

(19)



(11)

EP 4 825 992 A1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:
21.10.2026 Patentblatt 2026/43

(21) Anmeldenummer: **25171080.2**

(22) Anmeldetag: **16.04.2025**

(51) Internationale Patentklassifikation (IPC):
C21D 8/02 (2026.01) **C21C 5/52** (2006.01)
C21D 9/00 (2006.01) **F27D 7/00** (2006.01)
C22C 33/04 (2006.01) **C22C 38/02** (2006.01)
C22C 38/04 (2006.01) **F23D 1/00** (2006.01)
F27B 9/30 (2006.01)

(52) Gemeinsame Patentklassifikation (CPC):
C21D 9/0056; C21C 5/52; C21C 5/5217;
C21D 8/021; C21D 9/0081; C22C 33/04;
C22C 38/02; C22C 38/04; F23C 2900/9901

(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, Tobias**
47166 Duisburg (DE)
 • **Kokotin, Valentin**
47166 Duisburg (DE)

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

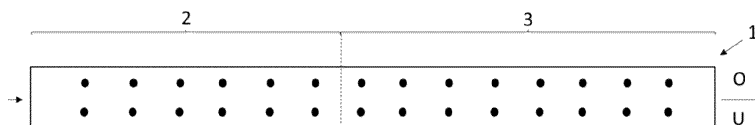
(54) VERFAHREN ZUM HERSTELLEN EINES WARBANDS

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Herstellen eines Warmbands, umfassend die folgenden Schritte:

- Erzeugen einer Eisenschmelze in einem Elektrolichtbogenofen mit einer Zusammensetzung in Gew.-%: C: max. 1,0 %; Mn: 0,050 bis 12,0 %; Si: 0,0010 bis 5,0 %; N: max. 0,10 %; S: max. 0,10 %; P: max. 0,20 %; optional eines oder mehrerer der Elemente: Al: max. 2,0 %; Mo: max. 1,50 %; Ni: max. 2,0 %; Cr: max. 2,0 %; B: max. 0,010 %; Ca: max. 0,010 %; Nb: max. 0,50 %; Ti: max. 0,50 %; V: max. 0,50 %; Cu: max. 2,0 %; Co: max. 0,50 %; Sn: max. 0,50 %; As: max. 0,20 %; Seltene Erden: max. 0,30 %; Rest Fe und unvermeidbaren Verunreinigungen, wobei Schrott mit einem Anteil von mindestens 15 % bezogen auf die Tonne erzeugte Eisenschmelze zugegeben wird und der Schrott mindestens eines oder mehrere der Elemente Cu, Cr, Ni, Mo, Zn, Sb, As in Summe $\geq 0,50$ Gew.-% umfasst;
- Gießen der Eisenschmelze und Erzeugen von Brammen;
- Wärmebehandeln der mindestens einen Bramme 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 Bramme in einem oberen Bereich und in einem unteren Bereich des Wärmebehandlungsofens 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 Wärmebehandlungsofens erwärmt und in einer Ausgleichszone des Wärmebehandlungsofens auf eine Zieltemperatur von mindestens 1000 °C durchwärmt wird;

- Entnehmen der Bramme aus dem Wärmebehandlungsofen, zumindest teilweises Entzundern der Bramme und Warmwalzen der Bramme zu einem Warmband.



Figur 2

EP 4 825 992 A1

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Herstellen eines Warmbands.

[0002] Die weltweit verfolgten Ziele zum Klimaschutz, wie beispielsweise die im europäischen Klimagesetz verankerte Zielsetzung die Nettotreibhausgasemissionen bis 2050 auf netto null zu reduzieren, führen zu fundamentalen Transformationsprozessen in diversen Industriesektoren, wie unter anderem in der Stahlindustrie. Hier wird zum einen der Anteil fossiler Brennstoffe in betrieblichen Wärmebehandlungsöfen (beispielsweise zur Brammenerwärmung), in Zukunft zugunsten CO₂-neutraler Brennstoffe, wie beispielsweise Wasserstoff und/oder Ammoniak, ersetzt werden. Zum anderen soll die bestehende, konventionelle und treibhausgas-intensive Rohstahlproduktion (Hochofenroute) zugunsten einer klimafreundlicheren Alternative, wie beispielsweise einer Direktreduktionsanlage und einem Elektrolichtbogenofen, ersetzt werden. Durch die immer stärker seitens der OEM und der Politik geforderten Recyclingquoten soll dies, insbesondere im Falle der Verwendung eines Elektrolichtbogenofens, zu einem deutlich höheren Schrotteinsatz bei der Rohstahlerzeugung führen.

[0003] Diese Technologiewechsel sind mit erheblichen Auswirkungen für die zu erzeugenden Produkte verbunden, sodass es zu diversen qualitativen, ökonomischen und ökologischen Herausforderungen infolge der Effektüberlagerung kommen kann. So würde durch den Einsatz höherer Schrottanteile zur Rohstahlerzeugung, bis hin zu einem 100 % Schrotteinsatz im Elektrolichtbogenofen, ein signifikanter Anstieg von Begleitelementen wie Cu, Cr, Ni, Mo, Zn, Sb und As zu beobachten sein. Diese wiederum führen zur Beeinflussung der Verarbeitungseigenschaften, wie bspw. einer veränderten Zunderausbildung in direktbefeuerten Ofenprozessen. Gleichzeitig kommt es infolge einer Umstellung des Verbrennungsprozessgases, ausgehend von einem überwiegend fossilen Brennstoff (wie Erdgas) hin zu einem nachhaltigen Brennstoff (wie Wasserstoff und/oder Ammoniak) zu einer Veränderung der Zunderausbildungsprozesse, sodass ein deutliches Zunderwachstum zu erwarten ist. Darüber hinaus stellt sich eine veränderte Zunderstruktur ein, welche stärker mit der Substratoberfläche verbunden ist und durch die festere Haftung eine aufwändigere Entfernung erfordert.

[0004] Bei der Prozessierung infolge des Schrotteinsatzes im Wesentlichen verunreinigter mit hohen Begleitelementgehalten versehenen Stahlgütern in direkt beheizten Ofenprozessen können so diverse Probleme hervorgerufen werden:

- gesteigerter Materialverlust durch verstärkte Zunderausbildung und somit Reduktion der Ausbringung;
- Qualitätsprobleme durch fest haftenden (Klebe-)Zunder bzw. Entzunderungsprobleme mit herkömmlichen Zunderwäscher;
- gesteigerte Kosten durch Nachbearbeitung und Abwertung von Brammen bzw. Warmband;
- erhöhte CO₂-Emissionen pro Tonne Warmband durch erforderliche Neuerzeugung des verlorenen Materials.

[0005] 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.

[0006] 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. Nachfolgend soll als konventionelles Brenngas ein Brenngas verstanden werden, welches mindestens eine oder mehrere der Komponenten Erdgas, Hüttengas, wie Koksofengas, Hochofengas, Konvertergas, Einschmelzergas (EAF, SAF) enthält oder daraus besteht. Eine Umstellung auf eine Verbrennung mit Wasserstoff und/oder Ammoniak kann mithin einen stärkeren, insbesondere negativen Einfluss auf die Oberflächenqualität des zu formenden Stahlmaterials nehmen. Der im 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 Bramme in einer Warmwalzstraße zu einem Warmband gewalzt wird.

[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.

5 **[0009]** Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, ein Verfahren zur Herstellung eines Warmbands bereitzustellen, mit welchem weniger CO₂ freigesetzt und gleichzeitig der bei der Wärmebehandlung entstehende Zunder im Wesentlichen vollständig abgetragen werden kann.

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

10 **[0011]** Die Lehre der Erfindung betrifft ein Verfahren zum Herstellen eines Warmbands, umfassend die folgenden Schritte:

- Erzeugen einer Eisenschmelze in einem Elektrolichtbogenofen mit einer Zusammensetzung in Gew.-%:

15	C:	max. 1,0 %;
	Mn:	0,05 bis 12,0 %;
	Si:	0,001 bis 5,0 %;
	N:	max. 0,10 %;
	S:	max. 0,10 %;
20	P:	max. 0,20 %;

optional eines oder mehrerer der Elemente:

25	Al:	max. 2,0 %;
	Mo:	max. 1,50 %;
	Ni:	max. 2,0 %;
	Cr:	max. 2,0 %;
30	B:	max. 0,010 %;
	Ca:	max. 0,010 %;
	Nb:	max. 0,50 %;
	Ti:	max. 0,50 %;
	V:	max. 0,50 %;
35	Cu:	max. 2,0 %;
	Co:	max. 0,50 %;
	Sn:	max. 0,50 %;
	As:	max. 0,20 %;
40	Seltene Erden:	max. 0,30 %;

Rest Fe und unvermeidbaren Verunreinigungen, wobei Schrott mit einem Anteil von mindestens 15 % bezogen auf die Tonne erzeugte Eisenschmelze zugegeben wird und der Schrott als unerwünschte Begleitelemente mindestens eines oder mehrere der Elemente Cu, Cr, Ni, Mo, Zn, Sb, As in Summe $\geq 0,50$ Gew.-% umfasst;

45 - Gießen der Eisenschmelze und Erzeugen von Brammen;

- Wärmebehandeln der mindestens einen Bramme auf Warmwalzhitze in einem direkt beheizten Wärmebehandlungs-
ofen in Form mindestens eines Hubbalkenofens oder mindestens eines Stoßofens, welcher mit Gasbrennern ausge-
stattet ist, wobei die Gasbrenner bezogen auf die Durchlaufebene der Bramme in einem oberen Bereich und in einem
unteren Bereich des Wärmebehandlungsofens angeordnet sind, wobei sich infolge des Wärmebehandelns zumindest
50 teilweise auf der Oberfläche der Bramme Zunder bildet, wobei zumindest ein Teil der Gasbrenner mit einem wasser-
stoffhaltigen und/oder ammoniakhaltigen Brenngas gespeist wird, wobei die Bramme in einer Heizzone des Wärme-
behandlungsofens auf eine Zieltemperatur erwärmt und in einer Ausgleichszone des Wärmebehandlungsofens auf eine
Zieltemperatur von mindestens 1000 °C durchwärmt wird;

55 - Entnehmen der Bramme aus dem Wärmebehandlungsofen, zumindest teilweises Entzundern der Bramme und
Warmwalzen der Bramme zu einem Warmband.

[0012] Des Weiteren umfasst die Lehre der Erfindung mindestens einen oder mehrere der nachfolgenden Schritte a)
bis c):

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 Wärmebehandlungssofens 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.

[0013] Die erzeugte Eisenschmelze in einem Elektrolichtbogenofen weist eine Zusammensetzung in Gew.-% auf mit:

C:	max. 1,0 %, insbesondere 0,0010 bis 0,80 %, vorzugsweise 0,0010 bis 0,60 %;
Mn:	0,050 bis 12,0 %, insbesondere 0,050 bis 8,0 %, vorzugsweise 0,050 bis 4,0 %;
Si:	0,0010 bis 5,0 %; insbesondere 0,0010 bis 4,0 %, vorzugsweise 0,0010 bis 3,50 %;
N:	max. 0,10 %;
S:	max. 0,10 %;
P:	max. 0,20 %;

optional eines oder mehrerer der Elemente:

Al:	max. 2,0 %; insbesondere 0,0001 bis 1,90 %, vorzugsweise 0,0020 bis 1,70 %;
Mo:	max. 1,50 %; insbesondere max. 0,90 %, vorzugsweise max. 0,80 %;
Ni:	max. 2,0 %; insbesondere max. 0,90 %, vorzugsweise max. 0,80 %;
Cr:	max. 2,0 %; insbesondere max. 1,20 %, vorzugsweise max. 0,80 %;
B:	max. 0,010 %; insbesondere max. 0,0070 %, vorzugsweise max. 0,0050 %;
Ca:	max. 0,01 %;
Nb:	max. 0,50 %; insbesondere max. 0,40 %, vorzugsweise max. 0,30 %;
Ti:	max. 0,50 %; insbesondere max. 0,40 %, vorzugsweise max. 0,30 %;
V:	max. 0,50 %; insbesondere max. 0,40 %, vorzugsweise max. 0,30 %;
Cu:	max. 2,0 %; insbesondere max. 0,70 %, vorzugsweise max. 0,50 %;
Co:	max. 0,50 %; insbesondere max. 0,40 %, vorzugsweise max. 0,30 %;
Sn:	max. 0,50 %; insbesondere max. 0,30 %, vorzugsweise max. 0,20 %;
As:	max. 0,20 %; insbesondere max. 0,10 %, vorzugsweise max. 0,050 %;
Seltene Erden:	max. 0,30 %; insbesondere max. 0,20 %, vorzugsweise max. 0,10 %; Rest Fe und unvermeidbaren Verunreinigungen.

[0014] Das Gießen der Eisenschmelze(n) und Erzeugen von Brammen erfolgt beispielsweise über dafür geeignete und dem Fachmann bekannte Anlagen, wie beispielsweise über Stranggießanlagen. Die erzeugten Brammen können in Lagern bis auf deren Abruf verweilen, so dass es zugelassen wird, dass diese in der Regel an Umgebungssphäre auf Umgebungstemperatur abkühlen.

[0015] Zur Weiterbehandlung und zur Erzeugung von Warmband wird die Bramme oder werden die Brammen einem Wärmebehandeln in einem direkt beheizten Wärmebehandlungssofen in Form mindestens eines Hubbalkenofens oder mindestens eines Stoßofens zugeführt, 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(n) 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 auf eine Zieltemperatur erwärmt und in einer Ausgleichszone des Wärmebehandlungssofens auf eine Zieltemperatur von mindestens 1000 °C durchwärmt wird.

[0016] Das Wärmebehandeln der mindestens einen Bramme auf Warmwalzhitze erfolgt in der Art, dass die Bramme auf eine Zieltemperatur von mindestens 1000 °C durchwärmt und insbesondere bei dieser Temperatur aus dem

Wärmebehandlungsöfen entnommen wird, wobei die Zieltemperatur insbesondere mindestens 1050 °C, vorzugsweise mindestens 1100 °C, bevorzugt mindestens 1150 °C betragen kann. Prinzipiell sollte die Zieltemperatur von 1500 °C nicht überschritten werden, um ein partielles/vollständiges Aufschmelzen und/oder zu starke Verzunderung der Bramme zu vermeiden. Aus ökologischen und ökonomischen Gründen wird die Zieltemperatur insbesondere auf maximal 1450 °C, vorzugsweise auf maximal 1400 °C, bevorzugt auf maximal 1350 °C, weiter bevorzugt auf maximal 1330 °C beschränkt. Gemessen wird die (Ziel-)Temperatur beispielsweise an einer Seite auf der Oberfläche der Bramme respektive auf der Zunderoberfläche, insbesondere mit Pyrometern oder anderen geeigneten Messmitteln. Diese genannten Temperaturen sollten auch im Kern der Bramme nicht unter- bzw. überschritten werden, wobei die Kerntemperatur einer Bramme im Normalbetrieb nicht direkt ermittelbar ist. Somit kann die (Ziel-)Temperatur der Bramme mit dem Fachmann bekannten Mitteln erfasst werden. Die Temperatur im Wärmebehandlungsöfen respektive die Temperatur der Atmosphäre in dem Wärmebehandlungsöfen kann durchaus höher liegen.

[0017] Die entnommene Bramme wird einem Zunderwäscher oder einem vergleichbaren Zunderentferner zugeführt, um den Zunder von den Oberflächen der Bramme bevorzugt vollständig zu entfernen. Anschließend wird die entzunderte Bramme einem Warmwalzwerk zugeführt, welches zwischen drei und sieben Walzgerüste sowie optional bis zu drei Vorgerüste aufweisen kann, in welchem aus der Bramme ein Warmband erzeugt wird. Die Dicke des Warmbands kann beispielsweise zwischen 1,50 und 30 mm, insbesondere bis zu 26,0 mm, vorzugsweise bis zu 15,0 mm, bevorzugt bis zu 10,0 mm, weiter bevorzugt bis zu 4,50 mm aufweisen.

[0018] Das Prinzip zur Herstellung eines Warmbands aus einer Bramme ist mithin Stand der Technik.

[0019] 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 (Ziel-)Temperatur berührungslos erfasst, beispielsweise mittels Pyrometer, Laserscanner, Wärmebildkamera etc.

[0020] Schrott ist ein wesentlicher Rohstoff in der Elektrolichtbogenöfen (EAF)-Stahlherstellung. Der Prozess beginnt mit dem Hinzufügen von Schrott in den EAF, wo er durch elektrische Energie geschmolzen wird. Diese Methode ermöglicht es, verschiedene Arten von Stahlschrott zu recyceln, was sowohl wirtschaftlich als auch ökologisch vorteilhaft ist. Der Schrott kann in einem automatischen System in den EAF geladen und beispielsweise durch die direkte Abwärme des EAF's vorgeheizt werden, wodurch der Energieverbrauch weiter reduziert werden kann. Durch die seitens der OEM sukzessive geforderten höheren Recyclingraten im Werkstoff Stahl nehmen auch unerwünschte Begleitelemente wie Cu, Cr, Ni, Mo, Zn, Sb, As, welche durch nicht sortenreinen Schrott eingetragen werden können, zu und können insbesondere mit einem wasserstoffhaltigen und/oder ammoniakhaltigen Brenngas beim Wärmebehandeln, die zu einer höheren Ofenfeuchte führen, in Kombination zu einer Zunderstruktur führen, welche eine hohe Dicke und/oder eine feste Haftung auf dem Substrat (Bramme) insbesondere in Verbindung mit den genannten unerwünschten Begleitelementen aufweisen kann. Diese können auch verstärkte Segregationseffekte der zuvor genannten Begleitelemente hervorrufen, welche sich wiederum negativ auf die Weiterarbeitungsprozesse auswirken können. Durch die Kombination aus gesteigerten Verzunderungsprozessen in Kombination mit erhöhten Begleitelementgehalten, wie bspw. Cu, kann das Rissrisiko zur Heißrissanfälligkeit beim Warmwalzen signifikant steigen. Um einen positiven Einfluss auf die Zunderstruktur nehmen zu können, wird mindestens einer oder mehrerer der Schritte a) bis c) vorgeschlagen.

[0021] Die EAF-Stahlherstellung ist flexibel und kann schnell an unterschiedliche Produktionsanforderungen angepasst werden. Des Weiteren ermöglicht sie die Herstellung von hochwertigem Stahl mit präziser Kontrolle der chemischen Zusammensetzung. Durch den Einsatz von anteiligem Schrott werden die CO₂-Emissionen begünstigt, da weniger Energie für die Herstellung von Stahl aus recyceltem Material benötigt wird.

[0022] Schrott kann mit einem Anteil von insbesondere mindestens 17, 20 %, vorzugsweise mindestens 22, 24 %, bevorzugt mindestens 27, 30 %, besonders bevorzugt mindestens 32, 34 %, weiter bevorzugt mindestens 36, 39 % bezogen auf die Tonne erzeugte Eisenschmelze zugegeben werden. Der Schrottanteil kann maximal 100 % betragen, kann aber auf insbesondere maximal 90, 80 %, vorzugsweise maximal 70, 60 %, bevorzugt maximal 57, 54 %, besonders bevorzugt maximal 51, 48 % gesenkt werden.

[0023] Der Schrott umfasst als unerwünschte Begleitelemente mindestens eines oder mehrere der Elemente Cu, Cr, Ni, Mo, Zn, Sb, As in Summe $\geq 0,50$ Gew.-%, insbesondere mindestens 0,80, 1,0 Gew.-%, vorzugsweise mindestens 1,30, 1,50 Gew.-%, bevorzugt mindestens 1,70, 1,90 Gew.-%. Die unerwünschte Begleitelemente mit mindestens einem oder mehreren der Elemente Cu, Cr, Ni, Mo, Zn, Sb, As können in Summe beispielsweise maximal 10,0 Gew.-%, insbesondere maximal 9,50, 9,0 Gew.-%, vorzugsweise maximal 8,50, 8,0 Gew.-%, bevorzugt maximal 7,0, 6,0 Gew.-%, besonders bevorzugt maximal 5,0, 4,50 Gew.-% betragen.

[0024] 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 Wasserstoffanteil und/oder Ammoniakanteil

kann der 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.

[0025] 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.

[0026] 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.

[0027] 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.

[0028] 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.

[0029] Je nach Volumen der wärmezubehandelnden Brame, und insbesondere auch abhängig von der Zieltemperatur, kann eine Verweilzeit im Wärmebehandlungssofen 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.

[0030] Die Brame 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 Wärmebehandlungssofen eingesetzt werden. Dabei kann beispielsweise die Brame 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 Wärmebehandlungssofen. Mit anderen Worten kann die Temperatur beim Einsetzen der Brame in den Wärmebehandlungssofen mindestens 100 °C, insbesondere mindestens 200 °C, vorzugsweise mindestens 300 °C, bevorzugt mindestens 400 °C betragen.

[0031] In mindestens einem Schritt a) kann zumindest in einem Teilabschnitt der Heizzone ein Brenngas verwendet werden, welches einen höheren Wasserstoffanteil 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.

[0032] 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 im Rauchgas respektive 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 Oxidationsprozess stattfinden und Absorptionsprozesse insbesondere für Wasserstoff geringgehalten werden können.

[0033] 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.

[0034] Bevorzugt kann der mindestens eine Teilabschnitt der Heizzone in seiner Erstreckung im WärmebehandlungsOfen derart bemessen sein, dass die Brame 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 Begleitelemente des Schrotts 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 Brame 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 Gasbrenner, 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 Brammen 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 Brame inklusive der Begleitelemente gegeben ist, welche an der Oberfläche der Brame entsteht. Durch das Vorhandensein eines höheren Wasserdampfpartialdrucks kann die Verbindung zwischen Zunder und Brammenoberfläche, vereinfacht gesagt die Haftung an der Brammenoberfläche, 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.

[0035] 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.

[0036] 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.

[0037] Beispielsweise können alle in der Ausgleichszone im unteren Bereich des WärmebehandlungsOfens angeordneten Gasbrenner mit einem konventionellen Brenngas gespeist werden.

[0038] Alternativ zu Schritt a) können in Schritt b) alle 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, allen im unteren Bereich des WärmebehandlungsOfens angeordneten und gespeisten Gasbrenner aufweist. Beispielsweise handelt es sich bei dem Brenngas für alle im unteren Bereich des WärmebehandlungsOfens angeordneten Gasbrenner um ein konventionelles Brenngas.

[0039] 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.

[0040] Dieses Brenngas kann bei der vorzugsweisen Durchführung nur des Schritts c) alle in dem WärmebehandlungsOfen angeordneten Gasbrenner speisen.

[0041] 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.

[0042] Das Brenngas kann nebst Wasserstoff und/oder 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.

[0043] Näher erläutert wird die Erfindung anhand der folgenden Ausführungsbeispiele in Verbindung mit der Zeichnung.

[0044] Nicht dargestellt sind die folgenden Schritte:

- Erzeugen einer Eisenschmelze in einem Elektrolichtbogenofen mit einer Zusammensetzung in Gew.-%:

C:	max. 1,0 %;
Mn:	0,050 bis 12,0 %;
Si:	0,0010 bis 5,0 %;
N:	max. 0,10 %;
S:	max. 0,10 %;
P:	max. 0,20 %;

optional eines oder mehrerer der Elemente:

Al:	max. 2,0 %;
Mo:	max. 1,50 %;
Ni:	max. 2,0 %;
Cr:	max. 2,0 %;
B:	max. 0,010 %;
Ca:	max. 0,010 %;
Nb:	max. 0,50 %;
Ti:	max. 0,50 %;
V:	max. 0,50 %;
Cu:	max. 2,0 %;
Co:	max. 0,50 %;
Sn:	max. 0,50 %;
As:	max. 0,20 %;
Seltene Erden:	max. 0,30 %;

Rest Fe und unvermeidbaren Verunreinigungen, wobei Schrott mit einem Anteil von mindestens 15 % bezogen auf die Tonne erzeugte Eisenschmelze zugegeben wird und der Schrott mindestens eines oder mehrere der Elemente Cu, Cr, Ni, Mo, Zn, Sb, As in Summe $\geq 0,50$ Gew.-% umfasst;

- Gießen der Eisenschmelze und Erzeugen von Brammen;

- Entnehmen der Bramme aus dem Wärmebehandlungssofen, zumindest teilweises Entzundern der Bramme und Warmwalzen der Bramme zu einem Warmband.

[0045] 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 Wärmebehandlungsofen 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 Wärmebehandlungsofens 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 Wärmebehandlungsofens erwärmt und in einer Ausgleichszone des Wärmebehandlungsofens auf eine Zieltemperatur von mindestens 1000 °C durchwärmt wird.

[0046] Figur 1 im oberen Teil und Figur 2 zeigen jeweils eine Prinzipskizze eines beispielhaften direkt beheizten Wärmebehandlungsofens (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 Wärmebehandlungsofens (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 Wärmebehandlungsofens (1) erwärmt und in einer Ausgleichszone (3) des Wärmebehandlungsofens (1) auf eine Zieltemperatur von mindestens 1000 °C durchwärmt wird. Die Pfeile links und rechts am Wärmebehandlungsofen (1) stellt die Prozessrichtung respektive die Durchlaufrichtung der wärmezubehandelnden Brammen dar.

[0047] 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 $\leq$ Temperatur (T) $\leq$ Zieltemperatur (Tz) entspricht, und anschließend in der Ausgleichszone (3) auf einer Zieltemperatur (Tz) gehalten wird.

[0048] Im unteren Teil der Figur 1 ist ein Diagramm eines Temperaturverlaufs einer zu erwärmenden Bramme entlang der Länge (L) des Wärmebehandlungsofens (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.

[0049] 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.

[0050] 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.

[0051] 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.

[0052] Figur 2 schlägt Schritt b) vor. Zumindest ein Teil der in der Ausgleichszone (3) im oberen Bereich (O) des Wärmebehandlungsofens (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.

[0053] 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.

[0054] 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.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Herstellen eines Warmbands, umfassend die folgenden Schritte:

- Erzeugen einer Eisenschmelze in einem Elektrolichtbogenofen mit einer Zusammensetzung in Gew.-%:

C:	max. 1,0 %;
Mn:	0,050 bis 12,0 %;
Si:	0,0010 bis 5,0 %;
N:	max. 0,10 %;
S:	max. 0,10 %;
P:	max. 0,20 %;

optional eines oder mehrerer der Elemente:

Al:	max. 2,0 %;
Mo:	max. 1,50 %;
Ni:	max. 2,0 %;
Cr:	max. 2,0 %;
B:	max. 0,010 %;
Ca:	max. 0,010 %;
Nb:	max. 0,50 %;
Ti:	max. 0,50 %;
V:	max. 0,50 %;
Cu:	max. 2,0 %;
Co:	max. 0,50 %;
Sn:	max. 0,50 %;
As:	max. 0,20 %;
Seltene Er den:	max. 0,30 %;

Rest Fe und unvermeidbaren Verunreinigungen, wobei Schrott mit einem Anteil von mindestens 15 % bezogen auf die Tonne erzeugte Eisenschmelze zugegeben wird und der Schrott mindestens eines oder mehrere der Elemente Cu, Cr, Ni, Mo, Zn, Sb, As in Summe $\geq 0,50$ Gew.-% umfasst;

- Gießen der Eisenschmelze und Erzeugen von Brammen;

- 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 Aus-

gleichszone des Wärmebehandlungssofens auf eine Zieltemperatur von mindestens 1000 °C durchwärmt wird;
 - Entnehmen der Bramme aus dem Wärmebehandlungssofen, zumindest teilweises Entzundern der Bramme und Warmwalzen der Bramme zu einem Warmband;

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 Wärmebehandlungssofens 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 die Verbrennung mit einer Luftzahl zwischen 0,95 und 1,25 eingestellt 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 Wärmebehandlungssofen 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 Wärmebehandlungssofen eingesetzt werden kann.

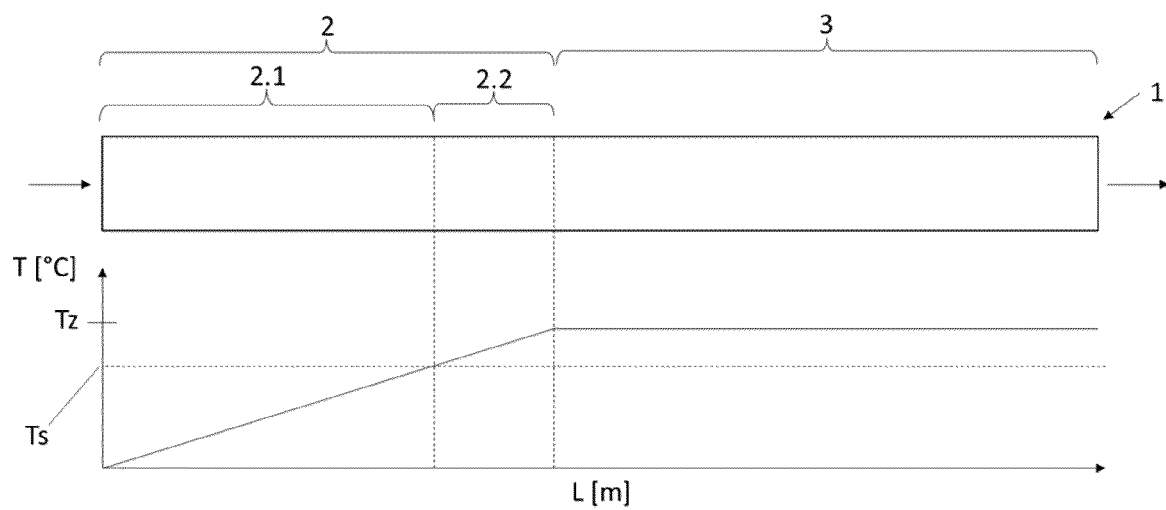
8. Verfahren nach einem der vorgenannten Ansprüche, wobei in Schritt a) der mindestens eine Teilabschnitt der Heizzone in seiner Erstreckung im Wärmebehandlungssofen derart bemessen wird, dass die insbesondere in Abhängigkeit von der Verweilzeit innerhalb des Teilabschnitts eine Schwelltemperatur nicht überschreitet, welche jedoch unterhalb der Zieltemperatur liegt.

9. Verfahren nach Anspruche 8, wobei die Schwelltemperatur zwischen 850 und 1200 °C betragen kann.

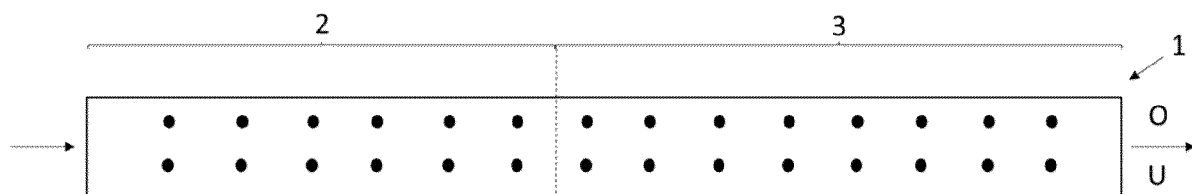
10. Verfahren nach einem der vorgenannten Ansprüche, wobei in Schritt b) alle in der Ausgleichszone im oberen Bereich des Wärmebehandlungssofens angeordneten Gasbrenner mit einem Brenngas gespeist werden, welches einen höheren Wasserstoffanteil und/oder Ammoniakanteil im Vergleich zum Brenngas der restlichen 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 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.

12. Verfahren nach einem der vorgenannten Ansprüche, wobei in Schritt c) alle in dem Wärmebehandlungssofen 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.



Figur 1



Figur 2



EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung

EP 25 17 1080

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

EPO FORM 1503 03.82 (P24C03)

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
Y	CN 117 210 746 A (NANJING IRON & STEEL CO LTD) 12. Dezember 2023 (2023-12-12) * 0016, 0019 *	1-12	INV. C21D8/02 C21C5/52 C21D9/00
Y	WO 2024/185213 A1 (JFE STEEL CORP [JP]) 12. September 2024 (2024-09-12) * 0002, 0033, 0037, 0038, 0044, 0046, 0049, 0052; Tab. 2; Abb. 1 *	1-12	F27D7/00 C22C33/04 C22C38/02 C22C38/04 F23D1/00 F27B9/30
A	PANASIUK DARYNA ET AL: "International comparison of impurities mixing and accumulation in steel scrap", JOURNAL OF INDUSTRIAL ECOLOGY, Bd. 26, Nr. 3, 18. Februar 2022 (2022-02-18), Seiten 1040-1050, XP093317680, Hoboken, USA ISSN: 1088-1980, DOI: 10.1111/jiec.13246 * fig. 1, 2 *	1-12	
			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)
			C21D C21C F27D C22C F23D F27B F23C F23J F23N
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort		Abschlußdatum der Recherche	
Den Haag		26. September 2025	
		Prüfer	
		Kreutzer, Ingo	
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE			
X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : nichtschriftliche Offenbarung P : Zwischenliteratur		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	

ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT
ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR.

EP 25 17 1080

5 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.

26-09-2025

10	Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
	CN 117210746 A	12-12-2023	KEINE	
15	WO 2024185213 A1	12-09-2024	JP 2024126838 A	20-09-2024
			TW 202436794 A	16-09-2024
			WO 2024185213 A1	12-09-2024
20				
25				
30				
35				
40				
45				
50				
55				

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]