une** machine de coulée à double cylindre ou une machine de coulée à courroie est utilisée comme installation de coulée.

10

3. Procédé selon la revendication 1 ou 2, **caractérisé en ce que** le feuillard passe à travers un dispositif de chauffage avant le laminage à chaud.

4. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, **caractérisé en ce que** le feuillard est sensiblement complètement solidifié après la sortie de la zone de coulée.

15

5. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, **caractérisé en ce que** le feuillard coulé sortant de la zone de coulée est introduit en continu dans au moins une cage de laminage.

20

6. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, **caractérisé en ce que** le feuillard coulé sortant de la zone de coulée est refroidi directement.

25

30

35

40

45

50

55

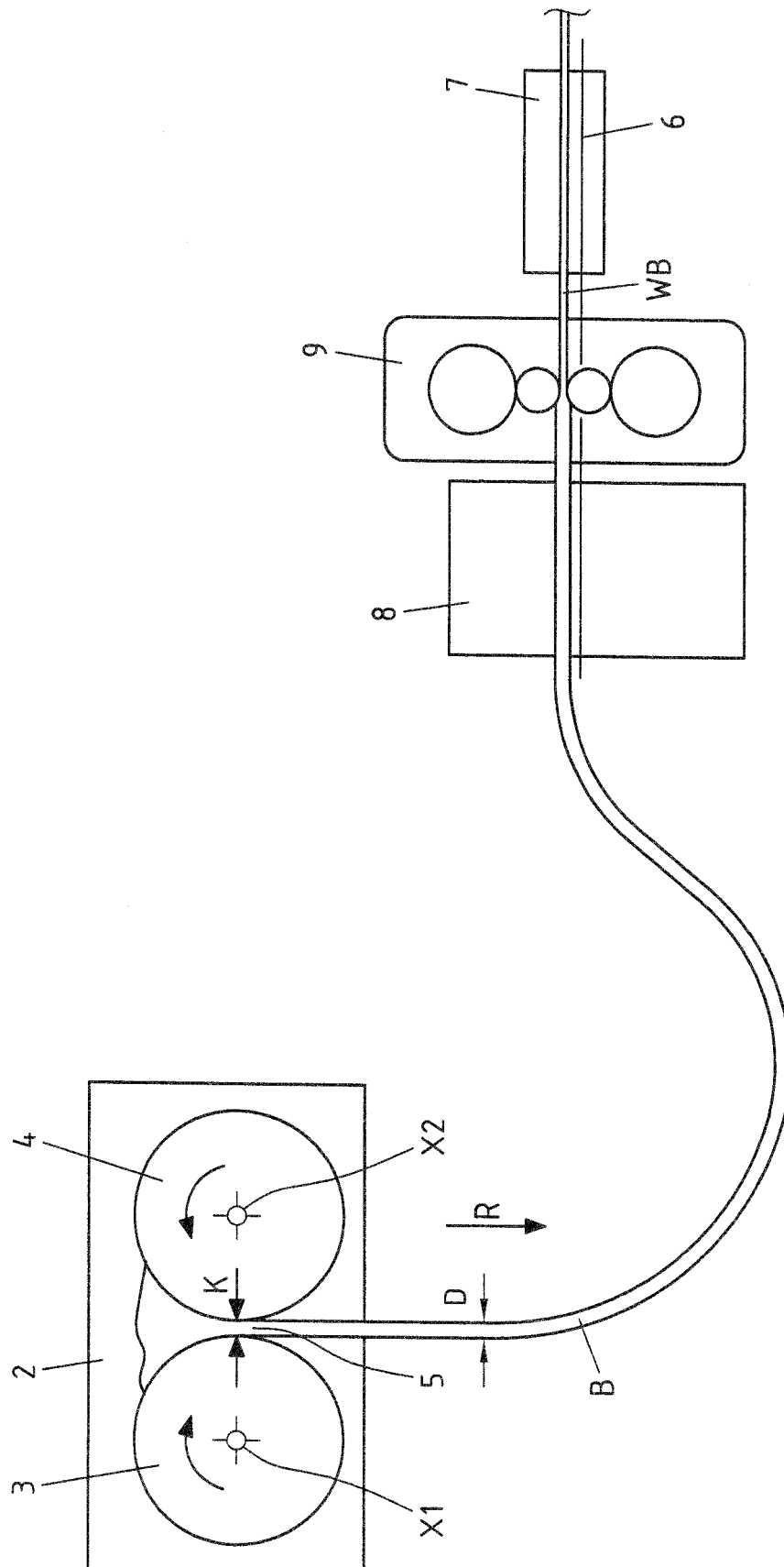


Fig.1

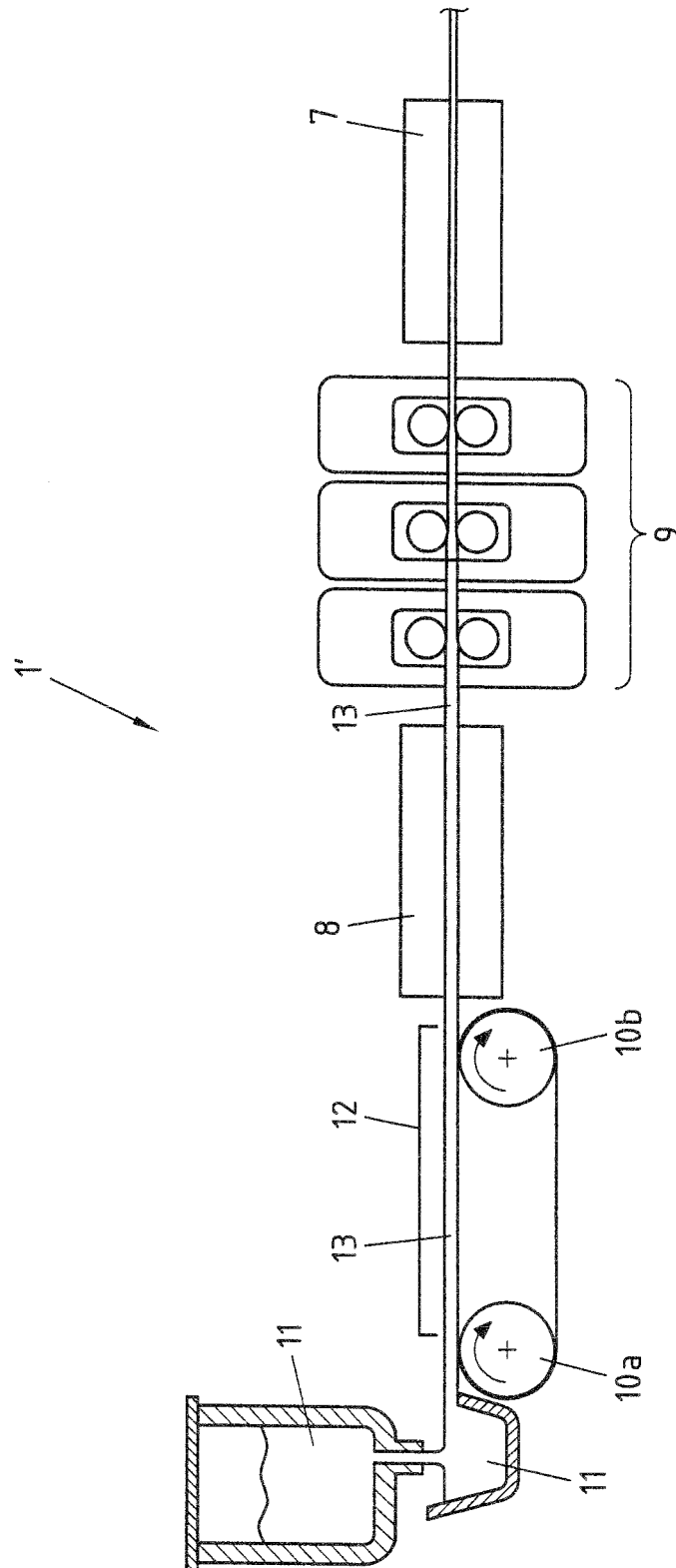


Fig.2

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

- JP 62112751 A [0002] [0006]