

(19)



(11)

EP 4 825 991 A1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:
21.10.2026 Patentblatt 2026/43

(21) Anmeldenummer: **25171069.5**

(22) Anmeldetag: **16.04.2025**

(51) Internationale Patentklassifikation (IPC):

C21D 8/02 ^(2026.01)	C21D 9/00 ^(2006.01)
C22C 33/04 ^(2006.01)	C22C 38/00 ^(2006.01)
C22C 38/02 ^(2006.01)	C22C 38/04 ^(2006.01)
C22C 38/06 ^(2006.01)	C22C 38/18 ^(2006.01)
C22C 38/20 ^(2006.01)	C22C 38/22 ^(2006.01)
C22C 38/24 ^(2006.01)	C22C 38/26 ^(2006.01)
C22C 38/28 ^(2006.01)	C22C 38/30 ^(2006.01)
C22C 38/34 ^(2006.01)	C22C 38/38 ^(2006.01)
C22C 38/40 ^(2006.01)	C22C 38/42 ^(2006.01)
C22C 38/44 ^(2006.01)	C22C 38/46 ^(2006.01)
C22C 38/48 ^(2006.01)	

(52) Gemeinsame Patentklassifikation (CPC):

C21D 8/021; C21D 9/0056; C21D 9/0081;
C22C 33/04; C22C 38/001; C22C 38/02;
C22C 38/04; C22C 38/06; C22C 38/18;
C22C 38/20; C22C 38/22; C22C 38/24;
C22C 38/26; C22C 38/28; C22C 38/30; (Forts.)

(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 ME MK MT NL
NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR

Benannte Erstreckungsstaaten:

BA

Benannte Validierungsstaaten:

GE KH LA MA MD TN

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

(72) Erfinder:

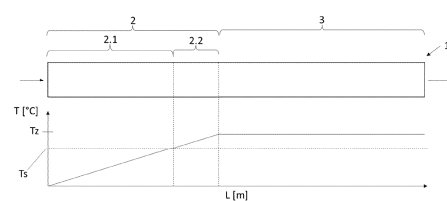
- **Schaffner, Dr. Tobias**
47166 Duisburg (DE)
- **Kokotin, Dr. Valentin**
47166 Duisburg (DE)

(74) Vertreter: **ThyssenKrupp Steel Europe AG**
SE/INN-IPM
Kaiser-Wilhelm-Straße 100
47166 Duisburg (DE)

(54) VERFAHREN ZUM WÄRMEBEHANDELN EINER STAHLBRAMME AUF WARMWALZHITZE

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Wärmebehandeln einer Stahlbramme auf Warmwalzhitze in einem direkt beheizten Wärmebehandlungsofen in Form mindestens eines Hubbalkenofens oder mindestens eines Stoßofens, welcher mit Gasbrennern ausgestattet ist, wobei die Gasbrenner bezogen auf die Durchlaufebene der Stahlbramme in einem oberen Bereich und in einem unteren Bereich des Wärmebehandlungsofens angeordnet sind, wobei sich infolge des Wärmebehandelns zumindest teilweise auf der Oberfläche der Stahlbramme Zunder bildet, wobei zumindest ein Teil der Gasbrenner mit einem wasserstoffhaltigen und/oder ammoniakhaltigen Brenngas gespeist wird, wobei die Stahlbramme in einer Heizzone des Wärmebehandlungsofens auf eine Zieltemperatur erwärmt und in einer Ausgleichszone des Wärmebehandlungsofens auf eine Zieltemperatur von mindestens 1000 °C durchwärmt wird, wobei die Stahlbramme mit einer Zieltemperatur aus dem Wärmebehandlungsofen entnommen wird und zumindest teilweise entzündet wird, um einem Warmwalzen zugeführt zu werden, wo-

bei die Stahlbramme neben Eisen und unvermeidbaren Verunreinigungen in Gew.-% bevorzugt folgende Elemente enthält oder daraus besteht mit C: bis zu 0,010 %, Si: 2,0-4,5 %, Mn: bis zu 1,0 %, Al: bis zu 2,0 %, N: bis zu 0,010 %, S: bis zu 0,010 %, P: bis zu 0,350 %, optional eines oder mehrere der Elemente aus der Gruppe (Zr, Ti, Cr, Nb, Mo, V, Co, Cu, Ni, Seltene Erden, Sb, Sn) mit Zr: bis zu 0,30 %, Ti: bis zu 0,50 %, Cr: bis zu 0,10 %, Nb: bis zu 0,10 %, Mo: bis zu 0,20 %, V: bis zu 0,10 %, Co: bis zu 0,10 %, Cu: bis zu 0,10 %, Ni: bis zu 0,10 %, Seltene Erden: bis zu 0,10 %, Sb: bis zu 0,10 %, Sn: bis zu 0,10 %.



Figur 1

EP 4 825 991 A1

- (52) Gemeinsame Patentklassifikation (CPC): (Forts.)
C22C 38/34; C22C 38/38; C22C 38/40;
C22C 38/42; C22C 38/44; C22C 38/46;
C22C 38/48; C22C 38/50; C22C 38/52;
C22C 38/58; F27B 9/04; F27B 9/045; F27B 9/30;
F27B 9/36; F27D 7/06; F27B 2009/3638

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Wärmebehandeln einer Stahlbramme auf Warmwalzhitze in einem direkt beheizten Wärmebehandlungsofen in Form mindestens eines Hubbalkenofens oder mindestens eines Stoßofens, welcher mit Gasbrennern ausgestattet ist, wobei die Gasbrenner bezogen auf die Durchlaufebene der Stahlbramme in einem oberen Bereich und in einem unteren Bereich des Wärmebehandlungsofens angeordnet sind, wobei sich infolge des Wärmebehandelns zumindest teilweise auf der Oberfläche der Stahlbramme Zunder bildet, wobei zumindest ein Teil der Gasbrenner mit einem wasserstoffhaltigen und/oder ammoniakhaltigen Brenngas gespeist wird, wobei die Stahlbramme in einer Heizzone des Wärmebehandlungsofens auf eine Zieltemperatur erwärmt und in einer Ausgleichszone des Wärmebehandlungsofens auf eine Zieltemperatur von mindestens 1000 °C durchwärmt wird, wobei die Stahlbramme mit einer Zieltemperatur aus dem Wärmebehandlungsofen entnommen wird und zumindest teilweise entzündet wird, um einem Warmwalzen zugeführt zu werden, wobei die Stahlbramme neben Eisen und unvermeidbaren Verunreinigungen in Gew.-% folgende Elemente enthält oder daraus besteht mit C: bis zu 1,50 %, Si: 2,0-4,50 %, Mn: bis zu 2,60 %, Al: bis zu 2,0 %, N: bis zu 0,020 %, S: bis zu 0,0250 %, P: bis zu 0,350 %, optional eines oder mehrere der Elemente aus der Gruppe (Zr, Ti, Cr, Nb, Mo, V, Co, Cu, Ni, Seltene Erden, Sb, Sn) mit Zr: bis zu 0,30 %, Ti: bis zu 0,50%, Cr: bis zu 2,0 %, Nb: bis zu 0,10 %, Mo: bis zu 1,50 %, V: bis zu 0,30 %, Co: bis zu 0,10 %, Cu: bis zu 2,0 %, Ni: bis zu 2,0 %, Seltene Erden: bis zu 0,10 %, Sb: bis zu 0,10 %, Sn: bis zu 0,10 %.

[0002] Wärmebehandlungsöfen, wie zum Beispiel direkt beheizte Öfen (direct fired furnace, auch DFF genannt), sind in der Praxis etablierte Öfen, die zur Wärmebehandlung von Metallen verwendet werden. Diese werden standardmäßig mit fossilen Brennstoffen, wie zum Beispiel Erdgas, gespeist. Da die Verbrennung im Ofen stattfindet, kann mit Hilfe der direkten Beheizung, je nach eingestellter Luftzahl (Lambda-Wert des Brenngases), eine reduzierende oder oxidierende Ofenatmosphäre eingestellt werden. Auch sogenannte Kuppelgase oder deren Mischungen sind als Brenngase geeignet, welche insbesondere in einem integrierten Hüttenwerk anfallen und somit entsprechend verwertet werden können. Im Ofen befindet sich somit das von dem/den Brenner(n) erzeugte Verbrennungsgas als Ofenatmosphäre, welches Wasserdampf geringer als 35,0 Vol.-%, insbesondere geringer als 25 Vol.-% und, je nach Luftzahl, Sauerstoff (O₂) und Kohlenstoffdioxid (CO₂) oder Wasserstoff (H₂) und Kohlenstoffmonoxid/Kohlenstoffdioxid (CO/CO₂) enthalten kann.

[0003] Sauerstoffhaltige Gase reagieren mit der Stahloberfläche und bei hohen Temperaturen in Form einer Oxidation primär des Eisens und weiteren Legie-

rungelementen wie zum Beispiel Mangan und Silizium, sowie möglicher Begleitelemente wie Kupfer. Als Reaktionsprodukt entsteht primär Eisenoxid, auch als Zunder bezeichnet. Bis zu einer Temperatur von ca. 575 °C besteht der Zunder auf der Stahloberfläche aus einer der Stahloberfläche zugewandten Magnetit-Phase (Fe₃O₄) und einer nach außen, von der Stahloberfläche abgewandten Seite, weisenden Hämatit-Phase (Fe₂O₃). Mit zunehmenden Temperaturen, insbesondere oberhalb von 580 °C bildet sich eine Schicht aus Wüstit (FeO) zwischen der Stahloberfläche und der Magnetit-Phase, vgl. beispielhaft "The morphologies of oxide scale in a Si-containing steel", Zhou et al., IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 244 (2017) 012026, doi: 10.1088/1757-899X/244/1/012026.

[0004] Wärmebehandlungsöfen, welche Stahlmaterial in Form von Brammen in sogenannten Stoß- und/oder Hubbalkenöfen auf Warmwalzhitze erwärmen/-durchwärmen, werden mit Erdgas beheizt oder, wenn verfügbar und in einem sogenannten Hüttenverbund integriert, können mit Gasen (Kuppelgasen) bzw. Gasgemischen wie Koksofengas, Hochofengas, Konvertergas usw. betrieben werden. Eine Umstellung auf eine Verbrennung mit Wasserstoff kann mithin einen stärken, insbesondere negativen Einfluss auf die Oberflächenqualität des zu formenden Stahlmaterials nehmen. Der in Wärmebehandlungsöfen entstehende Zunder kann je nach der Ausbildung gut oder schlecht haftend sein. Infolgedessen kann nicht sichergestellt werden, dass die installierte Leistung eines gewöhnlichen sogenannten Zunderwäschers immer ausreicht, um den Primärzunder abzutragen, bevor die Stahlbramme in einer Warmwalzstraße zu einem Warmband gewalzt wird.

[0005] Im Rahmen der weltweit geforderten Dekarbonisierung sollen mit fossilen Brennstoffen betriebene Anlagen in Zukunft auf umweltfreundlichere Brennstoffe bzw. Energieträger, wie zum Beispiel Wasserstoff und/oder Ammoniak, umgerüstet bzw. umgestellt werden, um somit den Einsatz von fossiler Energie zu reduzieren oder letztendlich zu vermeiden. Eine Umstellung von einem fossilen Brennstoff, wie zum Beispiel Erdgas, auf einen alternativen, wasserstoffhaltigen und/oder ammoniakhaltigen Brennstoff oder generell auf Wasserstoff und/oder Ammoniak als Brennstoff würde eine veränderte Ofenatmosphäre ergeben, welche wiederum signifikante Einflussparameter bezüglich der zu erzielenden Stoffeigenschaften und Oberfläche des durchlaufenden Stahlprodukts ergeben. Beim Verbrennen von wasserstoffhaltigen und/oder ammoniakhaltigen Brennstoffen wird eine im Vergleich zum Erdgas größere Menge an Wasserdampf erzeugt, was dafür sorgt, dass ein höherer Wasserdampfpartialdruck in der Ofenatmosphäre vorliegen würde. Dies hat zur Folge, dass eine höhere Tendenz zur Oxidation (= Zunderbildung) während des Erwärmens durch sauerstoffaffine Elemente im Stahlprodukt gegeben ist, welche insbesondere an der Oberfläche des Stahlprodukts ent-

steht. Durch das Vorhandensein eines höheren Wasserdampfpartialdrucks wird die Verbindung zwischen Zunder und Stahloberfläche, vereinfacht gesagt, die Haftung und Ausbildung des Zunders an der Stahloberfläche, beeinflusst. Zugleich führt ein höherer Wasserdampfpartialdruck zur Erhöhung der Zunderschichtdicke und einer veränderten Ausbildung des Zunders. Diese Effekte können diverse Einflüsse auf das Stahlprodukt haben:

- stark haftender Primärzunder kann zu Oberflächendefekten und somit zum Produktausfall führen,
- weiterhin kann dieser mit einer schlechteren Zunderentfernung im Zunderwäscher und somit mit Folgefehlern in der Weiterprozessierung (beispielsweise Einwalzen von Restzunder beim Warmwalzen) verbunden sein,
- des Weiteren kann eine Zunderschicht respektive eine erhöhte Zunderschichtdicke auch zu Ausbringungsverlusten führen, die sich negativ auf die Energiebilanz auswirken können.

[0006] Mithin lassen sich gesteigerte Kosten durch Nachbearbeitung und Abwertung von Stahlbrammen und erhöhte CO₂-Emissionen pro Tonne Warmband durch erforderliche Neuerzeugung des verlorenen Materials nicht ausschließen.

[0007] Aus der WO 2024/017440 A1 ist ein Verfahren bekannt, mit welchem die Ofenfeuchte bei Verbrennung von wasserstoffhaltigem Brenngas durch Einleiten von trockenem Zusatzgas in die Ofenatmosphäre reduziert werden kann, um den bei der Wärmebehandlung entstehenden Zunder positiv zu beeinflussen.

[0008] Ein Verfahren zur Herstellung eines Warmbands ist beispielhaft aus der WO 2024/116132 A1 bekannt.

[0009] Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, das Verfahren zum Erwärmen einer Stahlbramme mit einer bestimmten chemischen Zusammensetzung derart weiterzuentwickeln, welches einen positiven Einfluss auf den an der Oberfläche des Stahlflachprodukts im Wärmeprozess zwangsläufig entstehenden Zunder nimmt.

[0010] Diese Aufgabe wird gelöst durch ein Verfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 1. Weiterführende Ausgestaltungen sind in den Unteransprüchen beschrieben.

[0011] Wesentlich für die Erfindung ist, dass das Verfahren des Weiteren mindestens einen oder mehrere der nachfolgenden Schritte a) bis c) umfasst:

- a) Dass zumindest in einem Teilabschnitt der Heizzone ein Brenngas verwendet wird, welches einen höheren Wasserstoffanteil und/oder Ammoniakanteil im Vergleich zum Brenngas in der Ausgleichs-

zone aufweist;

- b) dass zumindest ein Teil der in der Ausgleichszone im oberen Bereich des Wärmebehandlungs-ofens angeordneten Gasbrenner mit einem Brenngas gespeist werden, welches einen höheren Wasserstoffanteil und/oder Ammoniakanteil im Vergleich zum Brenngas der restlichen in der Ausgleichszone angeordneten und gespeisten Gasbrenner aufweist;

- c) dass ein Brenngas verwendet wird, welches eine Mischung enthaltend oder bestehend aus Kohlenstoffmonoxid mit einem Anteil zwischen 0,5 Vol.-% bis 40 Vol.-%, Rest Wasserstoff und/oder Ammoniak umfasst.

[0012] Das Wärmebehandeln einer Stahlbramme auf Warmwalzhitze erfolgt in der Art, dass die Temperatur der Stahlbramme beim Entnehmen aus dem Wärmebehandlungs-Ofen mindestens 1000 °C, insbesondere mindestens 1050 °C, vorzugsweise mindestens 1100 °C, bevorzugt mindestens 1150 °C beträgt. Prinzipiell sollte die Temperatur von 1500 °C nicht überschritten werden, um ein partielles/vollständiges Aufschmelzen und/oder zu starke Verzunderung der Stahlbramme zu vermeiden. Aus ökologischen und ökonomischen Gründen wird die Temperatur insbesondere auf maximal 1400 °C, vorzugsweise auf maximal 1350 °C, bevorzugt auf maximal 1325 °C, weiter bevorzugt auf maximal 1300 °C beschränkt. Gemessen wird die Temperatur beispielsweise an einer Seite auf der Oberfläche der Stahlbramme respektive auf der Zunderoberfläche, insbesondere mit Pyrometern oder anderen geeigneten Messmittel. Diese genannten Temperaturen sollten auch im Kern der Stahlbramme nicht unter- bzw. überschritten werden, wobei die Kerntemperatur einer Stahlbramme im Normalbetrieb nicht direkt ermittelbar ist. Somit kann die Temperatur der Stahlbramme mit dem Fachmann bekannten Mitteln erfasst werden. Die Temperatur im Wärmebehandlungs-Ofen respektive die Temperatur der Atmosphäre in dem Wärmebehandlungs-Ofen kann durchaus höher liegen.

[0013] Die entnommene Stahlbramme wird einem Zunderwäscher oder einem vergleichbaren Zunderentferner zugeführt, um den Zunder von den Oberflächen der Stahlbramme bevorzugt vollständig zu entfernen. Anschließend wird die entzunderte Stahlbramme einem Warmwalzwerk zugeführt, welches zwischen drei und sieben Walzgerüste sowie optional bis zu drei Vorgerüste aufweisen kann, in welchem aus der Stahlbramme ein Warmband erzeugt wird. Die Dicke des Warmbands kann beispielsweise zwischen 1,50 und 30,0 mm, insbesondere bis zu 26,0 mm, vorzugsweise bis zu 15,0 mm, bevorzugt bis zu 10,0 mm, weiter bevorzugt bis zu 5,0 mm aufweisen.

[0014] Das Prinzip zur Herstellung eines Warmbands aus einer Bramme ist mithin Stand der Technik.

[0015] Die angegebene (Ziel-)Temperatur kann beispielhaft als Mittelwert in Bezug auf eine erfasste Messfläche verstanden werden, wobei insbesondere die Messfläche je nach dem Fachmann bekannten und verwendeten Messgerät/-verfahren variieren kann. Besonders bevorzugt wird die Temperatur berührungslos erfasst, beispielsweise mittels Pyrometer, Laserscanner, Wärmebildkamera etc.

[0016] Die Zunderbildung hängt dabei von den technologischen Bedingungen, beispielsweise von der Temperatur, der Zeit, der Luftzahl und den chemischen Zusammensetzungen der Stahlbramme ab. Mit steigender Temperatur, zunehmender Luftzahl und größerer Zeitdauer nimmt der Zunder auf der Oberfläche der Stahlbramme zu. Auch die Feuchte der Atmosphäre kann Einfluss auf die Zunahme (Dicke) des Zunders nehmen. Der Aufbau des Zunders respektive der Zunderschicht ist immer ähnlich, welcher durch die drei folgenden insbesondere geschichteten Phasen gekennzeichnet ist. Die äußerste Schicht respektive obere Phase umfasst Hämatit (Fe_2O_3 , Schmelztemperatur: 1565°C), die mittlere Schicht respektive mittlere Phase umfasst Magnetit (Fe_3O_4 , Schmelztemperatur: 1527°C) und die untere Schicht respektive untere Phase bzw. die der Stahlbramme nächstliegende Schicht/Phase umfasst Wüstit (FeO , Schmelztemperatur: 1369°C).

[0017] Die in Rede stehende Stahlbramme weist eine chemische Zusammensetzung auf, welche für die Herstellung für NO-Elektroband angedacht ist. Die Herstellung von NO-Elektroband ist dem Fachmann geläufig.

[0018] Kennzeichnend für NO-Elektroband sind hohe Siliziumgehalte, welche bei der Wärmebehandlung der Stahlbramme mit entsprechender chemischer Zusammensetzung zur Ausbildung von Fayalitschichten (Fe_2SiO_4) zwischen der Stahlbramme und der innersten Schicht/Phase (FeO) oder von Fayalit-Wüstit-Eutektika führen. Diese infiltrieren zumindest bereichsweise und/oder teilweise die Stahlbrammenoberfläche, so dass eine ausgeprägte Verzahnung entsteht, dadurch die Haftung des Zunders steigt und mithin ein effektiver Zunderabtrag erschwert wird.

[0019] Die Stahlbramme enthält oder besteht aus folgenden Elementen in Gew.-%, C: bis zu 1,50 %, Si: 2,0 - 4,50 %, Mn: bis zu 2,60 %, Al: bis zu 2,0 %, N: bis zu 0,020 %, S: bis zu 0,0250 %, P: bis zu 0,350 %, optional eines oder mehrere der Elemente aus der Gruppe (Zr, Ti, Cr, Nb, Mo, V, Co, Cu, Ni, Seltene Erden, Sb, Sn) mit Zr: bis zu 0,30 %, Ti: bis zu 0,50 %, Cr: bis zu 1,0 %, Nb: bis zu 0,10 %, Mo: bis zu 1,50 %, V: bis zu 0,30 %, Co: bis zu 0,10 %, Cu: bis zu 2,0 %, Ni: bis zu 2,0 %, Seltene Erden: bis zu 0,10 %, Sb: bis zu 0,10 %, Sn: bis zu 0,10 %, Rest Fe und unvermeidbare Verunreinigungen.

[0020] Vorzugsweise kann die Stahlbramme folgende Elemente enthalten oder daraus bestehen in Gew.-%, C: bis zu 0,010 %, Si: 2,0-4,50 %, Mn: bis zu 1,0 %, Al: bis zu 2,0 %, N: bis zu 0,010 %, S: bis zu 0,020 %, P: bis zu 0,350 %, optional eines oder mehrere der

Elemente aus der Gruppe (Zr, Ti, Cr, Nb, Mo, V, Co, Cu, Ni, Seltene Erden, Sb, Sn) mit Zr: bis zu 0,30 %, Ti: bis zu 0,50%, Cr: bis zu 0,10 %, Nb: bis zu 0,10 %, Mo: bis zu 0,20 %, V: bis zu 0,10 %, Co: bis zu 0,10 %, Cu: bis zu 0,10 %, Ni: bis zu 0,10 %, Seltene Erden: bis zu 0,10 %, Sb: bis zu 0,10 %, Sn: bis zu 0,10 %.

[0021] Insbesondere kann die Stahlbramme folgende Elemente enthalten oder daraus bestehen in Gew.-%, C: bis zu 0,0060 %, Si: 2,40-3,40 %, Mn: bis zu 0,80 %, Al: bis zu 1,80 %, N: bis zu 0,0060 %, S: bis zu 0,0060 %, P: bis zu 0,30 %, Rest Fe und unvermeidbare Verunreinigungen.

[0022] Gemäß einer bevorzugten Ausgestaltung kann die Stahlbramme folgende Elemente enthalten oder daraus bestehen in Gew.-%, C: 0,0002-0,0050 %, Si: 2,80-3,150 %, Mn: 0,50-0,70 %, Al: 1,30-1,70 %, N: bis zu 0,0060 %, S: bis zu 0,0060 %, P: bis zu 0,30 %, Rest Fe und unvermeidbare Verunreinigungen.

[0023] Gemäß einer alternativen bevorzugten Ausgestaltung kann die Stahlbramme folgende Elemente enthalten oder daraus bestehen in Gew.-%, C: 0,0002-0,0050 %, Si: 3,150-3,40 %, Mn: 0,050-0,20 %, Al: 0,80-1,20 %, N: bis zu 0,0060 %, S: bis zu 0,0060 %, P: bis zu 0,30 %, Rest Fe und unvermeidbare Verunreinigungen.

[0024] Des Weiteren soll offenbart sein, ein Verfahren zum Herstellen eines NO-Elektrobands, welches neben den Merkmalen des Anspruchs 1 zusätzlich die Schritte umfasst:

- Kaltwalzen des Warmbands zu einem Kaltband;
- Glühen des Kaltbands zur Erzeugung des NO-Elektrobands.

[0025] Das Kaltband weist vorzugsweise eine Dicke zwischen 0,10 und 1,0 mm auf, insbesondere bis 0,50 mm, vorzugsweise bis 0,350 mm, bevorzugt bis 0,270 mm. Durch das Glühen werden die speziellen und die das NO-Elektroband kennzeichnenden Eigenschaften eingestellt. Das Glühen inklusive Glühbedingungen sind dem Fachmann geläufig.

[0026] Bei der Verbrennung von wasserstoffhaltigen und/oder ammoniakhaltigen Brenngasen entsteht mehr Wasserdampf als bei einer Erdgasverbrennung bzw. Methanverbrennung, so dass es zu einer Zunderzunahme als auch andersartigen Zunderstruktur kommen kann.

[0027] Die Erfinder haben festgestellt, dass ein erhöhter Siliziumgehalt nicht nur zu einer deutlich stärkeren Zunderausbildung beiträgt, sondern es neben der Ausbildung von Fayalitschichten bzw. Fayalit-Wüstit-Eutektika auch zu einer verstärkten Zunahme von Poren bzw. Porigkeit kommt, wodurch mehr aktivierbare Oberflächen zur Oxidation verfügbar sind und der Verzunderungsprozess somit zusätzlich beschleunigt wird. Die zunehmende Porigkeit tritt dabei besonders stark in den Vordergrund, je höher der Wasserdampf in der

Ofenatmosphäre respektive der Wasserstoff- und/oder Ammoniakanteil im Brenngas im Vergleich zur Verbrennung von Methan (Erdgas) ist. Eine positive Beeinflussung der Zunderstruktur während des Wärmebehandelns, wobei zumindest ein Teil der Gasbrenner mit einem wasserstoffhaltigen und/oder ammoniakhaltigen Brenngas gespeist wird, kann durch mindestens eines der Schritte a), b) und/oder c) erfolgen.

[0028] Als Brenngas mit höherem Wasserstoffanteil und/oder Ammoniakanteil wird vorzugsweise ein Brenngas mit einem Anteil von 5 Vol.-% bis 100 Vol.-% Wasserstoff und/oder Ammoniak verwendet. Insbesondere kann Wasserstoff und/oder Ammoniak im Brenngas mit einem Anteil von mindestens 10, 15, 20 Vol.-%, vorzugsweise mindestens 30, 35, 40 Vol.-%, bevorzugt mindestens 50, 55, 60 Vol.-%, besonders bevorzugt mindestens 65, 70, 75 Vol.-%, weiter bevorzugt mindestens 80, 85, 90 Vol.-%, enthalten sein. Mit steigendem Dekarbonisierungsgrad verbessert werden, insbesondere wenn der zumindest anteilmäßige im Brenngas zum Einsatz kommende Wasserstoff beispielsweise in einer Wasserelektrolyse unter Verwendung regenerativer Energien, wie Wind, Wasser und/oder Sonne erzeugt und bereitgestellt wird, bzw. keinen fossilen Ursprung hat. Das Brenngas kann auch nur aus Wasserstoff bestehen, wobei Verunreinigungen im Brenngas bis zu 0,5 Vol.-%, insbesondere bis zu 0,2 Vol.-%, vorzugsweise weniger als 0,1 Vol.-% zugelassen werden, wobei Verunreinigungen technisch nicht oder nur mit hohem apparativem Aufwand vermieden werden können, so dass dennoch von 100 Vol.-% Wasserstoff im Brenngas gesprochen werden kann. Vorzugsweise kann ein Brenngas verwendet werden, welches im Wesentlichen Wasserstoff umfasst oder im Wesentlichen aus Wasserstoff besteht.

[0029] Alternativ kann das Brenngas mit höherem Wasserstoffanteil und/oder Ammoniakanteil auch nur aus Ammoniak oder aus einer Mischung aus Wasserstoff und Ammoniak bestehen, wobei Verunreinigungen im Brenngas bis zu 0,5 Vol.-%, insbesondere bis zu 0,2 Vol.-%, vorzugsweise weniger als 0,1 Vol.-% zugelassen werden, wobei Verunreinigungen technisch nicht oder nur mit hohem apparativem Aufwand vermieden werden können, so dass dennoch von 100 Vol.-% Ammoniak oder eine Mischung aus Ammoniak und Wasserstoff im Brenngas gesprochen werden kann. Vorzugsweise kann ein Brenngas verwendet werden, welches im Wesentlichen Ammoniak oder eine Mischung aus Ammoniak und Wasserstoff umfasst oder im Wesentlichen aus Ammoniak oder aus Ammoniak und Wasserstoff besteht.

[0030] Bei einem wasserstoffhaltigen und ammoniakhaltigen Brenngas kann ein Verhältnis von H_2/NH_3 zwischen 0,05 und 0,95 verwendet werden, insbesondere zwischen 0,1 und 0,9, vorzugsweise zwischen 0,2 und 0,8, bevorzugt zwischen 0,3 und 0,7, besonders bevorzugt zwischen 0,4 und 0,6.

[0031] Wenn das Brenngas nicht vollständig aus Wasserstoff und/oder Ammoniak besteht, können neben Wasserstoff und/oder Ammoniak weitere Anteile an Methan (CH_4) und/oder Kohlenmonoxid (CO) enthalten sein, um 100 Vol.-% nebst Verunreinigungen, welche bis zu 0,5 Vol.-%, insbesondere bis zu 0,2 Vol.-%, vorzugsweise weniger als 0,1 Vol.-% zugelassen werden, zu ergeben. Spuren von Kohlenstoffdioxid (CO_2) bis 1,5 Vol.-% können ebenfalls enthalten sein. Beispielsweise bei der Verwendung von Erdgas neben Wasserstoff und/oder Ammoniak als Brenngas können die Anteile des Hauptbestandteils Methan variieren und damit auch weitere Bestandteile, wie zum Beispiel Ethan, Propan, Ethen und Butan einzeln oder kombiniert umfassen. Zusätzlich oder alternativ kann Hüttengas, beispielsweise enthaltend oder bestehend aus einer oder mehrerer der Komponenten Koksgas, Gichtgas, Konvertergas, Einschmelzergas etc., neben Wasserstoff und/oder Ammoniak als Brenngas berücksichtigt werden.

[0032] Die Verbrennung kann mit einer Luftzahl zwischen 0,75 und 1,25 eingestellt werden. Insbesondere kann die Luftzahl mindestens 0,90, vorzugsweise mindestens 0,95, bevorzugt mindestens 1,0 betragen. Insbesondere kann die Luftzahl maximal 1,25, vorzugsweise maximal 1,20, bevorzugt maximal 1,15 betragen. Besonders bevorzugt, um schädliche Emissionen während der Verbrennung weitestgehend zu vermeiden, kann eine Luftzahl zwischen 1,02 und 1,25 gewählt werden.

[0033] Je nach Volumen der wärmezubehandelnden Stahlbramme, und insbesondere auch abhängig von der Zieltemperatur, kann eine Verweilzeit im Wärmebehandlungsofen zwischen 10 Minuten und 48 Stunden betragen, insbesondere zwischen 30 Minuten und 24 Stunden, vorzugsweise zwischen 1 Stunde und 12 Stunden, bevorzugt zwischen 2 Stunden und 8 Stunden.

[0034] Die Stahlbramme kann auch warm oder heiß mit einer bis zu 800 °C, insbesondere bis zu 700 °C, vorzugsweise bis zu 600 °C betragenden Temperatur in den Wärmebehandlungsofen eingesetzt werden. Dabei kann beispielsweise die Stahlbramme noch eine Temperatur, beispielsweise aus der Herstellungshitze kommend, aufweisen, ohne dass sie beispielsweise auf Umgebungstemperatur abkühlt. Alternativ dazu können beispielsweise auch hybride Technologien zur Anwendung kommen, beispielsweise mit einer induktiven Vorwärmung und damit ein weiteres Wärmebehandeln in Verbindung mit dem vorbeschriebenen Wärmebehandlungsofen. Mit anderen Worten kann die Temperatur beim Einsetzen der Stahlbramme in den Wärmebehandlungsofen mindestens 100 °C, insbesondere mindestens 200 °C, vorzugsweise mindestens 300 °C, bevorzugt mindestens 400 °C betragen.

[0035] In mindestens einem Schritt a) kann zumindest in einem Teilabschnitt der Heizzone ein Brenngas verwendet werden, welches einen höheren Wasser-

stoffanteil und/oder Ammoniakanteil im Vergleich zum Brenngas in der Ausgleichszone aufweist. Bei dem Brenngas in der Ausgleichszone kann es sich beispielsweise um ein konventionelles Brenngas handeln.

[0036] Mit steigender Temperatur nehmen die Effekte der erhöhten Zunderausbildung durch hohe Ofenfeuchte (Wasserdampf) bedingt durch das Verbrennen von Wasserstoff und/oder Ammoniak zu. Zur Reduzierung dieser Effekte ist daher ein selektiver Einsatz von Wasserstoff und/oder Ammoniak als Brenngas in dem mindestens einen Teilabschnitt der Heizzone zu bevorzugen, wohingegen ein weiterer Teilabschnitt der Heizzone und die Ausgleichszone durch konventionelle Brenngase wie beispielsweise Erdgas, Hüttengas oder Mischungen daraus beheizt werden sollten. Daraus ergeben sich Vorteile, dass der Wasserdampfanteil in der Ofenatmosphäre in den Zonen mit höheren Temperaturen, somit insbesondere oberhalb einer Schwelltemperatur, zumindest in der Ausgleichszone, standardmäßig beibehalten werden kann und keine andersartigen Oxidationsprozesse stattfinden und Absorptionsprozesse insbesondere für Wasserstoff geringgehalten werden können.

[0037] Das Brenngas kann in dem mindestens einen Teilabschnitt der Heizzone mit einem geringeren Kohlenstoffanteil im Vergleich zum Brenngas in der Ausgleichszone verwendet werden. Dies kann insgesamt die CO₂-Bilanz des Wärmebehandlungsofens im Vergleich zur Verwendung eines konventionellen Brenngases in beiden Zonen begünstigen.

[0038] Bevorzugt kann der mindestens eine Teilabschnitt der Heizzone in seiner Erstreckung im Wärmebehandlungsofen derart bemessen sein, dass die Stahlbramme insbesondere in Abhängigkeit von der Verweilzeit innerhalb des Teilabschnitts eine Schwelltemperatur nicht überschreitet, welche jedoch unterhalb der Zieltemperatur liegt. Besonders bevorzugt kann die Schwelltemperatur zwischen 850 °C und 1200 °C betragen. Die Schwelltemperatur kann insbesondere mindestens 900 °C, vorzugsweise mindestens 950 °C, bevorzugt mindestens 1000 °C betragen. Die Schwelltemperatur von 1200 °C sollte nicht überschritten werden, um eine Bildung einer andersartigen Zunderstruktur infolge der hohen Siliziumgehalte im Wesentlichen zu vermeiden und/oder ihre Dicke zu reduzieren. Die Schwelltemperatur kann daher insbesondere auf maximal 1150 °C, vorzugsweise auf maximal 1100 °C, bevorzugt auf maximal 1050 °C beschränkt sein. So kann beispielsweise abhängig von der Länge des Wärmebehandlungsofens, der Verweilzeit in Verbindung mit einem diskontinuierlichen oder kontinuierlichen Durchlauf der Stahlbramme durch die zumindest eine Heizzone und die zumindest eine Ausgleichszone in Verbindung mit den entsprechenden vorherrschenden Temperaturen in den jeweiligen Zonen, das Erreichen der Schwelltemperatur und somit die Bemessung respektive Erstreckung des Teilabschnitts in der Heizzone bestimmt werden. So können dann die Gasbren-

ner, welche in dem Teilabschnitt der Heizzone angeordnet sind, mit einem wasserstoffhaltigen und/oder ammoniakhaltigen Brenngas gespeist werden, wobei die restlichen Gasbrenner mit einem konventionellen Brenngas gespeist werden. Dadurch kann eine (Teil-) Dekarbonisierung bei der Wärmebehandlung von Stahlbrammen stattfinden, indem beispielsweise eine Umstellung im Teilabschnitt der Heizzone von einem fossilen beziehungsweise konventionellen Brenngas auf ein alternatives, wasserstoffhaltiges und/oder ammoniakhaltiges Brenngas erfolgt. Beim Verbrennen von wasserstoffhaltigen und/oder ammoniakhaltigen Brenngasen wird eine beispielsweise im Vergleich zum Erdgas größere Menge an Wasserdampf erzeugt, was dafür sorgt, dass ein höherer Wasserdampfpartialdruck in der Ofenatmosphäre vorliegt. Dies hat zur Folge, dass eine höhere Tendenz zur Oxidation (= Zunderbildung) während des Wärmebehandelns durch sauerstoffaffine Elemente in der Stahlbramme inklusive der Begleitelemente gegeben ist, welche an der Oberfläche der Stahlbramme entsteht. Durch das Vorhandensein eines höheren Wasserdampfpartialdrucks kann die Verbindung zwischen Zunder und Stahlbrammenoberfläche, vereinfacht gesagt die Haftung und der Aufbau an der Stahlbrammenoberfläche, beeinflusst werden. Die Zunderschicht (Oxidschicht) würde zudem wachsen und/oder beeinflusst werden. Auch eine höhere Tendenz zum Wasserstoffeintrag wäre gegeben. Diese nachteiligen Effekte treten nur in geringem Ausmaß auf bzw. können vernachlässigbar klein in ihrer Auswirkung gehalten werden, wenn die Schwelltemperatur respektive die Spanne der Schwelltemperatur nicht überschritten wird.

[0039] In mindestens einem Schritt b), welcher alternativ oder auch zusätzlich zu Schritt a) durchgeführt werden kann, wird zumindest ein Teil der in der Ausgleichszone im oberen Bereich des Wärmebehandlungsofens angeordneten Gasbrenner mit einem Brenngas gespeist, welches einen höheren Wasserstoffanteil und/oder Ammoniakanteil im Vergleich zum Brenngas der restlichen in der Ausgleichszone im unteren Bereich des Wärmebehandlungsofens angeordneten und gespeisten Gasbrenner aufweist. Bei dem Brenngas für die restlichen in der Ausgleichszone im unteren Bereich des Wärmebehandlungsofens angeordneten Gasbrenner kann es sich beispielsweise um ein konventionelles Brenngas handeln.

[0040] Vorzugsweise können alle in der Ausgleichszone im oberen Bereich des Wärmebehandlungsofens angeordneten Gasbrenner mit einem Brenngas gespeist werden, welches einen höheren Wasserstoffanteil und/oder Ammoniakanteil im Vergleich zum Brenngas der restlichen in der Ausgleichszone im unteren Bereich angeordneten und gespeisten Gasbrenner aufweist.

[0041] Beispielsweise können alle in der Ausgleichszone im unteren Bereich des Wärmebehandlungsofens angeordneten Gasbrenner mit einem konventionellen

Brenngas gespeist werden.

[0042] Alternativ zu Schritt a) können in Schritt b) alle im oberen Bereich des Wärmebehandlungssofens angeordneten Gasbrenner mit einem Brenngas gespeist werden, welches einen höheren Wasserstoffanteil und/oder Ammoniakanteil im Vergleich zum Brenngas der restlichen, allen im unteren Bereich des Wärmebehandlungssofens angeordneten und gespeisten Gasbrenner aufweist. Beispielsweise handelt es sich bei dem Brenngas für alle im unteren Bereich des Wärmebehandlungssofens angeordneten Gasbrenner um ein konventionelles Brenngas.

[0043] In mindestens einem Schritt c), welcher alternativ zu Schritt a) und Schritt b) oder alternativ zu Schritt a) oder alternativ zu Schritt b) oder zusätzlich zu Schritt a) oder zusätzlich zu Schritt b) oder zusätzlich zu Schritt a) und b) durchgeführt werden kann, wird ein Brenngas verwendet, welches eine Mischung enthaltend oder bestehend aus Kohlenstoffmonoxid mit einem Anteil zwischen 0,5 Vol.-% bis 40 Vol.-%, Rest Wasserstoff und/oder Ammoniak umfasst.

[0044] Dieses Brenngas kann bei der vorzugsweisen Durchführung nur des Schritts c) alle in dem Wärmebehandlungssofen angeordneten Gasbrenner speisen.

[0045] Einer Erhöhung des Anteils von Wasserstoff und/oder Ammoniak im Brenngas und somit respektive einer Erhöhung des Wasserdampfpartialdrucks in der Ofenatmosphäre sollte dahingehend gesteuert werden, dass eine gezielte Verschiebung der thermodynamischen Prozesse im Wärmebehandlungssofen bewirkt wird, insbesondere Einfluss auf die chemische Reaktion insbesondere zwischen Wasserdampf und Bramme (Substrat) genommen wird. Durch das Vorsehen von Kohlenstoffmonoxid mit einem Anteil zwischen 0,5 Vol.-% bis 40 Vol.-% im Brenngas kann positiv Einfluss auf eine veränderte Reaktionskinetik an der Oberfläche der Bramme genommen werden, wobei ein kompakter und brüchiger Zunderaufbau festgestellt werden konnte, was beispielsweise auf eine verringerte Einlagerung von Wasserstoff als Reaktionsprodukt im Wüstit hindeutet. Mithin kann in vorteilhafter Weise der Wasser-/Wasserdampfanteil in der Ofenatmosphäre infolge eines im Brenngas enthaltenden Kohlenstoffmonoxid-Anteils verringert werden und die Reaktionskinetik an der Oberfläche dadurch verändert werden. Dadurch können Oxidationsprozesse von frei verfügbarem Sauerstoff und Absorptionsprozesse insbesondere von frei verfügbarem Wasserstoff an der Oberfläche der wärmezubehandelnden Bramme reduziert werden, wobei ein aufbauender Zunder deutlich kompakter und zum Teil schmaler ausfallen kann. Insbesondere infolge einer reduzierten Wasserstoffeinlagerung kann sich weniger plastischer Wüstit im Zunder, einem sogenannten Klebezunder, ausbilden. Infolgedessen kann auch ein optimierter Zunderabtrag erfolgen und eine geringere Ausbildung von Oberflächendefekten infolge des Zunderabtrags kann dadurch ermöglicht werden.

[0046] Das Brenngas kann nebst Wasserstoff und/o-

der Ammoniak Kohlenstoffmonoxid mit einem Anteil insbesondere zwischen 0,5 bis 30 Vol.-%, vorzugsweise zwischen 0,5 bis 20 Vol.-%, bevorzugt zwischen 0,5 und 10 Vol.-% aufweisen.

[0047] Näher erläutert wird die Erfindung anhand der folgenden Ausführungsbeispiele in Verbindung mit der Zeichnung.

[0048] Die Ausführungsbeispiele in Verbindung mit der Zeichnung zeigen im Wesentlichen die Schritte a) und b) in Verbindung mit dem Schritt:

- Wärmebehandeln der mindestens einen Bramme auf Warmwalzhitze in einem direkt beheizten Wärmebehandlungssofen in Form mindestens eines Hubbalkenofens oder mindestens eines Stoßofens, welcher mit Gasbrennern ausgestattet ist, wobei die Gasbrenner bezogen auf die Durchlaufebene der Bramme in einem oberen Bereich und in einem unteren Bereich des Wärmebehandlungssofens angeordnet sind, wobei sich infolge des Wärmebehandelns zumindest teilweise auf der Oberfläche der Bramme Zunder bildet, wobei zumindest ein Teil der Gasbrenner mit einem wasserstoffhaltigen und/oder ammoniakhaltigen Brenngas gespeist wird, wobei die Bramme in einer Heizzone des Wärmebehandlungssofens erwärmt und in einer Ausgleichszone des Wärmebehandlungssofens auf eine Zieltemperatur von mindestens 1000 °C durchwärmt wird.

[0049] Figur 1 im oberen Teil und Figur 2 zeigen jeweils eine Prinzipskizze eines beispielhaften direkt beheizten Wärmebehandlungssofens (1) in Form mindestens eines Hubbalkenofens oder mindestens eines Stoßofens zum Wärmebehandeln mindestens einer nicht dargestellten Bramme auf Warmwalzhitze, welcher mit Gasbrennern (4) ausgestattet ist, wobei die Gasbrenner (4) bezogen auf die Durchlaufebene der Bramme in einem oberen Bereich (O) und in einem unteren Bereich (U) des Wärmebehandlungssofens (1) angeordnet sind, wobei sich infolge des Wärmebehandelns zumindest teilweise auf der Oberfläche der Bramme Zunder bildet, wobei zumindest ein Teil der Gasbrenner mit einem wasserstoffhaltigen und/oder ammoniakhaltigen Brenngas gespeist wird, wobei die Bramme in einer Heizzone (2) des Wärmebehandlungssofens (1) erwärmt und in einer Ausgleichszone (3) des Wärmebehandlungssofens (1) auf eine Zieltemperatur von mindestens 1000 °C durchwärmt wird. Die Pfeile links und rechts am Wärmebehandlungssofen (1) stellt die Prozessrichtung respektive die Durchlaufrichtung der wärmezubehandelnden Brammen dar.

[0050] Figur 1 schlägt Schritt a) vor. Zumindest in einem Teilabschnitt (2.1) der Heizzone (2) wird ein Brenngas verwendet, welches einen höheren Wasserstoffanteil und/oder Ammoniakanteil im Vergleich zum Brenngas in der Ausgleichszone (3) aufweist. Dabei wird die Bramme zunächst in der Heizzone (2) auf eine

Temperatur (T) aufgewärmt, welche einer Zieltemperatur (Tz) - 100 K <= Temperatur (T) <= Zieltemperatur (Tz) entspricht, und anschließend in der Ausgleichszone (3) auf einer Zieltemperatur (Tz) gehalten wird.

[0051] Im unteren Teil der Figur 1 ist ein Diagramm eines Temperaturverlaufs einer zu erwärmenden Bramme entlang der Länge (L) des Wärmebehandlungssofens (1) dargestellt. Anhand des Temperaturverlaufs ist gut zu erkennen, an welcher Stelle die Heizzone (2) in die Ausgleichszone (3) übergeht, wobei diese Trennung der Zonen (2,3) beispielsweise durch das Erreichen einer vorgegebenen Zieltemperatur (Tz) definiert werden kann. In diesem Beispiel entspricht die Temperatur (T), auf welche die Bramme erwärmt und durchwärmt werden soll, beispielhaft der Zieltemperatur (Tz). Des Weiteren kann auch eine Schwelltemperatur (Ts) festgelegt werden, welche zumindest in einem Teilabschnitt (2.1) oder innerhalb eines Teilabschnitts (2.1) der Heizzone (2) erreicht wird, welche unterhalb der Zieltemperatur (Tz) liegt.

[0052] Nicht dargestellt ist, dass die Bramme beispielsweise bereits eine bis zu 600 °C betragende Temperatur aufweisen kann, so dass die Zieltemperatur insbesondere schneller im Vergleich zu einer kalt eingeführten Bramme erreicht werden kann.

[0053] Um einen positiven Effekt auf die Zunderstruktur nehmen zu können, kann die Schwelltemperatur (Ts) zwischen 850 °C und 1200 °C betragen. Die Zieltemperatur (Tz) kann zwischen 1000 °C und 1500 °C betragen.

[0054] Die Gasbrenner (4), die im Teilabschnitt (2.1) der Heizzone (2) angeordnet sind, werden mit einem Brenngas gespeist, welches sich von dem Brenngas, welches die im restlichen Abschnitt (2.2) der Heizzone (2) und die in der Ausgleichszone (3) angeordneten Gasbrenner (4) speist, unterscheidet, wobei ein Brenngas in dem mindestens einen Teilabschnitt (2.1) der Heizzone (2) mit einem höheren Wasserstoffanteil und/oder Ammoniakanteil im Vergleich zum Brenngas in der Ausgleichszone (3) verwendet wird. Bevorzugt wird ein Brenngas in dem mindestens einen Teilabschnitt (2.1) der Heizzone (2) mit einem geringeren Kohlenstoffanteil im Vergleich zum Brenngas in der Ausgleichszone (3) verwendet. Besonders bevorzugt wird ein Brenngas in dem mindestens einen Teilabschnitt (2.1) der Heizzone (2) umfassend oder bestehend aus Wasserstoff und/oder Ammoniak verwendet. Bei dem Brenngas für den restlichen Abschnitt (2.2) der Heizzone (2) und die Ausgleichszone (3) kann es sich beispielsweise um ein konventionelles Brenngas handeln.

[0055] Figur 2 schlägt Schritt b) vor. Zumindest ein Teil der in der Ausgleichszone (3) im oberen Bereich (O) des Wärmebehandlungssofens (1) angeordneten Gasbrenner (4) werden mit einem Brenngas gespeist, welches einen höheren Wasserstoffanteil und/oder Ammoniakanteil im Vergleich zum Brenngas der restlichen in der Ausgleichszone (3) angeordneten und gespeisten Gasbrenner (4) aufweist.

[0056] Da eine Verbrennung von wasserstoffhaltigen und/oder ammoniakhaltigen Brenngas respektive eine reine Wasserstoff- und/oder Ammoniakverbrennung zu einem erhöhten Wasserdampfpartialdruck und einer andersartigen Zunderstruktur führen kann, kann ein positiver Effekt insbesondere auch hinsichtlich einer (Teil-)Dekarbonisierung erzielt werden, wenn selektiv Wasserstoff und/oder Ammoniak bevorzugt aus "grüner Erzeugung" zum Einsatz kommt. So sind beispielsweise folgende Zusammensetzungen der Brenngase möglich:

Zumindest ein Teil der in der Ausgleichszone (3) im oberen Bereich (O) des Wärmebehandlungssofens (1) angeordneten Gasbrenner (4), insbesondere alle im oberen Bereich (O) des Wärmebehandlungssofens (1) angeordneten Gasbrenner (4) in der Ausgleichszone (3), vorzugsweise alle Gasbrenner (4) im oberen Bereich (O) des Wärmebehandlungssofens (1) werden mit einem wasserstoffhaltigen und/oder ammoniakhaltigen Brenngas gespeist, wobei zumindest ein Teil der in der Ausgleichszone (3) im unteren Bereich (U) des Wärmebehandlungssofens (1) angeordneten Gasbrenner (4), insbesondere alle im unteren Bereich (U) des Wärmebehandlungssofens (1) angeordneten Gasbrenner (4) in der Ausgleichszone (3), vorzugsweise alle Gasbrenner (4) im unteren Bereich (U) des Wärmebehandlungssofens (1) mit einem beispielsweise konventionellen Brenngas gespeist werden.

[0057] Eine Kombination der Schritte a) und b) wäre soweit technisch umsetzbar möglich, nicht dargestellt. Auch die Integration des Schritt c in Schritt a und/oder Schritt b wäre möglich, nicht dargestellt.

35 Patentansprüche

1. Verfahren zum Wärmebehandeln einer Stahlbramme auf Warmwalzhitze in einem direkt beheizten Wärmebehandlungssofen in Form mindestens eines Hubbalkenofens oder mindestens eines Stoßofens, welcher mit Gasbrennern ausgestattet ist, wobei die Gasbrenner bezogen auf die Durchlaufebene der Stahlbramme in einem oberen Bereich und in einem unteren Bereich des Wärmebehandlungssofens angeordnet sind, wobei sich infolge des Wärmebehandelns zumindest teilweise auf der Oberfläche der Stahlbramme Zunder bildet, wobei zumindest ein Teil der Gasbrenner mit einem wasserstoffhaltigen und/oder ammoniakhaltigen Brenngas gespeist wird, wobei die Stahlbramme in einer Heizzone des Wärmebehandlungssofens auf eine Zieltemperatur erwärmt und in einer Ausgleichszone des Wärmebehandlungssofens auf eine Zieltemperatur von mindestens 1000 °C durchwärmt wird, wobei die Stahlbramme mit einer Zieltemperatur aus dem Wärmebehandlungssofen entnommen wird und zumindest teilweise entzündert wird, um einem Warmwalzen zugeführt zu werden,

wobei die Stahlbramme neben Eisen und unvermeidbaren Verunreinigungen in Gew.-% folgende Elemente enthält oder daraus besteht mit

C:	bis zu 1,50 %,
Si:	2,0-4,5 %,
Mn:	bis zu 2,60 %,
Al:	bis zu 2,0 %,
N:	bis zu 0,020 %,
S:	bis zu 0,0025 %,
P:	bis zu 0,350 %,

optional eines oder mehrere der Elemente aus der Gruppe (Zr, Ti, Cr, Nb, Mo, V, Co, Cu, Ni, Seltene Erden, Sb, Sn) mit

Zr:	bis zu 0,30 %,
Ti:	bis zu 0,50 %,
Cr:	bis zu 2,0 %,
Nb:	bis zu 0,10 %,
Mo:	bis zu 1,50 %,
V:	bis zu 0,30 %,
Co:	bis zu 0,10 %,
Cu:	bis zu 2,0 %,
Ni:	bis zu 2,0 %,
Seltene Erden:	bis zu 0,10 %,
Sb:	bis zu 0,10 %,
Sn:	bis zu 0,10 %,

dadurch gekennzeichnet, dass das Verfahren weiterhin mindestens einen oder mehrere der nachfolgenden Schritte a) bis c) umfasst:

- a) Dass zumindest in einem Teilabschnitt der Heizzone ein Brenngas verwendet wird, welches einen höheren Wasserstoffanteil und/oder Ammoniakanteil im Vergleich zum Brenngas in der Ausgleichszone aufweist;
- b) dass zumindest ein Teil der in der Ausgleichszone im oberen Bereich des Wärmebehandlungsofens angeordneten Gasbrenner mit einem Brenngas gespeist werden, welches einen höheren Wasserstoffanteil und/oder Ammoniakanteil im Vergleich zum Brenngas der restlichen in der Ausgleichszone angeordneten und gespeisten Gasbrenner aufweist;
- c) dass ein Brenngas verwendet wird, welches eine Mischung enthaltend oder bestehend aus Kohlenstoffmonoxid mit einem Anteil zwischen 0,5 Vol.-% bis 40 Vol.-%, Rest Wasserstoff und/oder Ammoniak umfasst.

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei ein wasserstoffhaltiges Brenngas mit einem Wasserstoffanteil von

mindestens 70 Vol.-% verwendet wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1, wobei ein wasserstoffhaltiges und ammoniakhaltiges Brenngas mit einem Verhältnis von H_2/NH_3 zwischen 0,05 und 0,95 verwendet wird.
4. Verfahren nach Anspruch 1, wobei ein ammoniakhaltiges Brenngas mit einem Ammoniakanteil von mindestens 25 Vol.-% verwendet wird.
5. Verfahren nach einem der vorgenannten Ansprüche, wobei zur direkten Beheizung neben dem Brenngas ein sauerstoffhaltiges Gas verwendet wird und die Verbrennung mit einer Luftzahl zwischen 0,95 und 1,25 durchgeführt wird.
6. Verfahren nach einem der vorgenannten Ansprüche, wobei je nach Volumen der wärmezubehandelnden Bramme, und insbesondere auch abhängig von der Zieltemperatur, kann eine Verweilzeit im Wärmebehandlungsofen zwischen 10 Minuten und 48 Stunden betragen.
7. Verfahren nach einem der vorgenannten Ansprüche, wobei die Bramme auch warm oder heiß mit einer zwischen 100 bis zu 800 °C betragenden Temperatur in den Wärmebehandlungsofen eingesetzt werden kann.
8. Verfahren nach einem der vorgenannten Ansprüche, wobei in Schritt a) der mindestens eine Teilabschnitt der Heizzone in seiner Erstreckung im Wärmebehandlungsofen derart bemessen wird, dass die insbesondere in Abhängigkeit von der Verweilzeit innerhalb des Teilabschnitts eine Schwelltemperatur nicht überschreitet, welche jedoch unterhalb der Zieltemperatur liegt.
9. Verfahren nach Anspruch 8, wobei die Schwelltemperatur zwischen 850 °C und 1200 °C betragen kann.
10. Verfahren nach einem der vorgenannten Ansprüche, wobei in Schritt b) alle in der Ausgleichszone im oberen Bereich des Wärmebehandlungsofens angeordneten Gasbrenner mit einem Brenngas gespeist werden, welches einen höheren Wasserstoffanteil und/oder Ammoniakanteil im Vergleich zum Brenngas der restlichen in der Ausgleichszone im unteren Bereich angeordneten und gespeisten Gasbrenner aufweist.
11. Verfahren nach einem der vorgenannten Ansprüche, wobei in Schritt b) alle im oberen Bereich des Wärmebehandlungsofens angeordneten Gasbrenner mit einem Brenngas gespeist werden, welches einen höheren Wasserstoffanteil und/oder Ammo-

niakanteil im Vergleich zum Brenngas der restlichen, allen im unteren Bereich des Wärmebehandlungsofens angeordneten und gespeisten Gasbrenner aufweist.

5

12. Verfahren nach einem der vorgenannten Ansprüche, wobei in Schritt c) alle in dem Wärmebehandlungsofen angeordneten Gasbrenner mit einem Brenngas gespeist werden, welches eine Mischung enthaltend oder bestehend aus Kohlenstoffmonoxid mit einem Anteil zwischen 0,5 Vol.-% bis 40 Vol.-%, Rest Wasserstoff und/oder Ammoniak umfasst.

10

13. Verfahren nach einem der vorgenannten Ansprüche, wobei die Stahlbramme neben Eisen und unvermeidbaren Verunreinigungen in Gew.-% folgende Elemente enthält oder daraus besteht mit

15

C:	bis zu 0,0060 %,	20
Si:	2,40-3,40 %,	
Mn:	bis zu 0,80 %,	
Al:	bis zu 1,80 %,	
N:	bis zu 0,0060 %,	25
S:	bis zu 0,0060 %,	
P:	bis zu 0,30 %.	

14. Verfahren nach Anspruch 13, wobei die Stahlbramme neben Eisen und unvermeidbaren Verunreinigungen in Gew.-% folgende Elemente enthält oder daraus besteht mit

30

C:	0,0002-0,0050 %,	35
Si:	2,80-3,150 %,	
Mn:	0,50-0,70 %,	
Al:	1,30-1,70 %.	

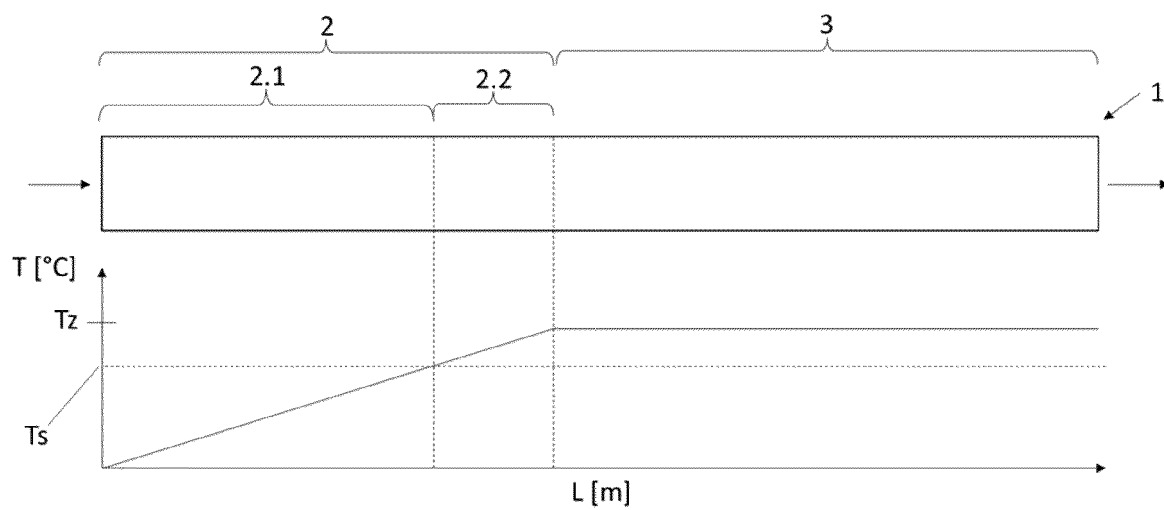
40

15. Verfahren nach Anspruch 13, wobei die Stahlbramme neben Eisen und unvermeidbaren Verunreinigungen in Gew.-% folgende Elemente enthält oder daraus besteht mit

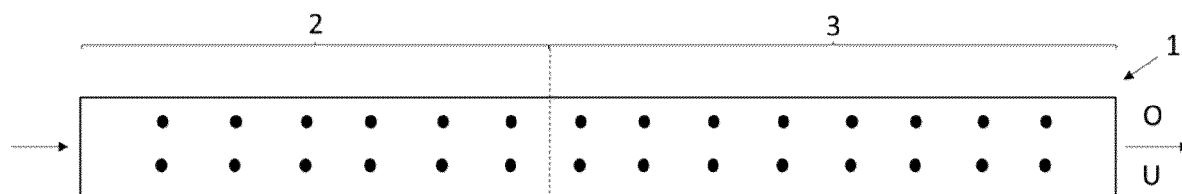
45

C:	0,0002-0,0050 %,	
Si:	3,150-3,40 %,	
Mn:	0,050-0,20 %,	
Al:	0,80-1,20 %.	50

55



Figur 1



Figur 2



EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung

EP 25 17 1069

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
X	JP 7 564511 B1 (JFE STEEL CORP) 9. Oktober 2024 (2024-10-09) * Zusammenfassung * * Tabelle 1 * -----	1-15	INV. C21D8/02 C21D9/00 C22C33/04 C22C38/00
X	WO 2024/185213 A1 (JFE STEEL CORP [JP]) 12. September 2024 (2024-09-12) * das ganze Dokument * -----	1-15	C22C38/02 C22C38/04 C22C38/06 C22C38/18
A	EP 3 868 903 A1 (NIPPON STEEL CORP [JP]) 25. August 2021 (2021-08-25) * das ganze Dokument * -----	1-15	C22C38/20 C22C38/22 C22C38/24 C22C38/26
A	EP 3 584 331 A1 (JFE STEEL CORP [JP]) 25. Dezember 2019 (2019-12-25) * das ganze Dokument * -----	1-15	C22C38/28 C22C38/30 C22C38/34 C22C38/38 C22C38/40
			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)
			C21D F27D C22C F27B
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort		Abschlußdatum der Recherche	
Den Haag		30. September 2025	
		Prüfer	
		Stocker, Christian	
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE		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	
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			

1

EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)



EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung
EP 25 17 1069

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
			C22C38/42 C22C38/44 C22C38/46 C22C38/48 C22C38/50 C22C38/52 C22C38/58 F27B9/04 F27B9/30 F27B9/36 F27D7/06
			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort	Abschlußdatum der Recherche		Prüfer
Den Haag	30. September 2025		Stocker, Christian
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE		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	
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			

1
EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)

ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR.

EP 25 17 1069

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.

30-09-2025

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
JP 7564511 B1	09-10-2024	JP 7564511 B1	09-10-2024
		JP 2025033605 A	13-03-2025
		TW 202511503 A	16-03-2025
		WO 2025046980 A1	06-03-2025

WO 2024185213 A1	12-09-2024	JP 2024126838 A	20-09-2024
		TW 202436794 A	16-09-2024
		WO 2024185213 A1	12-09-2024

EP 3868903 A1	25-08-2021	CN 112805395 A	14-05-2021
		EP 3868903 A1	25-08-2021
		JP 6897882 B2	07-07-2021
		JP WO2020080553 A1	15-02-2021
		KR 20210053957 A	12-05-2021
		TW 202022139 A	16-06-2020
		US 2022010396 A1	13-01-2022
		WO 2020080553 A1	23-04-2020

EP 3584331 A1	25-12-2019	CN 110291214 A	27-09-2019
		EP 3584331 A1	25-12-2019
		JP 6512386 B2	15-05-2019
		JP WO2018151296 A1	27-06-2019
		KR 20190107072 A	18-09-2019
		RU 2716052 C1	05-03-2020
		US 2020040419 A1	06-02-2020
		WO 2018151296 A1	23-08-2018

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

- WO 2024017440 A1 [0007]
- WO 2024116132 A1 [0008]

In der Beschreibung aufgeführte Nicht-Patentliteratur

- **ZHOU et al.** The morphologies of oxide scale in a Si-containing steel. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*, 2017, vol. 244, 012026 [0003]