



(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
03.01.2024 Patentblatt 2024/01

(21) Anmeldenummer: **22182309.9**

(22) Anmeldetag: **30.06.2022**

(51) Internationale Patentklassifikation (IPC):
C23C 2/06 (2006.01) C23C 2/14 (2006.01)
C23C 2/16 (2006.01) C23C 2/18 (2006.01)
C23C 2/20 (2006.01) C23C 2/00 (2006.01)

(52) Gemeinsame Patentklassifikation (CPC):
C23C 2/06; C23C 2/003; C23C 2/14; C23C 2/16;
C23C 2/18; C23C 2/20; C23C 2/50; C23C 2/51;
C23C 2/52; C23C 2/525

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

(71) Anmelder: **voestalpine Stahl GmbH**
4020 Linz (AT)

(72) Erfinder:
• **PFOB, Christian**
4222 Langenstein (AT)
• **STRUTZENBERGER, Johann**
4560 Kirchdorf (AT)
• **RIENER, Christian Karl**
4040 Linz (AT)
• **UNGER, Harald**
7151 Wallem (AT)

(74) Vertreter: **Troesch Scheidegger Werner AG**
Schwäntenmos 14
8126 Zumikon (CH)

(54) **VORRICHTUNG UND VERFAHREN ZUM ZUM AUFBRINGEN EINER SCHICHT AUF EIN STAHLFLACHPRODUKT**

(57) Vorrichtung (150) zum Aufbringen einer Schicht (10) auf eine Vorder- und/oder Rückseite eines Stahlflachproduktes (100), umfassend:

- ein Zink-Legierungsschmelzbad (11) mit einer Eingangsseite (E) und einer Ausgangsseite (A),
- eine Abstreifdüsenvorrichtung (14) mit mindestens einer Gasdüse (15) zum Abblasen der Vorder- oder Rückseite des Stahlflachproduktes (100) mit Gas (G), wobei die Abstreifdüsenvorrichtung (14) im Bereich der Ausgangsseite (A) angeordnet ist,
- eine Wasserdampfvorrichtung (50), die dazu ausgelegt ist gasförmigen Wasserdampf abzugeben und im Nahbereich (NB) der Vorder- und/oder Rückseite des Stahlflachproduktes (100) eine kontrollierte Wasserdampf-atmosphäre bereitzustellen, wobei die kontrollierte Wasserdampf-atmosphäre eine absolute lokale Feuchtigkeit aufweist, die größer ist als 1 g/m^3 und kleiner ist als 300 g/m^3 .

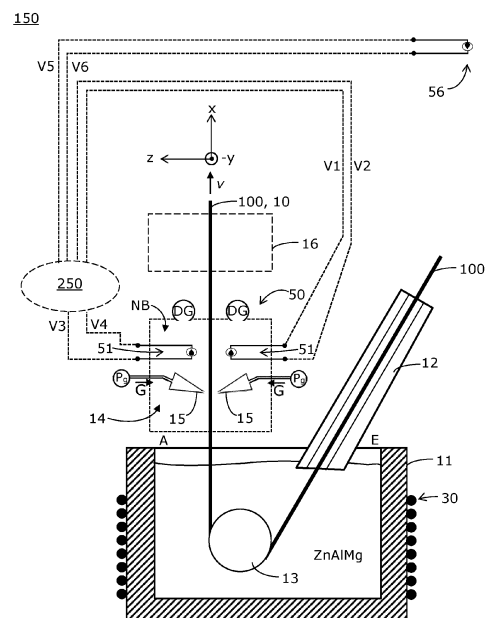


Fig. 2A

Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf eine Vorrichtung mit der sich Stahlflachprodukte mit einer auf Zink (Zn) oder auf Zink-Aluminium-Magnesium (ZnAlMg) basierenden Schicht, z.B. als Schutzüberzug, beschichten lassen.

Es geht hier auch um ein entsprechendes Verfahren.

[0002] Es ist hinlänglich bekannt, dass Stahlflachprodukte 100, wie Stahlbänder oder Stahlbleche, zur Verbesserung der Korrosionsbeständigkeit mit einer Zink-(Zn) oder ZnAlMg-Legierung überzogen werden. Dies geschieht in der Praxis meist indem das Stahlflachprodukt 100 aus einem Ofen kommend in ein Zinklegierungsschmelzbad 11 eingebracht wird, wie in Fig. 1 anhand einer beispielhaften Vorrichtung 150 angedeutet. Um das Stahlflachprodukt 100 vor Oxidation zu schützen, wird es auf der Eingangsseite E typischerweise durch einen Rüssel 12 mit inerter Atmosphäre hindurch in das Bad 11 eingebracht. Im Bad 11 wird das Stahlflachprodukt 100 durch eine (Zinkbad-)Rolle 13 umgelenkt und auf der Ausgangsseite A nach oben aus dem Bad 11 heraus bewegt. Beim Austauschen aus diesem Bad 11 wird der auf der Vorder- und Rückseite anhaftende Legierungsschmelzfilm des Stahlflachproduktes 100 mit einem Gasstrahl aus den Gasdüsen 15 einer Abstreifdüsenvorrichtung auf die Zieldicke (im Mikrometerbereich) oder auf die Sollflächenaufgabe (in g/m²) abgestreift und das Stahlflachprodukt 100 dann in einen Kühlbereich 16 überführt. Dieses kontinuierlich arbeitende Verfahren wird im allgemeinen Schmelztauchbeschichten genannt.

[0003] Details eines geeigneten Verfahrens und besonders geeigneter Legierungszusammensetzungen sind zum Beispiel der publizierten Anmeldung WO 2014/033153 A1 des Anmelders VOESTALPINE STAHL GMBH zu entnehmen.

[0004] Es gibt Stand der Technik, der Wasser oder Wasserdampf im Zusammenhang mit dem Schmelztauchbeschichten von Stahlflachprodukten erwähnt. Im Folgenden sind die entsprechenden Dokumente aufgelistet und es wird deren Inhalt, soweit hier von Interesse, kurz beschrieben.

[0005] In dem Patent EP0172682B1 von Armco Inc., das im Jahr 1985 angemeldet wurde, geht es um die Kontrolle von Zink-Dampf im Zusammenhang mit dem Schmelztauchbeschichten eines Eisen-basierten Metallbandes. Auf der Eintrittsseite des Tauchbades wird in einem umschlossenen Bereich (vergleichbar mit dem Rüssel 12 in Fig. 1) eine sauerstoff-reduzierte Atmosphäre bereitgestellt, die einen kleinen Anteil an Wasserdampf enthält. Durch diesen kleinen Wasseranteil soll die Bildung von Zink-Dampf an der Oberfläche des Tauchbades verhindert werden. Dabei wird der Taupunkt des an der Eintrittsseite verwendeten Gases so eingestellt, dass sich der Zink-Dampf nicht bilden kann.

[0006] In der publizierten Patentanmeldung JP2020100886 A2 der Firma Nippon geht es um die Zielsetzung ein verzinktes Stahlband zu erzeugen, das eine Oberfläche mit erhöhtem Reibungskoeffizienten aufweist. Um den Reibungskoeffizienten zu erhöhen, wird nach dem Gas-Abblasen Wasser mit Druck auf die Oberfläche des Stahlflachproduktes aufgespritzt. Die Teilchengröße der Wassertropfen soll mindestens 0,07mm und vorzugsweise mehr als 1,5mm betragen. Durch das Aufspritzen von Wassertropfen werden bewusst Irregularitäten an der Oberfläche des Stahlbandes erzeugt. Dieses Dokument verfolgt eine andere Zielsetzung und die entsprechende technische Lehre geht somit in eine komplett andere Richtung als die vorliegende Erfindung.

[0007] Neben dem reinen Schutz gegen Korrosion, gibt es immer weitergehende Anforderungen in Sachen Oberflächengüte zinkbeschichteter Stahlflachprodukte. Vor allem die Automobilindustrie erwartet Produkte, die höchsten Oberflächenanforderungen genügen. Das Bereitstellen homogener Oberflächen ist jedoch nicht trivial.

[0008] Hauptprobleme sind hierbei oftmals Oberflächenstörungen der ZnAlMg-Schicht. An der ZnAlMg-Schicht kann sich zum Beispiel eine Marmorierung (engl.: Marble-Effect), ein «Zahnstocher»- (engl.: «Toothpick») oder «Strandmuster»-Fehler (engl.: «Beach Pattern») ausbilden, oder es kann eine Schlackebildung auftreten. Es gibt Patente (z.B. EP20130826634 AM/J.M.Mataigne; JP20080256208 NSSMC/Oohashi et al.), die versuchen ähnliche Oberflächenfehler (Glanzeffekte bzw. verschobene Oxidhäute) mit anderen Mitteln (Verringerung des O₂-Gehalts in der Umgebung der Abstreifdüse) abzustellen.

[0009] Ähnliche Oberflächenstörungen können unter Umständen auch bei Zn-Schichten aufzutreten, die einen kleinen Al-Anteil (typischerweise kleiner als 1 Gew.%) enthalten. Diese Schichten werden hier als ZnAl-Schichten bezeichnet.

[0010] Es stellt sich daher die Aufgabe, eine Vorrichtung bereit zu stellen, um Stahlflachprodukte mit einer ZnAlMg-Schicht oder einer ZnAl-Schicht beschichten zu können, die korrosionstechnisch eine besonders dauerhafte und robuste Schutzwirkung haben, wobei die Oberfläche des Schutzüberzugs besonders homogen und ohne Marmorierung (ohne «Marbel Effect») und/oder Zahnstocher-Fehler (ohne «Toothpick») sein soll. Es wird eine Oberflächenqualität angestrebt, die höchsten Kundenanforderungen gerecht wird.

[0011] Außerdem soll die Vorrichtung möglichst wenig Energie verbrauchen, kostengünstig zu betreiben und robust im Einsatz sein.

Zusammenfassung der Erfindung

[0012] Gemäß Erfindung wird eine entsprechende Vorrichtung bereitgestellt, die ein kontinuierliches (Schmelztauch-)Verfahren zum Einsatz bringt und die es erlaubt ein Stahlflachprodukt mit einer metallischen ZnAlMg-Schicht oder einer ZnAl-Schicht, die z.B. als (Schutz-)Überzug dienen kann, zu versehen. Diese Schicht soll das Stahlsubstrat

des Stahlflachprodukts vor äußeren Einflüssen schützen. Im Folgenden wird das entsprechende Tauchbad als Zink-Schmelzbad bezeichnet, wobei der Begriff Zink-Legierungsschmelzbad sowohl ein Schmelzbad umfassen soll, das mehrheitlich Zink (Zn) und eine kleine Beimengung von Aluminium (Al) (typischerweise kleiner als 1 Gew.%) enthält, als auch ein Schmelzbad umfassen soll, das eine ZnAlMg-Legierung enthält. Die aufzubringende Schicht wird hier auch als Zn-enthaltende (Schutz-) Schicht bezeichnet.

[0013] Es wird eine Vorrichtung zum Aufbringen einer ZnAlMg-Schicht oder einer ZnAl-Schicht auf ein Stahlflachprodukt vorgeschlagen. Diese Vorrichtung umfasst bei allen Ausführungsformen:

- ein Zink-Legierungsschmelzbad mit einer Eingangsseite und einer Ausgangsseite,
- eine Abstreifdüsenvorrichtung mit mindestens einer Gasdüse zum Abblasen der Vorder- oder Rückseite des Stahlflachproduktes mit Gas, wobei die Abstreifdüsenvorrichtung im Bereich der Ausgangsseite angeordnet ist,
- eine Wasserdampfvorrichtung, die so angeordnet und ausgelegt ist, dass diese gasförmigen Wasserdampf abgeben und im Bereich der Vorder- und/oder Rückseite des Stahlflachproduktes eine kontrollierte Wasserdampfatmosfera bereitstellen kann, wobei die kontrollierte Wasserdampfatmosfera eine absolute lokale Feuchtigkeit aufweist, die größer ist als 1 g/m³ und kleiner ist als 300 g/m³, wobei die absolute lokale Feuchtigkeit vorzugsweise im Bereich 2,71 g/m³ bis 50 g/m³ liegt.

[0014] Bei allen Ausführungsformen geht es um das Aufbringen einer Zn-enthaltenden (Schutz-) Schicht auf ein Stahlflachprodukt, wobei die Schichtdicke dieser Schicht einer Solldicke (gemäß einer entsprechenden Spezifikation) entsprechen soll. Diese Schicht wird erzeugt, indem das Stahlflachprodukt durch ein Zink-Legierungsschmelzbad geführt und auf der Ausgangsseite des Bades mittels einer Abstreifdüsenvorrichtung, die mindestens eine Gasdüse umfasst, mit Gas abgeblasen wird.

[0015] Die Zink-Legierung des Zink-Legierungsschmelzbades kann bei allen Ausführungsformen vorzugsweise die folgende Zusammensetzung aufweisen:

- einen Aluminium-Anteil, der im Bereich zwischen 1,0 und 3,0 Gewichtsprozent und vorzugsweise im Bereich zwischen 1,3 und 2,8 Gewichtsprozent liegt,
- einen Magnesium-Anteil, der im Bereich zwischen 1,0 und 2,5 Gewichtsprozent und vorzugsweise im Bereich zwischen 1,2 und 2,2 Gewichtsprozent liegt, und
- der Rest des Zink-Legierungsschmelzbades sind Zink und optional einem oder mehreren aus Si, Sb, Pb, Ti, Ca, Mn, Sn, Zr, Sr, La, Ce oder Bi ausgewählten zusätzlichen Elementen, wobei der gewichtsbezogene Gehalt jedes dieser zusätzlichen Elemente in der metallischen Beschichtung weniger als 0,1 % beträgt, und unvermeidbare Verunreinigungen.

[0016] Die Zink-Legierung des Zink-Legierungsschmelzbades kann bei allen Ausführungsformen vorzugsweise die folgende Zusammensetzung aufweisen:

- einen Aluminium-Anteil, der weniger als 1,0 Gewichtsprozent und vorzugsweise im Bereich zwischen 0,1 und 0,5 Gewichtsprozent liegt, und
- der Rest des Zink-Legierungsschmelzbades sind Zink und unvermeidbare Verunreinigungen.

[0017] Die Vorrichtung zeichnet sich bei allen oder bei mindestens einem Teil der Ausführungsformen dadurch aus, dass diese vor dem Auftragen und Abblasen der Schicht eingerichtet oder vorbereitet werden kann, um ein Stahlflachprodukt gemäß Spezifikation mit der ZnAlMg-Schicht oder der ZnAl-Schicht erzeugen und beschichten zu können.

[0018] Beim Einrichten/Vorbereiten der Vorrichtung werden einer oder mehrere der folgenden Anlagenparameter und/oder Verfahrensparameter festgelegt:

- Badtemperatur des Legierungsschmelzbades, und/oder
- Dicke des Düsenlippenspalts, und/oder
- Abstands zwischen dem Düsenlippenspalt und der Vorder- bzw. Rückseite des Stahlflachprodukts,
- Bandbreite des Stahlflachproduktes,
- Bandgeschwindigkeit, mit der das Stahlflachprodukt entlang der Abstreifdüsenvorrichtung bewegt wird,
- Durchflussmenge des Gases, das durch den Düsenlippenspalt in Richtung der Vorder- bzw. Rückseite abgegeben wird.

[0019] Vorzugsweise gelten für die Anlagenparameter und/oder Verfahrensparameter bei allen Ausführungsformen die folgenden Definitionen:

- die Dicke des Düsenlippenspalt liegt in einem Bereich zwischen 0,5 und 5 mm, vorzugsweise zwischen 0,6 und 2 mm, besonders vorzugsweise zwischen 0,8 und 1,5 mm und/oder
- die über die Bandbreite wirksame Durchflussmenge (D) im Bereich von 200 bis 8000 Nm³ pro Stunde beträgt, und/oder
- der Abstand zwischen dem Düsenlippenspalt und der Vorder- bzw. Rückseite des Stahlflachprodukts liegt in einem Bereich zwischen 2 und 15 mm, vorzugsweise zwischen 3 und 12 mm, und/oder
- die Bandgeschwindigkeit liegt in einem Bereich zwischen 50 und 200 m/min, vorzugsweise zwischen 70 und 150 m/min.

[0020] Durch den/die Anlagenparameter und Verfahrensparameter wird eine sogenannte Abstreifwirkzahl AWZ definiert, die während des Aufbringens der Schicht im Wesentlichen konstant ist (solange sich die entsprechenden Parameter nicht ändern). Kleinere Variationen der Abstreifwirkzahl AWZ sind jedoch möglich.

[0021] Alle Ausführungsformen können eine der folgenden Sensorkonstellationen aufweisen:

- mindestens ein Sensor zum Ermitteln der absoluten lokalen Feuchtigkeit innerhalb des Nahbereichs der Vorrichtung, oder
- mindestens ein Sensor zum Ermitteln der absoluten lokalen Feuchtigkeit in der Umgebung der Vorrichtung, oder
- mindestens ein Sensor zum Ermitteln der absoluten lokalen Feuchtigkeit innerhalb des Nahbereichs der Vorrichtung und mindestens ein Sensor zum Ermitteln der absoluten lokalen Feuchtigkeit in der Umgebung der Vorrichtung.

[0022] Das Verfahren zeichnet sich bei allen oder bei mindestens einem Teil der Ausführungsformen dadurch aus, dass die ZnAlMg-Schicht oder die ZnAl-Schicht gemäß einer Sollspezifikation auf mindestens eine Seite eines Stahlflachprodukts aufgebracht wird, indem das Stahlflachprodukt durch ein Zink-Legierungsschmelzbad (ZnAl; ZnAlMg) bewegt und auf dessen Ausgangsseite Abstreifgas durch einen Düsenlippenspalt mindestens einer Gasdüse in Richtung des Stahlflachproduktes austritt, um die Schicht gemäß Sollspezifikation abzublasen, wobei durch die folgenden Parameter eine Abstreifwirkzahl AWZ definiert ist, die während des Aufbringens der Schicht im Wesentlichen konstant gehalten wird:

- d Dicke des Düsenlippenspalt der Gasdüse der Abstreifdüsenvorrichtung,
- D über die Bandbreite wirksame Durchfluss(menge) des Gases pro Seite des Stahlflachprodukts in Nm³/h,
- w Bandbreite des Stahlflachproduktes in mm,
- 2b Halbwertsbreite der Druckverteilung des Gases am Stahlflachprodukt in mm,
- v Bandgeschwindigkeit in m/min, mit der das Stahlflachprodukt entlang der Abstreifdüsenvorrichtung bewegt wird,

wobei das Verfahren die folgenden Schritte umfasst:

- Ermitteln der absoluten lokalen Feuchtigkeit in einer kontrollierten Wasserdampfatmosfera in einem Nahbereich an der Vorder- und/oder Rückseite des Stahlflachprodukts und/oder der Umgebungsluftfeuchte f_{UG} vor dem Durchführen des Verfahrens und/oder während der Durchführung des Verfahrens,
- In Bezug setzen der ermittelten Feuchtigkeit (die z.B. als absolute Feuchtigkeit ermittelt wurde) mit der Abstreifwirkzahl AWZ, um festzustellen, ob die Bedingung $f > AWZ$ oder $f_{UG} > AWZ$ erfüllt ist,
- falls die Bedingung erfüllt ist, Initialisieren oder Fortsetzen des Verfahrens zum Aufbringen der Schicht, oder falls die Bedingung nicht erfüllt ist, Erhöhen der absoluten lokalen Luftfeuchtigkeit in der kontrollierten Wasserdampfatmosfera im Nahbereich durch den Einsatz einer Wasserdampfvorrichtung, die dazu ausgelegt ist gasförmigen Wasserdampf abzugeben, um so die Erfüllung der Bedingung $f > AWZ$ im Nahbereich zu erreichen, um dann das Verfahren zum Aufbringen der Schicht zu initialisieren oder fortzusetzen.

[0023] Bei mindestens einem Teil der Ausführungsformen wird die Abstreifwirkzahl wie folgt definiert:

$$AWZ = 24,61 \cdot \frac{D^2 \cdot k}{w^2 \cdot d^2 \cdot b} + 3639 \cdot \frac{b}{v} - 45,42 .$$

[0024] Bei mindestens einem Teil der Ausführungsformen wird die Abstreifwirkzahl wie folgt definiert:

$$AWZ = \frac{1}{14} \cdot \left(\frac{D^2 \cdot k \cdot e^{-0,5} \cdot 1,251 \cdot 10^4}{w^2 \cdot d^2 \cdot 25,92} \cdot \sqrt{\frac{-2 \cdot \ln(0,5)}{b^2}} + \frac{6 \cdot 10^4}{v} \cdot \sqrt{\frac{-b^2}{2 \cdot \ln(0,5)}} - 636 \right).$$

[0025] Es gilt dabei jeweils:

- d ist die Dicke eines Düsenlippenspalts einer Gasdüse der Abstreifdüsenvorrichtung
- D über die Bandbreite wirksame Durchfluss(menge) des Gases pro Seite des Stahlflachprodukts
- k ist ein einheitenloser Proportionalitätsfaktor
- w ist die Bandbreite des Stahlflachproduktes
- 2b ist die Halbwertsbreite der Druckverteilung des Gases am Stahlflachprodukt
- v ist die Bandgeschwindigkeit, mit der das Stahlflachprodukt entlang der Abstreifdüsenvorrichtung bewegt wird.

[0026] Bei der Ermittlung der Werte für die halbe Halbwertsbreite und den Proportionalitätsfaktor unter der Verwendung des Verhältnisses des Abstands zur Dicke des Düsenlippenspalts gelten dabei folgende Definitionen:

Fall 1.1:

$$\frac{Z}{d} < 5,2 \rightarrow b = 1,9 \cdot \frac{d}{2}$$

und $k = 1$

Fall 1.2:

$$5,2 \leq \frac{Z}{d} < 10$$

$$\rightarrow b = \left[-\left(\frac{Z}{d}\right)^4 \cdot 3,22 \cdot 10^{-4} + \left(\frac{Z}{d}\right)^3 \cdot 9,78 \cdot 10^{-3} - \left(\frac{Z}{d}\right)^2 \cdot 8,39 \cdot 10^{-2} + \left(\frac{Z}{d}\right) \cdot 2,72 \cdot 10^{-1} + 1,62 \right] \cdot \frac{d}{2}$$

$$\rightarrow k = -\left(\frac{Z}{d}\right)^4 \cdot 6,05 \cdot 10^{-4} + \left(\frac{Z}{d}\right)^3 \cdot 2,2 \cdot 10^{-2} - \left(\frac{Z}{d}\right)^2 \cdot 2,89 \cdot 10^{-1} + \left(\frac{Z}{d}\right) \cdot 1,55 - 1,9$$

Fall 1.3:

$$\frac{Z}{d} \geq 10 \rightarrow b = 0,125 \cdot Z$$

$$\text{und } k = 6,5 \cdot \frac{d}{Z}$$

[0027] Um eine Marmorierung und/oder die Bildung von Zahnstocher-Fehlern der zu produzierenden ZnAlMg-Schicht oder ZnAl-Schicht zu verhindern, wird bei mindestens einem Teil der Ausführungsformen die absolute lokale Feuchtigkeit f im Nahbereich der kontrollierten Wasserdampf-atmosphäre ermittelt. Vorzugsweise wird das Ermitteln der absoluten lokalen Feuchtigkeit f der kontrollierten Wasserdampf-atmosphäre bei allen Ausführungsformen innerhalb eines vordefinierten, virtuellen Zylindervolumens vorgenommen, das das Stahlflachprodukt im Bereich der mindestens einen Gasdüse umgibt oder umschließt. Dieses vordefinierte, virtuelle Zylindervolumen definiert in diesem Fall den Nahbereich. Da es nahe an der Vorder- und Rückseite des Stahlflachproduktes zu einer Durchmischung der Gase kommt, wird bei der Definition des virtuellen Zylindervolumens ein Bereich parallel zu der Vorder- und Rückseite des Stahlflachproduktes ausgenommen. Vorzugsweise wird das virtuelle Zylindervolumen zu diesem Zweck durch zwei Ebenen begrenzt, die je einen Abstand $s/2$ zum Stahlflachprodukt haben.

[0028] Falls die ermittelte Umgebungsfeuchte f_{UG} größer ist als die Abstreifwirkzahl (das heißt, falls $f_{UG} > AWZ$), so

kann die Schicht ohne Marmorierung oder ohne die Bildung von Zahnstocher-Fehlern produziert werden. Falls die ermittelte Umgebungsfeuchte f_{UG} momentan kleiner sein sollte als die Abstreifwirkzahl (das heißt, falls $f_{UG} < AWZ$), so wird die absolute lokale Feuchtigkeit f innerhalb der kontrollierten Wasserdampf-atmosphäre gezielt erhöht, bis die absolute lokale Feuchtigkeit f im Nahbereich größer ist als die Abstreifwirkzahl ($f > f_{UG}$ und $f > AWZ$). Erst dann wird

eine Schicht ohne Marmorierung oder ohne die Bildung von Zahnstocher-Fehlern produziert.
[0029] Bei mindestens einem Teil der Ausführungsformen wird die absolute lokale Feuchtigkeit f der kontrollierten Wasserdampf-atmosphäre durch den Einsatz der Wasserdampfvorrichtung erzeugt. Das heißt, die Wasserdampfvorrichtung ist dazu ausgelegt die absolute lokale Feuchtigkeit f innerhalb der kontrollierten Wasserdampf-atmosphäre, das heißt im Nahbereich, gezielt zu erhöhen.

[0030] Bei allen Ausführungsformen ist die kontrollierte Wasserdampf-atmosphäre in einem Nahbereich der Wasserdampfvorrichtung definiert, bzw. die kontrollierte Wasserdampf-atmosphäre wird in einem Nahbereich der Wasserdampfvorrichtung bereitgestellt. Dieser Nahbereich kann bei allen Ausführungsformen durch ein vordefiniertes, virtuelles Zylindervolumen definiert sein, das sich beidseits des Stahlflachprodukts erstreckt und das auch die mindestens eine Gasdüse umgibt oder umschließt. Dieses Volumen kann bei allen Ausführungsformen optional aber auch durch ein Gehäuse oder eine Einhausung definiert sein, die das Stahlflachprodukt beidseits umgibt. Falls ein Gehäuse oder eine Einhausung zum Einsatz kommt, wird der so definierte Innenbereich als Nahbereich bezeichnet.

[0031] Der Nahbereich der Wasserdampfvorrichtung umfasst bei mindestens einem Teil der Ausführungsformen ein Volumen in einem Bereich von 1 m^3 bis 10 m^3 und vorzugsweise ein Volumen von mindestens als 2 m^3 , wobei beim Ermitteln (durch direkte oder indirekte Messung) der absoluten lokalen Feuchtigkeit innerhalb des Nahbereichs zu berücksichtigen ist, dass es unmittelbar am Stahlflachprodukt wegen einer Durchmischung des gasförmigen Wasserdampfs mit dem Abstreifgas trockener sein kann als in weiter vom Stahlflachprodukt beabstandeten Bereichen.

[0032] Die absolute lokale Feuchtigkeit wird bei allen Ausführungsformen vorzugsweise in einem Nahbereich der Wasserdampfvorrichtung gezielt erhöht (falls die Umgebungsfeuchte f_{UG} kleiner sein sollte als AWZ), wobei die Überwachung oder Kontrolle der momentanen absolute lokale Feuchtigkeit mittels direkter oder indirekter Messung in einem Abstand von mehr als 20 cm vom Stahlflachprodukt erfolgt, um den deutlich trockeneren Bereich zu vermeiden.

[0033] Die Vorrichtung oder das Abstreifdüsen-system kann bei allen Ausführungsformen eine automatische Auflagenregelung umfassen, die dazu ausgelegt ist, die Durchflussmenge des (Abstreif-)Gases automatisch anzupassen, um die Soll-dicke der aufzubringenden Schicht im Wesentlichen konstant zu halten. Die automatische Auflagenregelung ist vorzugsweise so ausgelegt, dass sie in der Lage ist Schwankungen von einem oder mehreren Anlagenparametern und Verfahrensparameter auszugleichen.

[0034] Der Aluminium-Anteil (in Gewichtsprozent) kann bei allen Ausführungsformen, die ein ZnAlMg-Legierungsschmelzbad einsetzen, gleich dem oder größer als der Magnesium-Anteil (in Gewichtsprozent) sein.

[0035] Bei allen Ausführungsformen oder mindestens einem Teil der Ausführungsformen liegen die unvermeidbare Verunreinigungen in einem Bereich, der deutlich kleiner ist als $1 \text{ Gew.}\%$, vorzugsweise ist die Summe aller unvermeidbaren Verunreinigungen kleiner als $0,5 \text{ Gewichtsprozent}$.

[0036] Die Kombination aus einer genau definierten Badzusammensetzung, aus einer Überwachung oder Beobachtung der Umgebungsfeuchte f_{UG} und optional auch der momentanen absoluten lokalen Luftfeuchtigkeit f im Nahbereich der Wasserdampfvorrichtung und einer gezielten Anpassung der absoluten lokalen Luftfeuchtigkeit f im Nahbereich der Wasserdampfvorrichtung kann eine Oberfläche erzeugt werden, die keine oder eine vernachlässigbar geringe Marmorierung und keine oder vernachlässigbar geringe Zahnstocher-Fehler zeigt. Während der Produktion einer entsprechenden Schicht wird der Abstreifwirkzahl AWZ im Wesentlichen konstant gehalten, um eine gleichbleibende Schicht (die innerhalb der vorgegebenen Spezifikation liegt) zu erhalten.

[0037] Die Werte der absoluten lokalen Luftfeuchtigkeit f , die gemäß Erfindung in der Nähe des Stahlflachproduktes in dem Nahbereich vorliegen sollen, liegen bei allen Ausführungsformen im Bereich von 1 g/Nm^3 bis 300 g/Nm^3 , vorzugsweise im Bereich von $2,71 \text{ g/Nm}^3$ bis 50 g/Nm^3 , das heißt die Vorrichtung kann bei einer absoluten lokalen Luftfeuchtigkeit f , die im genannten Wertebereich liegt, zuverlässig betrieben werden.

[0038] Nach der Abstreifdüsen-vorrichtung kann bei allen Ausführungsformen optional auch eine Bandstabilisierungseinrichtung folgen, die zum automatisieren Stabilisieren der Bewegung des Stahlflachprodukts dient.

[0039] Die Vorrichtung wird bei allen Ausführungsformen vorzugsweise in dem/den folgenden Bereichen betrieben:

- Legierungsschmelzbad mit einer Badtemperatur T_B im Bereich $400 < T_B < 480 \text{ Grad Celsius}$, vorzugsweise im Bereich $409 < T_B < 473 \text{ Grad Celsius}$, und besonders vorzugsweise im Bereich $420 < T_B < 460 \text{ Grad Celsius}$,
- Düsenabstand gegenüber dem Stahlflachprodukt, der zwischen 2 und 15 mm , vorzugsweise zwischen 3 und 12 mm , beträgt,
- Abblasen des Stahlflachproduktes auf der Ausgangsseite des Legierungsschmelzbades mit dem (Abstreif-)Gas, das durch den Düsenlippenspal in Richtung des Stahlflachproduktes mit einer Gas-Durchflussmenge strömt, die je Meter Bandbreite im Bereich von 200 bis 8000 Nm^3 pro Stunde beträgt.

[0040] Die Festschreibung der oben definierten ZnAl- und ZnAlMg-Legierungskonzepte ergibt sich aus zahlreichen Untersuchungen und Berechnungen. Innerhalb der angegebenen Grenzen der hier definierten Legierungskonzepte hat sich die hier präsentierte technische Lehre besonders bewährt.

[0041] Bei mindestens einem Teil der Ausführungsformen wird die Umgebungsfeuchte f_{UG} permanent gemessen.

[0042] Bei mindestens einem Teil der Ausführungsformen wird die Umgebungsfeuchte f_{UG} von Zeit zu Zeit gemessen.

[0043] Bei mindestens einem Teil der Ausführungsformen wird die absolute lokale Luftfeuchtigkeit f im Nahbereich permanent gemessen.

[0044] Bei mindestens einem Teil der Ausführungsformen wird die absolute lokale Luftfeuchtigkeit f im Nahbereich von Zeit zu Zeit gemessen.

[0045] Vorzugsweise wird die Vorrichtung bei allen Ausführungsformen mit einer Badtemperatur $T_{B_{red}}$ betrieben, die im Bereich $420 < T_{B_{red}} < 460$ Grad Celsius liegt. In diesem Bereich kann zusätzlich die Bildung von Schlacke verringert werden.

[0046] Anhand konkreter Versuche konnte belegt werden, dass das hier beschriebene Verfahren in der Tat zu sehr guten Ergebnissen führt. Es hat sich gezeigt, dass durch eine gezielte (Vor-)Einstellung des Abstreifprozesses (respektive der entsprechenden Abstreifwirkzahl AWZ) hervorragende Ergebnisse erzielt werden können, solange die absolute lokale Luftfeuchtigkeit f im Nahbereich größer eingestellt ist bzw. vorgegeben wird als die Abstreifwirkzahl AWZ.

[0047] Die Entwicklung des neuen Verfahrens und der gezielten Anpassung der absoluten Luftfeuchtigkeit f im Nahbereich an die (Verfahrens- und Anlagen-) Parameter (respektive an die entsprechende Abstreifwirkzahl AWZ) geht zurück auf theoretische Betrachtungen, diverse Simulationen von Abstreifvorgängen und auf zahlreiche Versuche.

[0048] Die Vorgänge im Bereich der Abstreifdüsenvorrichtung und am Stahlflachprodukt sind hochkomplex und hängen von zahlreichen (Verfahrens- und Anlagen-) Parametern und Einflussgrößen (respektive der entsprechenden Abstreifwirkzahl) ab. Daher setzt die Vorrichtung auf einige vereinfachte Annahmen und Festlegungen, um reproduzierbare Ergebnisse zu erhalten.

[0049] Durch eine gezielte Erhöhung der absoluten lokalen Feuchtigkeit f innerhalb der kontrollierten Wasserdampf-atmosphäre (Nahbereich genannt) werden für die Definition bzw. Festlegung der Verfahrens- und Anlagenparameter zusätzliche Freiheitsgrade gewonnen.

[0050] Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung bilden die Gegenstände der abhängigen Ansprüche.

ZEICHNUNGEN

[0051] Ausführungsbeispiele der Erfindung werden im Folgenden unter Bezugnahme auf die Zeichnungen näher beschrieben.

FIG. 1 zeigt eine stark schematisierte Darstellung einer bekannten Vorrichtung zum Tauchbeschichten und Abstreifen von Stahlflachprodukten (Stand der Technik);

FIG. 2A zeigt eine stark schematisierte Darstellung einer ersten beispielhaften Vorrichtung, in der das Verfahren der Erfindung zum Einsatz kommt;

FIG. 2B zeigt eine stark schematisierte Darstellung, die zur Definition des virtuellen Zylindervolumens dient;

FIG. 3A zeigt eine stark schematisierte Seitenansicht einer Abstreifdüsenvorrichtung mit nur einer Düse und zwei Düsen der Wasserdampfvorrichtung, um einige der hier relevanten Verfahrens- und Anlagenparameter definieren zu können (diese Darstellung ist nicht maßstabsgetreu);

FIG. 3B zeigt eine schematische Darstellung des Druckverlaufs P an der Oberfläche der Beschichtung bezogen auf eine Position auf der x-Achse;

FIG. 3C zeigt eine schematische Darstellung des Scherkraftverlaufs τ an der Oberfläche der Beschichtung bezogen auf eine Position auf der x-Achse;

FIG. 4 zeigt eine zusammenfassende grafische Darstellung mehrerer beispielhafter Versuche, wobei auf der Ordinatennachse die absolute Luftfeuchtigkeit f und auf der Abszisse die Abstreifwirkzahl AWZ aufgetragen sind;

FIG. 5 zeigt eine stark schematisierte Schnittdarstellung einer weiteren Vorrichtung der Erfindung, in der das Verfahren der Erfindung zum Einsatz kommt;

FIG. 6A zeigt eine stark schematisierte Darstellung einer Bandseite eines Stahlflachprodukts, das keine Marmorierung aufweist;

FIG. 6B zeigt eine stark schematisierte Darstellung einer Bandseite eines Stahlflachprodukts, das eine mittlere Marmorierung aufweist;

FIG. 6C zeigt eine stark schematisierte Darstellung einer Bandseite eines Stahlflachprodukts, das eine starke Marmorierung aufweist;

FIG. 7 zeigt eine Tabelle mit beispielhafte Versuchsergebnissen des hier beschriebenen Verfahrens;

FIG. 8 zeigt beispielhafte Schritte des hier beschriebenen Verfahrens.

Detaillierte Beschreibung

[0052] Es geht hier um eine Vorrichtung 150 (siehe beispielsweise Fig. 2A) zum Aufbringen einer Schicht 10 auf ein bandförmiges Stahlflachprodukt 100 (siehe Fig. 2B, wo beidseitig je eine Schicht 10 andeutungsweise zu erkennen ist). Diese Schicht 10 wird erzeugt, indem das Stahlflachprodukt 100 von einer Eingangsseite E zu einer Ausgangsseite A durch ein Zink-Schmelzbad 11 geführt und auf der Ausgangsseite A mittels einer Abstreifdüsenvorrichtung 14 mit (Abstreif-)Gas G abgeblasen wird. Beispielhafte Vorrichtungen sind in den Figuren 2A, 3A und 5 gezeigt. Zweck der Abstreifdüsenvorrichtung 14 ist es, die überschüssige (noch flüssige) ZnMgAl-Schicht oder ZnAl-Schicht (Schicht 10) auf dem Stahlflachprodukt 100 nach Austritt aus dem Bad 11 abzustreifen.

[0053] Im Rahmen der Erfindung ist darauf zu achten, dass die Schicht 10 gemäß (vorgegebener) Spezifikation (die Spezifikation definiert z.B. die Solldicke) erzeugt wird, und dass keine Marmorierung und/oder keine Zahnstocher-Fehler auftreten/auftritt. Es geht genauer ausgedrückt um die Vermeidung dieser «Fehler» bei sich im Produktionsbereich (z.B. in der Fertigungshalle) ändernden Umgebungsbedingungen. Auch wenn sich in der Umgebung der Vorrichtung 150 die Umgebungsluftfeuchte f_{UG} ändern sollte, wird durch die Vorrichtung 150 gemäß Erfindung sichergestellt, dass keine Marmorierung und/oder Zahnstocher-Fehler auftreten/auftritt und dass die Schicht 10 weiterhin gemäß Spezifikation produziert wird.

[0054] Die Spezifikation kann bei allen Ausführungsformen beispielweise die Solldicke der Schicht 10 und/oder die Soll(Flächen-)Auflage der Schicht 10 vorgeben. Typischerweise gibt es zu der Solldicke einen eng vorgegebenen Toleranzbereich. Solange die zu erzeugende Schicht 10 innerhalb des/der Toleranzbereichs/e liegt, erfüllt die Schicht 10 im Wesentlichen die Vorgaben der Spezifikation.

[0055] Die Vorrichtung 150 wird bei mindestens einem Teil der Ausführungsformen so betrieben und kontrolliert, dass die Schicht 10 je Bandseite des Stahlflachprodukts 100 eine Solldicke aufweist, die innerhalb des Toleranzfensters der Spezifikation liegt. Vorzugsweise liegt die Solldicke der Schicht 10 je Bandseite bei allen Ausführungsformen im Bereich 3 bis 30 μm , und besonders vorzugsweise im Bereich 4,5 bis 15 μm .

[0056] Vorzugsweise liegt die Sollflächenauflage (Auflage pro Bandseite) bei mindestens einem Teil der Ausführungsformen im Bereich von 20 bis 200 g/m^2 und besonders vorzugsweise im Bereich von 30 bis 100 g/m^2 .

[0057] Die Vorgänge im Bereich der Abstreifdüsenvorrichtung 14 und am Stahlflachprodukt 100 sind hochkomplex und hängen von zahlreichen Parametern und Einflussgrößen ab.

[0058] Die Abstreifdüsenvorrichtung 14 umfasst bei allen Ausführungsformen mindestens eine Gasdüse 15 (falls nur eine Bandseite abgeblasen werden soll), oder zwei Gasdüsen 15, die einander gegenüberstehen (falls beide Bandseiten abgeblasen werden sollen). In den Figuren 2A und 5 sind Ausführungsformen mit zwei Düsen 15 und in Fig. 3A ist eine Ausführungsform mit nur einer Düse 15 gezeigt. Die Durchflussmenge D des (Abstreif-)Gases G, das durch den Düsenlippenspalt 17 in Richtung der Vorder- bzw. Rückseite abgegeben wird, wird hier in Nm^3 angegeben. (Nm^3 steht für Normkubikmeter). Ein Normkubikmeter ist die Menge eines Gases G, die in einem Volumen von einem Kubikmeter enthalten ist. Dies gilt bei einer Temperatur von 0 Grad Celsius und einem Druck von 1,01325 bar.

[0059] Um eine ZnAlMg-basierte Schicht 10 zuverlässig aufbringen zu können, die im Wesentlichen der Solldicke entspricht, weist die Zink-Legierung des Zink-Legierungsschmelzbads 11 bei allen oder bei mindestens einem Teil der Ausführungsformen die folgende Zusammensetzung auf:

- einen Aluminium-Anteil, der im Bereich zwischen 1,0 und 3,0 Gewichtsprozent und vorzugsweise im Bereich zwischen 1,3 und 2,8 Gewichtsprozent liegt,
- einen Magnesium-Anteil, der im Bereich zwischen 1,0 und 2,5 Gewichtsprozent und vorzugsweise im Bereich zwischen 1,2 und 2,2 Gewichtsprozent liegt, und
- der Rest des Zink-Legierungsschmelzbads 11 sind Zink und optional einem oder mehreren aus Si, Sb, Pb, Ti, Ca, Mn, Sn, Zr, Sr, La, Ce oder Bi ausgewählten zusätzlichen Elementen, wobei der gewichtsbezogene Gehalt jedes dieser zusätzlichen Elemente in der metallischen Beschichtung (das heißt in der Schicht 10) weniger als 0,1 % beträgt, und unvermeidbare Verunreinigungen.

[0060] Bei allen Ausführungsformen oder mindestens einem Teil der Ausführungsformen, die eine ZnAlMg-basierte Schicht 10 betreffen, wird als Legierungsschmelzbad 11 ein metallisches Bad mit einer besonders bevorzugten ZnAlMg-Legierung vorgelegt, die sich nach dem folgenden Legierungskonzept zusammensetzt:

- der Aluminium-Anteil (in Gewichtsprozent) liegt im Bereich zwischen 2,09 und 2,66 Gewichtsprozent;
- der Magnesium-Anteil (in Gewichtsprozent) liegt im Bereich zwischen 1,45 und 2,24 Gewichtsprozent;
- der Aluminium-Anteil (in Gewichtsprozent) ist größer als der Magnesium-Anteil (in Gewichtsprozent);
- der Rest sind Zink und optional einem oder mehreren aus Si, Sb, Pb, Ti, Ca, Mn, Sn, Zr, Sr, La, Ce oder Bi ausgewählten zusätzlichen Elementen, wobei der gewichtsbezogene Gehalt jedes dieser zusätzlichen Elemente in der metallischen Beschichtung (das heißt in der Schicht 10) weniger als 0,1 % beträgt, und unvermeidbare

Verunreinigungen.

[0061] Um eine ZnAl-basierte Schicht 10 zuverlässig aufbringen zu können, die im Wesentlichen der Solldicke entspricht, weist die Zink-Legierung des Zink-Legierungsschmelzbads 11 bei allen oder bei mindestens einem Teil der Ausführungsformen die folgende Zusammensetzung auf:

- einen Aluminium-Anteil, der weniger als 1,0 Gewichtsprozent und vorzugsweise im Bereich zwischen 0,1 und 0,5 Gewichtsprozent liegt, und
- der Rest des Zink-Legierungsschmelzbads sind Zink und unvermeidbare Verunreinigungen.

[0062] Um die Bildung der Marmorierung und/oder Zahnstocher-Fehler zu verhindern oder die Marmorierung und Zahnstocher-Fehler deutlich zu reduzieren, wird vorzugsweise bei allen Ausführungsformen kontinuierlich oder von Zeit zu Zeit die absolute lokale Luftfeuchtigkeit f im Nahbereich NB und/oder die Umgebungsluftfeuchtigkeit f_{UG} ermittelt (z.B. durch direkte oder indirekte Messung).

[0063] Die Vorrichtung 150 umfasst bei allen Ausführungsformen eine Wasserdampfvorrichtung 50 (siehe Fig. 2A und 5), die noch im Detail beschrieben wird. Diese Wasserdampfvorrichtung 50 befindet sich vorzugsweise bei allen Ausführungsformen im Bereich der Ausgangsseite A des Bades 11.

[0064] Bei mindestens einem Teil der Ausführungsformen wird die absolute lokale Luftfeuchtigkeit f im Nahbereich NB (siehe Fig. 2A, 5) der Wasserdampfvorrichtung 50 gezielt eingestellt (erhöht). In Fig. 2A und 5 umfassen die entsprechenden Vorrichtungen 150 Feuchtesensoren 51, die im Nahbereich NB angeordnet sind, oder die in den Nahbereich NB hineinragen, um die absolute lokale Luftfeuchtigkeit f im Nahbereich NB kontinuierlich oder von Zeit zu Zeit kontrollieren zu können. Die Kontrolle der absoluten lokalen Luftfeuchtigkeit f im Nahbereich NB ermöglicht eine gezielte Regelung der Luftfeuchtigkeit f im Nahbereich NB.

[0065] Der/die Feuchtesensoren 51 zur Ermittlung der absoluten lokalen Luftfeuchtigkeit f können bei allen Ausführungsformen aber auch an einer anderen Stelle der Vorrichtung 150 angeordnet sein.

[0066] Die Vorrichtung 150 kann bei allen Ausführungsformen mindestens einen Feuchtesensor 56 zur Ermittlung der Umgebungsluftfeuchtigkeit f_{UG} umfassen, wie in Fig. 2A und Fig. 5 rechts oben gezeigt.

[0067] Als absolute Luftfeuchtigkeit f wird eine physikalische Größe bezeichnet, die z.B. in der Einheit g/m^3 ausgedrückt werden kann. Das heißt, es handelt sich um den Massenanteil des gasförmigen Wasserdampfs WG in einem normierten Volumenkörper, der ein Volumen von 1 m^3 hat. Anders ausgedrückt, gibt die absolute Luftfeuchtigkeit f den Gehalt an gasförmigem Wasserdampf in einem Volumenkörper an. f und f_{UG} werden hier als Formelzeichen für die absolute Luftfeuchtigkeit verwendet. Näherungsweise kann die absolute Luftfeuchtigkeit f und f_{UG} bei allen Ausführungsformen aus der Lufttemperatur TL und der relativen Luftfeuchtigkeit r abgeschätzt werden, wobei gilt:

$$f = \frac{13,235 \cdot r}{TL + 273,15} \cdot 10^{\frac{7,5 \cdot TL}{TL + 237,3}}$$

r relative Luftfeuchtigkeit in %

TL Lufttemperatur in °C.

[0068] Die Messung/Überwachung der absoluten lokalen Feuchtigkeit f kann bei allen Ausführungsformen direkt oder indirekt (vorzugsweise innerhalb des Nahbereich NB) vorgenommen werden. Als indirekte Messung wird hier unter anderem das Messen der Lufttemperatur TL und der relativen Luftfeuchtigkeit r und das Berechnen/Ableiten der absoluten lokalen Feuchtigkeit f verstanden. Entsprechend kann auch die Umgebungsluftfeuchtigkeit f_{UG} bei allen Ausführungsformen durch das Messen der Lufttemperatur TL und der relativen Luftfeuchtigkeit r der Umgebungsluft und das Berechnen/Ableiten der absoluten Umgebungsluftfeuchtigkeit ermittelt werden.

[0069] Die Werte der absoluten lokalen Luftfeuchtigkeit f , die gemäß Erfindung direkt in der Nähe des Stahlflachproduktes 100 in einem Nahbereich NB zwischen der Ausgangsseite A und dem Kühlbereich 16 (falls vorhanden) vorliegen sollen, liegen bei allen Ausführungsformen im Bereich 1 g/m^3 und kleiner als 300 g/m^3 . Vorzugsweise liegt die absolute lokale Luftfeuchtigkeit f bei allen Ausführungsformen im Bereich $2,71 \text{ g/m}^3$ bis 50 g/m^3 .

[0070] Die Vorrichtung 150 ermöglicht das gezielte Anpassen/Einstellen der absoluten lokalen Luftfeuchtigkeit f im Nahbereich NB in einem Wertebereich von 1 g/m^3 bis 300 g/m^3 .

[0071] Zu diesem Zweck kann die Vorrichtung 150 bei allen Ausführungsformen mindestens einen Dampfgenerator DG im oder am Nahbereich NB umfassen. In Fig. 2A ist eine Ausführungsform mit zwei Dampfgeneratoren DG gezeigt, die am oberen Rand des Nahbereichs NB nahe der Vorder- und Rückseite des Stahlflachproduktes 100 platziert sind. In Fig. 5 ist eine Ausführungsform mit vier Dampfgeneratoren DG gezeigt, die außerhalb des Nahbereichs NB platziert sind und die über Gasleitungen 54 und Einlassbrücken 53 gasförmigen Wasserdampf WG nahe der Vorder- und Rück-

seite des Stahlflachproduktes 100 in den Nahbereich NB einbringen.

[0072] Vorzugsweise kommt/kommen bei allen Ausführungsformen ein oder mehrere Dampfgenerator/en DG zum Einsatz, der/die als Reinstdampferzeuger ausgelegt ist/sind, der/die aus gereinigtem oder hoch gereinigtem Wasser gasförmigen Wasserdampf WG erzeugen.

[0073] Vor dem Aufbringen der Schicht 10 auf ein Stahlflachprodukt 100 und dem Abblasen der Schicht 10, wird die Vorrichtung 150 eingerichtet oder vorbereitet. Im Rahmen des Einrichtens/Vorbereitens kann/können bei allen Ausführungsformen einer oder mehrere der folgenden Anlagenparameter und/oder Verfahrensparameter festgelegt werden:

- Badtemperatur TB des Schmelzbades 11, und/oder
- Dicke d des Düsenlippenspalts 17, und/oder
- Düsenabstand Z zwischen dem Düsenlippenspalt 17 und der Vorder- bzw. Rückseite des Stahlflachprodukts 100,
- Bandbreite w des Stahlflachproduktes 100,
- Bandgeschwindigkeit v, mit der das Stahlflachprodukt 100 durch die Abstreifdüsenvorrichtung 14 bewegt wird,
- Durchflussmenge D des (Abstreif-)Gases G, das durch den Düsenlippenspalt 17 in Richtung der Vorder- bzw. Rückseite abgegeben wird.

[0074] Es wird bei allen Ausführungsformen darauf geachtet, dass die Anlagenparameter und/oder Verfahrensparameter so vorgegeben werden, dass die aufzubringende Schicht 10 im Wesentlichen der Spezifikation entspricht. Das heißt, es wird darauf geachtet, dass eine Schicht 10 aufgebracht und abgeblasen wird, die z.B. der Solldicke entspricht (innerhalb von Toleranzen) und die gleichzeitig keine oder nur eine sehr geringe Marmorierung und keine oder nur eine sehr geringe Zahnstoher-Fehler zeigt.

[0075] Die aktuelle Durchflussmenge D des Gases G kann bei allen Ausführungsformen in bekannter Art und Weise automatisch (zum Beispiel regelungstechnisch durch eine automatische Auflagenregelung) angepasst werden, um die Solldicke der aufzubringenden Schicht 10 im Wesentlichen konstant zu halten, falls sich einer oder mehrere der Anlagenparameter und/oder Verfahrensparameter ändern sollten.

[0076] Die mathematischen Zusammenhänge, die hier beim Einrichten/Vorbereiten Anwendung finden können, werden noch beschrieben. Es wird auch beschrieben, wie eine sogenannte Abstreifwirkzahl AWZ durch die Verfahrens- und Anlagenparameter definiert werden kann.

[0077] Fig. 3A zeigt auch den Düsenabstand Z zwischen der Düse 15 und der entsprechenden Bandseite (hier die Vorderseite) des Stahlflachprodukts 100, sowie die Dicke d des Düsenlippenspalts 17. Der Düsenlippenspalt 17 dient als Gasaustrittsspalt der Abstreifdüsenvorrichtung 14.

[0078] Fig. 3A zeigt zusätzlich in rein schematischer Form die erfindungsgemäße Zufuhr von gasförmigem Wasserdampf WG (durch zwei Blockpfeile rechts und links der Düse 15).

[0079] Anhand der Fig. 3A können die anpassbaren Parameter (Anlagen- und Verfahrensparameter), respektive die Abstreifwirkzahl AWZ, definiert werden. Wichtige anpassbare Verfahrens- und Anlagenparameter sind

- die Dicke d des Düsenlippenspalts 17,
- die Durchflussmenge D des Gases G,
- der Abstand Z zwischen dem Düsenlippenspalt 17 und der (Band-)Seite des Stahlflachprodukts 100,
- die Bandgeschwindigkeit v (parallel zur x-Achse verlaufend), mit der das Stahlflachprodukt 100 aus dem Zink-Legierungsschmelzbad 11 herausbewegt wird.

[0080] Fig. 3B zeigt eine schematische Darstellung des Gas-Druckverlaufs P, der sich entlang der Vorderseite des Stahlflachprodukts 100 ergibt. Der Druck P hängt von der Position auf der x-Achse ab. Der Druckverlauf P hat im Idealfall die Form einer Gaußkurve, wie in Fig. 3B angedeutet. An dieser Gaußkurve kann die Halbwertsbreite bei dem Druck $P_S/2$ ermittelt werden, wie gezeigt, wobei P_S den Maximaldruck darstellt. $2b$ ist die Halbwertsbreite in Millimetern. Ein schmaler Gasstrahl ist durch eine kleine Halbwertsbreite $2b$ definiert. Je größer (weiter) der Gasstrahl wird, desto größer wird die Halbwertsbreite $2b$. Weitere Details können der Publikation «Wall Pressure and Shear Stress Measurements Beneath an Impinging Jet», C.V. Tu et al., Experimental Thermal and Fluid Science 1996, 16, Seiten 364 - 373, Elsevier Science Inc., entnommen werden.

[0081] Der Gasstrahl, der aus der Düse 14 austritt, übt zusammen mit der Schwerkraft (falls das Stahlflachprodukt 100 senkrecht aus dem Bad 11 nach oben gezogen wird, wie z.B. in Fig. 2A, und 5 gezeigt) eine Scherkraft τ auf die noch flüssige Schicht 10 aus. Fig. 3C zeigt eine Darstellung der Scherkraft τ bezogen auf eine Position auf der x-Achse (die Scherkraft τ wurde durch die negative erste Ableitung des Druckprofils des Druckprofils der Fig. 3B ermittelt). Es handelt sich hier um die Scherkraft τ , die auf die abzustreifende Schicht 10 einwirkt. Der Verlauf der Scherkraftkurve τ ist in erster Näherung symmetrisch zum Punkt $x=0$, $\tau=0$ (wenn man die Bandgeschwindigkeit v parallel zur x-Achse vernachlässigt). Genau oberhalb der $x=0$ Position befindet sich die Düse 15 im Abstand $Z > 0$. $\tau_{\max}$ definiert die maximal an der abzustreifenden Schicht 10 auftretende Scherkraft.

[0082] Zwischen der Zeit t , in der das bandförmige Stahlflachprodukt 100 den Abstand l zwischen den Scherkraftmaxima durchläuft (siehe Fig. 3C), der Bandgeschwindigkeit v und der Halbwertsbreite $2b$ besteht ein direkter Zusammenhang, wie in Gleichung (1) ausgedrückt:

$$t = \frac{120}{v} \cdot \sqrt{\frac{-b^2}{2 \cdot \ln(0,5)}} \quad (1)$$

[0083] Die Bandgeschwindigkeit v liegt bei allen Ausführungsformen vorzugsweise im Bereich von 50 m/min bis 200 m/min und besonders vorzugsweise zwischen 70 und 150 m/min.

[0084] Die Gleichungen, die das dynamische Strömungsverhalten des Gases G am Stahlflachprodukt 100 beschreiben, sind sehr komplex. Dies liegt unter anderem daran, dass sich im Gasstrahl, der durch den Düsenlippenspalt 17 der Düse 15 austritt, an der Schicht 10 des Stahlflachproduktes 100 Bereiche mit laminarem und turbulentem Strömungsverlauf ausbilden. Außerdem saugt der Gasstrahl Umgebungsluft an, die mit dem Gas G verwirbelt wird. Details können z.B. der bereits genannten Publikation «Wall Pressure and Shear Stress Measurements Beneath an Impinging Jet» entnommen werden. Zusätzlich zu der Umgebungsluft saugt der Gasstrahl hier auch gasförmigen Wasserdampf WG an.

[0085] Aufwendige Versuche und statistische Auswertungen der gemessenen Ergebnisse haben aufgrund der komplexen Zusammenhänge keine unmittelbar verwertbaren Ergebnisse in Bezug auf einen Zusammenhang von Abstreifdüsenparametern, Luftfeuchtigkeit und der Marmorierung geliefert. Erst nachdem systematisch verschiedene interne und externe Einflussgrößen untersucht wurden, zeigte sich ein Zusammenhang zwischen dem Grad der Marmorierung an der Schicht 10 und den Umgebungsbedingungen des Versuchsaufbaus. Insbesondere die Luftfeuchtigkeit zeigt einen Einfluss auf die Marmorierung.

[0086] Weitere gezielte Untersuchungen und die grafische Aufarbeitung der Ergebnisse dieser Versuche zeigten erstmals eine Korrelation zwischen der (Umgebungs-)Luftfeuchtigkeit und der Marmorierung. Fig. 4 zeigt eine zusammenfassende grafische Darstellung mehrerer Versuche, wobei auf der Ordinatenachse die absolute Luftfeuchtigkeit f in g/m³ und auf der Abszisse die Abstreifwirkzahl AWZ (als Zusammenfassung bzw. Oberbegriff für die Verfahrens- und Vorrichtungsparemeter) aufgetragen wurden.

[0087] Durch eine Gewichtung und Addition der beiden Größen $\tau_{\max}$ und t (siehe auch Fig. 3C und Gleichung (1)) kann die Abstreifwirkzahl AWZ, die direkt mit der absoluten Umgebungsluftfeuchtigkeit f_{UG} verglichen werden kann, wie folgt bestimmt werden (Ungleichung (2.1)):

$$f_{UG} > \frac{\tau_{\max} + 500 \cdot t - 636}{14} \quad (2.1)$$

[0088] Die rechte Seite der Ungleichung (2.1) entspricht der Abstreifwirkzahl AWZ, das heißt, es gilt der folgende Zusammenhang (2.2):

$$f_{UG} > AWZ \quad (2.2)$$

[0089] Bei mindestens einem Teil der Ausführungsformen wird die Abstreifwirkzahl wie folgt definiert:

$$AWZ = 24,61 \cdot \frac{D^2 \cdot k}{w^2 \cdot d^2 \cdot b} + 3639 \cdot \frac{b}{v} - 45,42 \quad (2.3)$$

[0090] Bei mindestens einem Teil der Ausführungsformen wird die Abstreifwirkzahl wie folgt definiert:

$$AWZ = \frac{1}{14} \cdot \left(\frac{D^2 \cdot k \cdot e^{-0,5} \cdot 1,251 \cdot 10^4}{w^2 \cdot d^2 \cdot 25,92} \cdot \sqrt{\frac{-2 \cdot \ln(0,5)}{b^2}} + \frac{6 \cdot 10^4}{v} \cdot \sqrt{\frac{-b^2}{2 \cdot \ln(0,5)}} - 636 \right) \quad (2.4)$$

[0091] Es gilt dabei jeweils:

d ist die Dicke eines Düsenlippenspalts 17 einer Gasdüse 15 der Abstreifdüsenvorrichtung 14

D über die Bandbreite w wirksame Durchfluss(menge) des Gases G pro Seite des Stahlfachprodukts 100

k ist ein einheitenloser Proportionalitätsfaktor

w ist die Bandbreite des Stahlfachproduktes 100

2b ist die Halbwertsbreite der Druckverteilung des Gases G am Stahlfachprodukt 100

5 v ist die Bandgeschwindigkeit, mit der das Stahlfachprodukt 100 entlang der Abstreifdüsenvorrichtung 14 bewegt wird.

[0092] Bei der Ermittlung der Werte für die halbe Halbwertsbreite b und den Proportionalitätsfaktor k unter der Verwendung des Verhältnisses des Düsenabstands Z zur Dicke d des Düsenlippenspalts 17 gelten dabei folgende Definitionen (wobei drei Fälle 1.1, 1.2 und 1.3 unterschieden werden):

Fall 1.1:

$$15 \quad \frac{Z}{d} < 5,2 \rightarrow b = 1,9 \cdot \frac{d}{2}$$

und $k = 1$

20 Fall 1.2:

$$5,2 \leq \frac{Z}{d} < 10$$

$$25 \quad \rightarrow b = \left[-\left(\frac{Z}{d}\right)^4 \cdot 3,22 \cdot 10^{-4} + \left(\frac{Z}{d}\right)^3 \cdot 9,78 \cdot 10^{-3} - \left(\frac{Z}{d}\right)^2 \cdot 8,39 \cdot 10^{-2} + \left(\frac{Z}{d}\right) \cdot 2,72 \cdot 10^{-1} + 1,62 \right] \cdot \frac{d}{2}$$

$$30 \quad \rightarrow k = -\left(\frac{Z}{d}\right)^4 \cdot 6,05 \cdot 10^{-4} + \left(\frac{Z}{d}\right)^3 \cdot 2,2 \cdot 10^{-2} - \left(\frac{Z}{d}\right)^2 \cdot 2,89 \cdot 10^{-1} + \left(\frac{Z}{d}\right) \cdot 1,55 - 1,9$$

Fall 1.3:

$$35 \quad \frac{Z}{d} \geq 10 \rightarrow b = 0,125 \cdot Z$$

$$40 \quad \text{und} \quad k = 6,5 \cdot \frac{d}{Z}$$

[0093] Im Folgenden wird auf Fig. 4 Bezug genommen. Die schwarz gefüllten Kreise der Fig. 4 stehen für Stahlfachprodukte 100, bei denen sich an der Oberfläche der Schicht 10 deutlich sichtbar eine Marmorierung gebildet hat und der grau gefüllte Kreis steht für ein Stahlfachprodukte 100, bei dem sich eine mittlere Marmorierung gebildet hat. Die nicht gefüllten Kreise hingegen stehen für keine oder für eine vernachlässigbar geringe Marmorierung. Alle gezeigten Versuche wurden mit einer Dicke des Düsenlippenspalts $d=1,0$ mm durchgeführt.

[0094] Insgesamt sind in Fig. 4 fünf Versuchspaare (Beispiele 1 - 5) dargestellt. Die entsprechenden Verfahrens- und Anlagenparameter sowie die Abstreifwirkzahl AWZ und die absolute Luftfeuchtigkeit f , die im Nahbereich NB gemessen wurde, sind in der Tabelle 1 aufgelistet. Die Tabelle 1 ist als Fig. 7 dargestellt. Die drittletzte Spalte der Tabelle 1 gibt an, ob die Wasserdampfvorrichtung 50 zugeschaltet wurde, um die lokale Luftfeuchtigkeit zu erhöhen. Schwarze, graue und weiße Kreise werden in Tabelle 1 in Übereinstimmung mit Fig. 4 verwendet. Die vorletzte Spalte gibt in Textform an, ob eine starke Marmorierung, eine mittlere Marmorierung oder keine Marmorierung vorlag und die letzte Spalte ganz rechts in Tabelle 1 zeigt an, ob die Bedingung der Ungleichung $f > AWZ$ erfüllt war.

[0095] Es wurde in die Grafik der Fig. 4 eine Gerade Ge als Trennlinie eingefügt, um in einer ersten Näherung diejenigen Versuche mit Marmorierung von den Versuchen zu trennen, die keine oder nur eine vernachlässigbar geringe Marmorierung zeigen. Bei den Versuchen, die oberhalb der Geraden Ge liegen, trat keine oder nur eine vernachlässigbar geringe Marmorierung auf (ein entsprechendes Stahlfachprodukt 100 mit einer Schicht 10 ohne Marmorierung ist in

Fig. 6A gezeigt). Die Gerade G_e kann als Funktion der Abstreifwirkzahl AWZ verstanden werden und ist folgendermaßen definiert: $f = AWZ$

[0096] Eine detaillierte Auswertung der Versuchsergebnisse zeigt, dass für eine vorgegebene Abstreifwirkzahl AWZ durch das gezielte Erhöhen der absoluten lokalen Luftfeuchtigkeit f im Nahbereich NB sichergestellt werden kann, dass die Ungleichung (2.2) während der Produktion stets erfüllt ist.

[0097] Vorzugsweise liegt die Badtemperatur TB des Legierungsschmelzbades 11 bei allen Ausführungsformen im Bereich $400 < TB < 480$ Grad Celsius, vorzugsweise im Bereich $409 < TB < 473$ Grad Celsius, und besonders vorzugsweise im Bereich $420 < TB < 460$ Grad Celsius.

[0098] Für das Betreiben des Schmelzbades 11 wird bei allen Ausführungsformen eine Badtemperatur TB im dem angegebenen Temperaturbereich vorgegeben. Das Einhalten dieses Temperaturfensters (Temperaturbereichs) ist wichtig, da sich vermehrt unerwünschte Schlacke am Stahlflachprodukt 100 bilden kann, wenn man oberhalb des genannten Bereichs arbeitet.

[0099] Die Badtemperatur TB kann bei allen Ausführungsformen beispielsweise mittels einer Induktivheizvorrichtung 30 (siehe Fig. 2A und 5) oder einer Widerstandsheizung vorgegeben werden.

[0100] Zum Vermeiden der Schlackebildung wird das Legierungsschmelzbad 11 vorzugsweise bei allen Ausführungsformen mit einer reduzierten Badtemperatur $T_{B_{red}}$ betrieben. Die reduzierte Badtemperatur $T_{B_{red}}$ liegt vorzugsweise in dem bereits erwähnten Bereich $420 < T_{B_{red}} < 460$ Grad Celsius.

[0101] Die Badtemperatur TB ist ein wichtiger Parameter und kann vorzugsweise bei allen Ausführungsformen relativ frei innerhalb der genannten Temperaturgrenzen eingestellt/vorgegeben werden, falls gleichzeitig andere Verfahrens- und Anlagenparameter so angepasst werden, dass AWZ im Wesentlichen konstant bleibt und falls die Luftfeuchtigkeit im Nahbereich NB so angepasst wird, dass weiterhin die Bedingung der Ungleichung $f > AWZ$ erfüllt ist.

[0102] Beim Betreiben der Vorrichtung 150 wird bei allen Ausführungsformen vorzugsweise darauf geachtet, dass

- die Dicke d des Düsenlippenspalts 17 in einem Bereich zwischen 0,5 und 5 mm, vorzugsweise zwischen 0,6 und 2 mm, besonders vorzugsweise zwischen 0,8 und 1,5 mm, und/oder
- die Durchflussmenge D , die im Bereich von 200 bis 8000 Nm^3 pro Stunde beträgt, und/oder
- der Abstand Z in einem Bereich zwischen 2 und 15 mm, vorzugsweise zwischen 3 und 12 mm liegt, und/oder
- die Bandgeschwindigkeit v in einem Bereich zwischen 50 und 200 m/min, vorzugsweise zwischen 70 und 150 m/min beträgt.

[0103] Innerhalb dieser (Werte-)Bereiche arbeitet die Vorrichtung 150 besonders zuverlässig.

[0104] Eine entsprechende Gasdüse 15 hat bei allen Ausführungsformen eine Längenausdehnung parallel zur y-Achse. Vorzugsweise hat die Düse 15 bei allen Ausführungsformen eine aktive Länge (Düsenlänge DL genannt), die der Bandbreite w (siehe Fig. 6A - 6C) des bandförmigen Stahlflachproduktes 100 entspricht. Die Dicke d der Gasdüse 15 ist parallel zur x-Achse definiert (siehe Fig. 3A).

[0105] Die Bandbreite w des bandförmigen Stahlflachproduktes 100 liegt bei allen Ausführungsformen im Bereich von 500 mm bis 2500 mm und besonders vorzugsweise im Bereich von 1159 mm bis 1614 mm.

[0106] Bei mindestens einem Teil der Ausführungsformen wird die absolute lokale Luftfeuchtigkeit f im Nahbereich NB permanent oder von Zeit zu Zeit gemessen und falls die absolute lokale Feuchtigkeit f «droht» im Nahbereich NB unter eine Schwelle abzusinken, die durch AWZ definiert ist, wird die Luftfeuchtigkeit durch den Einsatz der Wasserdampfvorrichtung 50 erhöht. Zu diesem Zweck können der/die Dampfgeneratoren DG den Ausstoß von gasförmigem Wasserdampf erhöhen, oder der/die Dampfgeneratoren DG können angeschaltet werden, um gasförmigen Wasserdampf zu produzieren.

[0107] Ein Dampfgenerator DG umfasst bei mindestens einem Teil der Ausführungsformen vorzugsweise einen Dampferzeuger und z.B. ein Ventil 55 (siehe Fig. 5), das den Gasfluss durch die Leitung 54 regeln kann. Zu diesem Zweck können der Dampferzeuger und/oder das Ventil 55 bei allen Ausführungsformen mit der Steuerung 250 verbunden sein (nicht gezeigt).

[0108] Die Messung der absoluten lokalen Luftfeuchtigkeit f wird möglichst nicht direkt an der Auftrefflinie vorgenommen, an welcher das Gas G auf die abzustreifende Schicht 10 auftritt, da dort das Gasgemisch relativ «trocken» ist (das heißt wenig Luftfeuchtigkeit umfasst). Sondern die Messung der absoluten lokalen Luftfeuchtigkeit f wird vorzugsweise bei allen Ausführungsformen direkt oder indirekt in einem Bereich vorgenommen, der mindestens einen Abstand $s/2$ von 20 cm von der Auftrefflinie aufweist. Bei der Ausführungsform der Fig. 2A sitzen die Feuchtesensoren 51 entsprechend ein kleines Stück oberhalb der Düsen 15 und der Auftrefflinien. Bei der Ausführungsform der Fig. 5 sitzen die Feuchtesensoren 51 ein kleines Stück unterhalb der Düsen 15 und der Auftrefflinien.

[0109] In Fig. 2B ist in schematischer Darstellung beispielhaft ein virtuelles Zylindervolumen vZV gezeigt. Dieses vordefinierte, virtuelle Zylindervolumen vZV umgibt oder umschließt das Stahlflachprodukt 100 im Bereich der mindestens einen Gasdüse 15 (nicht in Fig. 2B gezeigt). Das vordefinierte, virtuelle Zylindervolumen vZV definiert in diesem Fall den Nahbereich NB. Da es nahe an der Vorder- und Rückseite des Stahlflachproduktes 100 zu einer Durchmischung

der Gase WG und G kommt, wird bei der Definition des virtuellen Zylindervolumens v_{ZV} einen Bereich parallel zu der Vorder- und Rückseite des Stahlflachproduktes 100 ausgenommen, wie in Fig. 2B gezeigt. Vorzugsweise wird das virtuelle Zylindervolumen v_{ZV} zu diesem Zweck durch zwei Ebenen begrenzt, die je einen Abstand $s/2$ zum Stahlflachprodukt 100 haben.

[0110] In Fig. 2A und 5 ist ein Ansatz zum direkten Messen der absoluten lokalen Luftfeuchtigkeit f und der Umgebungsluftfeuchtigkeit f_{UG} gezeigt. Die Vorrichtung 150 umfasst beispielsweise zwei Feuchtesensoren 51 (je mindestens einen pro Bandseite) und einen Feuchtesensor 56. Jeder dieser Sensoren 51, 56 hat in der schematischen Darstellung zwei Kontakte, die zum Beispiel mit einer Steuerung 250 verbunden sein können. Die entsprechenden Verbindungen bzw. Leitungen V1, V2, V3, V4, V5, V6 sind in Fig. 2A und 5 durch strichlierte Linien dargestellt.

[0111] Als Feuchtesensoren 51 und 56 können bei allen Ausführungsformen Sensoren der folgenden Bauart oder Funktionsweise zum Einsatz kommen:

- mechanisch arbeitende Messsensoren, die auf der feuchtebedingten Ausdehnung bzw. dem Zusammenziehen von (meist organischen) Messelementen basieren;
- psychrometrisch arbeitende Messsensoren, wobei zwei identische, sehr genaue Thermometer zum Einsatz kommen, an denen die zu messende Gasströmung in definierter Geschwindigkeit entlanggeführt wird;
- kapazitive Messsensoren, die z.B. einen feuchteempfindlichen Kondensator mit zwei flachen Elektroden umfassen;
- Taupiegelhygrometer, das die Luftfeuchtigkeit mit Taupunktspiegeln ermittelt, bei denen die Kondensation von Wasserdampf bei einer Taupunktunterschreitung ausgewertet wird;
- Resistives Messverfahren, bei dem z.B. die Impedanz des Wechselstromwiderstandes eines hygroskopischen Elementes ermittelt wird;
- Spektrometrische Messverfahren, die beispielsweise im nahen oder mittleren Infrarotbereich (NIR oder MIR) den gasförmigen Wassergehalt berührungslos messen.

[0112] Beim indirekten Messen der absoluten lokalen Luftfeuchtigkeit f oder der Umgebungsluftfeuchtigkeit f_{UG} wird nicht die Luftfeuchtigkeit direkt gemessen, sondern es wird die momentane Luftfeuchtigkeit indirekt (z.B. optisch) ermittelt.

[0113] Das indirekte Ermitteln der absoluten lokalen Luftfeuchtigkeit f kann bei allen Ausführungsformen durch ein Messen der Oberflächeneigenschaft(en) des beschichteten Stahlflachproduktes 100 vorgenommen werden (drei Beispiele eines beschichteten Stahlflachproduktes 100 sind in den Figuren 6A, 6B und 6C gezeigt). Eine entsprechende Messung der Oberflächeneigenschaft(en) kann beispielsweise vor dem optionalen Kühlbereich 16 oder nach dem optionalen Kühlbereich 16 optisch vorgenommen werden (z.B. durch ein optisches Messen der Reflektivität der Oberfläche der Schicht 10). Bei wenig oder keiner Marmorierung liegt die Reflektivität oberhalb eines vorgegebenen Grenzwerts. Falls die Reflektivität abnehmen sollte (z.B. falls sie unter eine Toleranzgrenze fällt), kann die Luftfeuchtigkeit im Nahbereich NB so angepasst werden, dass die Ungleichung $f > AWZ$ wieder erfüllt ist.

[0114] Alle Ausführungsformen der Vorrichtung 150 können eine Steuerung 250 umfassen. Diese Steuerung 250 kann bei allen Ausführungsformen als computergestützte Automations- und Steuerungseinheit ausgelegt sein und eine Mensch-Maschine-Schnittstelle, einen Rechner und eine Datenbank umfassen.

[0115] Die Steuerung 250 kann bei allen Ausführungsformen Teil der Gesamtanlagensteuerung der Vorrichtung 150 sein, oder sie kann bei allen Ausführungsformen mit der Gesamtanlagensteuerung verbunden sein.

[0116] Das Einrichten/Vorbereiten der Vorrichtung 150 durch Anpassen der Parameter (Anlagen- oder Verfahrensparameter), kann dann bei diesen Ausführungsformen von der Gesamtanlagensteuerung und/oder von der Steuerung 250 vorgenommen werden.

[0117] Bei allen Ausführungsformen kann die bereits erwähnte Abstreifwirkzahl AWZ durch die Steuerung 250 und/oder durch die Gesamtanlagensteuerung berechnet werden. Die entsprechenden Formeln werden im Folgenden beschrieben.

Bei allen Ausführungsformen kann die Abstreifwirkzahl AWZ aber auch durch externe Mittel (z.B. mittels eines Arbeitsplatzrechners) ermittelt werden.

[0118] Vorzugsweise kommt bei allen Ausführungsformen ein Inertgas als (Abstreif-)Gas G zum Einsatz. Bewährt hat sich vor allem Stickstoff oder ein stickstoff-haltiges Gasgemisch.

[0119] Damit sich die Solldicke der Schicht 10, respektive die Auflage pro Bandseite, nicht oder kaum ändern, wird darauf geachtet, dass die Anlagen- und Verfahrensparameter, respektive die Abstreifwirkzahl AWZ im Wesentlichen konstant bleibt. Bei den Beispielen 1 und 2 bleibt AWZ konstant (siehe Tabelle 1 in Fig. 7). Bei den Beispielen 3, 4 und 5 bleibt AWZ im Wesentlichen konstant (siehe Tabelle 1 in Fig. 7).

[0120] Wichtig ist jedoch, dass beim gezielten Erhöhen der absoluten lokalen Luftfeuchtigkeit f im Nahbereich NB darauf geachtet wird, dass neben dem Vermeiden von Marmorierungen auch andere Fehler, wie die Bildung von Zahnstocher-Fehlern, Schlacke, und so weiter vermieden werden.

[0121] Falls die Luftfeuchtigkeit der Umgebungsluft f_{UG} zum Beispiel sehr gering sein sollte, so kann es durch das Ansaugen von trockener Umgebungsluft zur Bildung von Marmorierungen an der Schicht 10 kommen (falls f_{UG} kleiner ist als AWZ). Hier setzt die Erfindung an, indem sie die absolute lokale Feuchtigkeit f in der kontrollierten Wasserdampf-

atmosphäre im Nahbereich NB des Stahlflachproduktes 100 automatisch erhöht, während AWZ im Wesentlichen konstant gehalten wird.

[0122] Vorzugsweise ist die Ungleichung (2.2) in der Steuerung 250 durch Software implementiert, oder es sind in einer oder mehreren Tabellen Zahlenpaare für die Abstreifwirkzahlen AWZ und für die entsprechend vorzugebende Mindestfeuchtigkeit $f_{\min}$ hinterlegt. Durch eine «lookup»-Tabelle kann die Steuerung 250 dann zu einer momentan gültigen Abstreifwirkzahl AWZ einen Mindestwert $f_{\min}$ für die absolute lokale Feuchtigkeit f ermitteln und an die Wasserdampfvorrichtung 50 übergeben. Die Wasserdampfvorrichtung 50 erzeugt dann im Nahbereich NB eine absolute lokale Feuchtigkeit f , die größer ist als $f_{\min}$. Bei diesen Ausführungsformen entspricht $f_{\min}$ mehr oder weniger der Geraden G_e in Fig. 4.

[0123] Bei allen Ausführungsformen kommen vorzugsweise Parameter (Anlagen- und/oder Verfahrensparameter) in den folgenden Zahlen- oder Wertebereichen zum Einsatz. Die einzelnen Zahlen- oder Wertebereiche der Tabelle 2 sind nicht oder nur in Teilbereichen miteinander korreliert, da die jeweiligen Maximal- und Minimalwerte aus verschiedenen Versuchsbeispielen stammen. Es wurden lediglich die jeweiligen Maximal- und Minimalwerte aus der Tabelle 1 (Fig. 7) entnommen und hier zusammengefasst.

Tabelle 2		
Parameter	Untergrenze	Obergrenze
TB [°C]	430	441
Z [mm]	5,9	9,0
D [Nm ³ /h]	1294	1468
w [mm]	1066	1541
v [m/min]	100	150

[0124] Aus der Tabelle 1 (siehe Fig. 7), sind konkrete Zahlenwerte zu den in Fig. 4 gezeigten Versuchsergebnissen gezeigt. Die Tabelle 1 der Fig. 7 zeigt fünf Versuchsbeispiele, bei denen durch die Vorgabe geeigneter Verfahrens- und/oder Anlagenparameter, respektive Abstreifwirkzahlen AWZ, und durch das Erhöhen einer absoluten lokalen Feuchtigkeit f im Nahbereich NB Schichten 10 ohne (sichtbare) Marmorierung erzeugt wurden (wie beispielhaft in Fig. 6A gezeigt). In den ersten beiden Spalten der Tabelle 1 sind jeweils die laut Spezifikation vorgegebene Auflage pro Seite und die Bandbreite w des Stahlflachproduktes 100 angegeben.

[0125] Bei den in Fig. 4 grafisch dargestellten und in Tabelle 1 (Fig. 7) gezeigten Versuchsbeispielen wurde nach dem folgenden Prinzip gehandelt. Falls unter einer gegebenen Umgebungsluftfeuchtigkeit f_{UG} und unter gegebenen Verfahrens- und Anlagenbedingungen Marmorierungsfehler auftreten, so kann erfindungsgemäß zum Beseitigen der Marmorierung die absolute lokale Luftfeuchtigkeit f im Nahbereich NB (entspricht der linken Seite der Ungleichung (2.2)) soweit angehoben werden, bis die Ungleichung (2.2) zumindest im Nahbereich NB erfüllt wird.

[0126] Die Verfahrens- und Anlagenbedingungen, respektive die Prozess- und Abstreifdüsenparameter können dabei mit Ausnahme der in der Produktion üblichen Streuungen unverändert beibehalten werden, wie der Tabelle 1 (Fig. 7) zu entnehmen ist.

[0127] In Tabelle 1 wird anhand von fünf Beispielen 1 - 5 die Anwendung einer Wasserdampfvorrichtung 50 zur Anhebung der absoluten lokalen Luftfeuchtigkeit f im Nahbereich NB dargestellt.

[0128] In den konkreten Beispielen 1 - 5 wurden der Düsenabstand Z , der Düsenlippenspalt d und die Bandgeschwindigkeit v konstant beibehalten, die Auflage, die Bandbreite w , der Düsendruck, der Durchfluss D und die Badtemperatur T_B wurden nicht bewusst verändert und unterliegen nur den in der Produktion üblichen Streuungen. Damit bleibt in jedem der Beispiele auch die daraus berechnete Abstreifwirkzahl AWZ im Wesentlichen ($\pm 10\%$) unverändert. Vorzugsweise wird die Vorrichtung 150 bei allen Ausführungsformen so betrieben, dass sich berechnete Abstreifwirkzahl AWZ beim Erhöhen der absoluten lokalen Luftfeuchtigkeit f im Nahbereich NB und dem Anpassen der Verfahrens- und Anlagenparameter maximal um $\pm 5\%$ ändert.

[0129] Die Ausgangssituation für Beispiel 1 ist in Tabelle 1 unter 1.1 dargestellt (Tabelle 1, Zeile 1.1): Mit den gegebenen Prozess- und Abstreifdüsenparametern ergibt sich dabei nach Ungleichung (2.2) eine Abstreifwirkzahl AWZ von 9,6 bei einer momentan herrschenden absoluten Umgebungsluftfeuchtigkeit f_{UG} von $3,8 \text{ g/m}^3$. Die Bedingung aus Ungleichung (2.2) für eine marmorierungsfreie Produktion, nämlich $f > AWZ$, ist damit nicht erfüllt. Tatsächlich traten in der Produktion unter diesen Bedingungen auch starke Marmorierungsfehler auf. In Fig. 4 ist der entsprechende schwarze Kreis bei $AWZ=9,6$ und $f=3,8 \text{ g/m}^3$ dargestellt.

[0130] Ausgehend davon wurde mittels einer Wasserdampfvorrichtung 50 die im Nahbereich NB geltende lokale absolute Luftfeuchtigkeit f von $3,8$ auf $20,6 \text{ g/m}^3$ angehoben, wobei die Prozess- und Abstreifdüsenparameter innerhalb

der üblichen Prozessstreuungen beibehalten wurden (Tabelle 1, Zeile 1.2). Nach dem gezielten Anheben der Luftfeuchtigkeit f war die Bedingung aus Ungleichung (2.2) für eine marmorierungsfreie Produktion, nämlich $f > AWZ$, erfüllt. Tatsächlich traten unter diesen Bedingungen keine Marmorierungsfehler mehr an der Schicht 10 auf. In Fig. 4 ist der entsprechende weiße Kreis bei $AWZ=9,6$ und $f=20,6$ g/m³ dargestellt. Ein Blockpfeil mit der Bezeichnung 1.1 → 1.2 kennzeichnet dieses 1. Beispiel.

[0131] Analog zum Beispiel 1 sind die Beispiele 2-5 zu verstehen. Ein Blockpfeil mit der Bezeichnung 2.1 → 2.2 kennzeichnet das 2. Beispiel und ein Blockpfeil mit der Bezeichnung 3.1 → 3.2 kennzeichnet das 3. Beispiel. Auch die Beispiele 4 und 5 sind in Fig. 4 entsprechend gekennzeichnet.

[0132] Aus der Tabelle 1 der Fig. 7 kann man die folgenden Wertepaare für die Abstreifwirkzahl AWZ und die absolute lokale Luftfeuchtigkeit f extrahieren (sortiert nach aufsteigender Abstreifwirkzahl AWZ). Alle Werte für die absolute lokale Luftfeuchtigkeit f sind größer als die jeweilige AWZ (in Fig. 4 liegen die entsprechend weiß gefüllten Kreise oberhalb der Geraden Ge).

Auszug aus Tabelle 1 (Fig. 7)			
absolute Luftfeuchtigkeit (f)	Abstreifwirkzahl (AWZ)	Bedingung $f > AWZ$ erfüllt?	Bewertung der Schicht 10
17,0	7,8	Ja	keine Marmorierung
20,6	9,6	Ja	keine Marmorierung
18,5	12,0	Ja	keine Marmorierung
18,0	13,5	Ja	keine Marmorierung
19,4	14,5	Ja	keine Marmorierung

[0133] Aus der Tabelle 1 der Fig. 7 kann man auch die folgenden Wertepaare für die Abstreifwirkzahl AWZ und die absolute Luftfeuchtigkeit f extrahieren (sortiert nach aufsteigender Abstreifwirkzahl AWZ). Alle Werte für die absolute lokale Luftfeuchtigkeit f sind kleiner als die jeweilige AWZ (in Fig. 4 liegen die entsprechend schwarz bzw. grau gefüllten Kreise unterhalb der Geraden Ge).

Auszug aus Tabelle 1 (Fig. 7)			
absolute Luftfeuchtigkeit (f)	Abstreifwirkzahl (AWZ)	Bedingung $f > AWZ$ erfüllt?	Bewertung der Schicht 10
4,9	7,8	Nein	starke Marmorierung
3,8	9,6	Nein	starke Marmorierung
4,1	12,2	Nein	starke Marmorierung
11,5	13,4	Nein	mittlere Marmorierung
5,0	15,3	Nein	starke Marmorierung

[0134] In Fig. 5 ist eine weitere Ausführungsform einer Vorrichtung 150 gezeigt, wobei auch hier ein Ansatz zum direkten Messen der absoluten lokalen Luftfeuchtigkeit f im Nahbereich NB und der Umgebungsluftfeuchtigkeit f_{UG} im Umfeld der Vorrichtung 150 zur Anwendung kommt. Der Aufbau der Vorrichtung 150 ist ähnlich mit der in Fig. 2A gezeigten Vorrichtung 150, daher wird auch auf die Beschreibung der Fig. 2A verwiesen. Anders als in Fig. 2A, weist die Vorrichtung 150 der Fig. 5 jedoch ein Gehäuse 52 auf. Ein solches Gehäuse 52 ist optional, da es für die Erfindung ausreicht, wenn die Wasserdampfvorrichtung 50 eine ausreichend hohe, absolute lokale Luftfeuchtigkeit f im Nahbereich NB erzeugt.

[0135] In dem Bad 11, das hier als rechteckförmiger Behälter dargestellt ist, der nach oben offen ist, befindet sich die flüssige ZnAlMg-Legierung oder ZnAl-Legierung. Von dem Stahlflachprodukt 100, das eine Bandform hat, ist in Fig. 5 nur ein kurzer Längenabschnitt nach dem Austauschen aus dem Bad 11 gezeigt. Das Stahlflachprodukt 100 wird in Richtung der x-Achse mit der Bandgeschwindigkeit v vertikal aus dem Bad 11 heraus zwischen zwei einander gegenüberstehenden Gasdüsen 15 der Abstreifdüsenvorrichtung hindurchgeführt.

[0136] Die Wasserdampfvorrichtung 50 umfasst hier das bereits erwähnte Gehäuse 52, das hier beispielsweise durch die Form eines näherungsweise zylinderförmigen Körpers im 3-dimensionalen Raum definiert ist. In Fig. 5 ist dieses näherungsweise zylinderförmige Gehäuse 52 der Wasserdampfvorrichtung 50, schematisch angedeutet. Das Gehäuse 52 besteht hier aus zwei Gehäusehälften, die symmetrisch zur x-Achse angeordnet sind. Der so definierte Nahbereich NB liegt quasi zwischen den beiden Gehäusehälften.

[0137] Das Gehäuse 52 der Wasserdampfvorrichtung 50 kann in der schematischen Schnittansicht rein gedanklich in vier Quadranten unterteilt werden. Die Wasserdampfvorrichtung 50 umfasst hier je einen Dampfgenerator DG pro Quadrant (das heißt zwei Dampfgeneratoren DG pro Gehäusehälfte). Jeder der Dampfgeneratoren DG ist außerhalb des Nahbereichs NB (resp. außerhalb des Gehäuses 52) angeordnet. Wie schematisch angedeutet, kann jeder Dampfgenerator DG gasförmigen Wasserdampf WG über eine entsprechende Gasleitung 54, ein Ventil 55 und eine Einlassbrücke 53 in den Nahbereich NB einbringen. In der Schnittdarstellung der Fig. 5 ist andeutungsweise zu erkennen, dass jede Einlassbrücke 53 strömungstechnisch über mindestens eine Durchtrittsöffnung im Gehäuse 52 mit dem Nahbereich NB verbunden ist. So kann Gas vom jeweiligen Dampfgenerator DG, durch die Leitung 54, das Ventil 55 und die Einlassbrücke 53 in den Nahbereich NB strömen. Das Gehäuse 52 kann optional parallel zur y-Achse eine Reihe von solchen Durchtrittsöffnungen aufweisen, damit sich das Gas WG gleichmäßig im Nahbereich NB verteilen kann.

[0138] Das Gehäuse 52 der Wasserdampfvorrichtung 50 sitzt bei dieser Ausführungsform direkt an den Düsen 15 der Abstreifdüsenvorrichtung und hat eine Gehäusehöhe, die parallel zur x-Achse definiert ist. Vorzugsweise entspricht die Gehäuselänge, die parallel zur y-Achse definiert ist, bei allen Ausführungsformen mindestens der Bandbreite w des Stahlflachprodukts 100 und/oder der Länge DL des Düsen 15 (auch parallel zur y-Achse definiert).

[0139] Das Gehäuse 52 der Wasserdampfvorrichtung 50 kann bei allen Ausführungsform auch eine andere Form aufweisen.

[0140] Jede der Düsen 15 wird, wie schematisch angedeutet, mittels Pumpen P_G mit dem inerten (Abstreif-)Gas G gespeist. Die beiden Pumpen P_G sind steuerungstechnisch (oder regelungstechnisch) mit der Steuerung 250 verbunden und die Steuerung 250 kann so zum Beispiel den Gasdurchfluss D pro Bandseite steuern. Die entsprechenden Verbindungslinien oder -leitungen sind in Fig. 5 mit V7, V8, V9 und V10 bezeichnet. Als Pumpe P_G wird hier z.B. ein Gebläse mit Steuerungsventilen bezeichnet.

[0141] Vorzugsweise umfassen alle Ausführungsform der Vorrichtung 150 eine Regelung der Durchflussmenge D des Gases G (automatische Auflagenregelung genannt), die so ausgelegt ist, dass trotz einer Änderung der anderen Verfahrens- und Anlagenparameter stets eine Schicht 10 mit einer im Wesentlichen gleichbleibenden Solldicke erzeugt wird. Zu diesem Zweck umfasst die Regelung mindestens einen Sensor (nicht gezeigt), der die Istdicke der Schicht 10 nach dem Abblasen der überschüssigen Zink-Schmelze misst. Sollte die Istdicke kleiner sein als die Solldicke, so reduziert die Regelung die Durchflussmenge D und umgekehrt.

[0142] Bei allen oder bei mindestens einem Teil der Ausführungsformen kann die absolute lokale Luftfeuchtigkeit f im Nahbereich NB entlang einer horizontalen y-Linie gemessen werden (die z.B. mindestens $s/2 = 20$ cm vom Stahlflachprodukt 100 entfernt ist), die parallel zum Stahlflachprodukt 100 und parallel zur y-Achse verläuft. Die beschriebene horizontale y-Linie liegt bei der Ausführungsform der Fig. 2A ungefähr im Bereich zwischen den Düsen 15 der Abstreifdüsenvorrichtung 14 und den beiden Dampfgeneratoren DG. Bei der Ausführungsform der Fig. 5 liegt die beschriebene y-Linie zwischen der Ausgangsseite A des Bades 11 und den Düsen 15 (hier ein kleines Stück unterhalb der Düsen 15).

[0143] Jede der Düsen 15 kann von einem Motor oder Aktuator (nicht gezeigt) parallel zur z-Achse bewegt werden. Die Motoren oder Aktuatoren können mit der Steuerung 250 verbunden sein. Es sind Sensoren vorhanden (nicht gezeigt), um dem Düsenabstand Z kontrollieren zu können. Dadurch lässt sich über die Steuerung 250 der Düsenabstand Z einstellen und/oder kontrollieren. Die Kontrolle des Düsenabstands Z kann bei allen Ausführungsformen lasergestützt sein. Falls die Gehäusehälften des Gehäuses 52 mit den Düsen 15 mechanisch verbunden sind, können die Gehäusehälften solidarisch mit den Düsen bewegt werden.

[0144] Die Steuerung 250 kann bei allen Ausführungsformen auch mit einer induktiven Heizung 30 oder mit einer elektrischen Widerstandsheizung des Bades 11 verbunden sein, um die Badtemperatur TB anzupassen. Bei einer induktiven Heizung, deren Spule 30 in Fig. 5 angedeutet ist, kann die Steuerung 250 die Betriebsfrequenz zum Antreiben der Spule(n) 30 über einen Frequenzgenerator FG einstellen. Daher ist der Frequenzgenerator FG steuerungstechnisch mit der Steuerung 250 verbunden, wie angedeutet. Die entsprechenden Verbindungslinien oder -leitungen sind in Fig. 5A mit V11 und V12 bezeichnet.

[0145] Vorzugsweise ist die Wasserdampfvorrichtung 50 bei allen oder bei mindestens einem Teil der Ausführungsformen dazu ausgelegt eine absolute lokale Luftfeuchtigkeit f im Nahbereich NB im Bereich von 1 g/m^3 bis 300 g/m^3 , vorzugsweise im Bereich von $2,71 \text{ g/m}^3$ bis 50 g/m^3 vorzugeben, wobei die Wasserdampfvorrichtung 50 vorzugsweise nur dann an- oder zugeschaltet wird, wenn $f_{UG} < AWZ$.

[0146] Das Volumen des Nahbereichs NB (z.B. definiert durch das virtuelle Zylindervolumen v_{ZV} oder durch das Gehäuse 52) der Wasserdampfvorrichtung 50 kann bei allen Ausführungsformen zwischen 1 m^3 bis 10 m^3 groß sein.

[0147] Fig. 8 zeigt beispielhafte Schritte eines Verfahrens, das in den beschriebenen Vorrichtungen 150 durchgeführt werden kann. Fig. 8 zeigt die Schritte in Form eines Flussdiagramms. Bevor das Verfahren zum Aufbringen einer Schicht 10 auf ein Stahlflachprodukt 100 durchgeführt wird, werden die einzelnen Komponenten und Elemente der Vorrichtung 150 eingerichtet bzw. vorbereitet (Schritt S1). Das Einrichten bzw. Vorbereiten der Vorrichtung 150 kann zum Beispiel anhand einer Soll-Spezifikation der aufzutragenden Schicht 10 erfolgen. Zu dem Einrichten bzw. Vorbereiten gehört das Definieren und (Vor-)Einstellen der Verfahrens- und Anlageparameter.

[0148] Vor, während oder nach dem Einrichten S1 wird die entsprechende Abstreifwirkzahl AWZ ermittelt (Schritt S2).

Dann wird anhand einer der Ungleichungen oder anhand einer "lookup"-Tabelle ermittelt, ob die Bedingung $f > \text{AWZ}$ erfüllt ist (Schritt S3). Falls f größer sein sollte als AWZ (JA im Flussdiagramm), kann das Verfahren zum Aufbringen einer Schicht 10 starten (Schritt S4). Falls die Bedingung $f > \text{AWZ}$ nicht erfüllt ist (NEIN im Flussdiagramm), verzweigt das Verfahren zum Schritt S5. Im Rahmen des Schrittes S5 wird durch die Wasserdampfvorrichtung 50 die Luftfeuchtigkeit f im Nahbereich NB erhöht. Und es wird dann im Schritt S3 erneut geprüft, ob die Bedingung $f > \text{AWZ}$ jetzt erfüllt ist.

[0149] Optional können in einem Zwischenschritt auch die Verfahrens- und/oder Anlagenparameter geringfügig angepasst werden, wobei diese Anpassung vorzugsweise bei allen Ausführungsformen so erfolgt, dass AWZ im Wesentlichen konstant bleibt.

[0150] In ähnlicher Form kann das Prüfen der Bedingung $f > \text{AWZ}$ während des Aufbringens der Schicht 10 von Zeit zu Zeit wiederholt werden, um auf sich ändernde Umgebungsbedingungen reagieren zu können. Falls sich f in der Umgebung oder im Nahbereich NB der Vorrichtung 150 reduziert haben sollte, sollte erneut (wie im Schritt S3) geprüft werden, ob die Bedingung $f > \text{AWZ}$ weiterhin erfüllt ist. Falls ja, dann wird das Aufbringen der Schicht 10 fortgesetzt. Falls nein, dann kann (analog zum Schritt S5) Luftfeuchtigkeit f im Nahbereich NB erhöht werden.

[0151] Sollte f_{UG} in der Umgebung der Vorrichtung 150 deutlich absinken und sollte innerhalb der Soll-Spezifikation keine sinnvolle Anpassung möglich sein, so kann das Verfahren unterbrochen werden.

Bezugszeichen

(Schutz-)Schicht / (Schutz-)Überzug	10
Zink-Schmelzbad / Zink-Legierungsschmelzbad / (Tauch-)Bad	11
Rüssel	12
Rolle	13
Düsen / Abstreifdüsenvorrichtung	14
Gasdüse / Abstreifdüse	15
Kühlbereich	16
(Gas-)Düsenlippenspalt	17
Induktivheizvorrichtung	30
Zusatzvorrichtung / Wasserdampfvorrichtung	50
Feuchtesensor (Nahbereich)	51
Gehäuse	52
Einlassbrücke	53
Gasleitung	54
Ventil	55
Feuchtesensor (Nahbereich)	56
Stahlflachprodukt / Stahlbänder / Stahlbleche / Band	100
Beschichtetes Stahlflachprodukt / Stahlband / Stahlblech	100, 10
Vorrichtung	150
Steuerung	250
Ausgangsseite	A
Abstreifwirkzahl	AWZ

EP 4 299 783 A1

(fortgesetzt)

	Halbwertsbreite	2b
5	Dicke des Düsenlippenspalts	d
	Gas-Durchfluss pro Bandseite	D
	Dampfgenerator	DG
	Düsenlänge	DL
10	Eingangseite	E
	absolute Luftfeuchtigkeit	f
	(absolute) Umgebungsluftfeuchtigkeit	f _{UG}
15	Mindestwert der absoluten Luftfeuchtigkeit	f _{min}
	Frequenzgenerator	FG
	(Abstreif-)Gas	G
	Gerade	Ge
20	Proportionalitätsfaktor	k
	Nahbereich	NB
	Druck	P
25	Pumpe	P _G
	Maximaldruck	P _s
	relative Luftfeuchtigkeit	r
	Abstand	s/2
30	Schritte	S1, S2, ...
	Temperatur	T
	Lufttemperatur	TL
35	Zeit	t
	Badtemperatur	TB
	reduzierte Badtemperatur	TB _{red}
40	Scherkraft	τ
	Maximal auftretende Scherkraft	T _{max}
	Bandgeschwindigkeit	v
	Verbindungen / Leitungen	V1, V2, V3, ...
45	virtuelles Zylindervolumen	vZV
	Bandbreite	w
	gasförmiger Wasserdampf	WG
50	Achse	x
	Achse	y
	Achse	z
	Düsenabstand	Z

55

Patentansprüche

1. Vorrichtung (150) zum Aufbringen einer Schicht (10) auf eine Vorder- und/oder Rückseite eines Stahlflachprodukts (100), umfassend:

- ein Zink-Legierungsschmelzbad (11) (ZnAl; ZnAlMg) mit einer Eingangsseite (E) und einer Ausgangsseite (A),
 - eine Abstreifdüsenvorrichtung (14) mit mindestens einer Gasdüse (15) zum Abblasen der Vorder- oder Rückseite des Stahlflachproduktes (100) mit Gas (G), wobei die Abstreifdüsenvorrichtung (14) im Bereich der Ausgangsseite (A) angeordnet ist,
 eine Wasserdampfvorrichtung (50), die dazu ausgelegt ist gasförmigen Wasserdampf abzugeben und im Nahbereich (NB) der Vorder- und/oder Rückseite des Stahlflachproduktes (100) eine kontrollierte Wasserdampf-atmosphäre bereitzustellen, wobei die kontrollierte Wasserdampf-atmosphäre eine absolute lokale Feuchtigkeit (f) aufweist, die größer ist als 1 g/m³ und kleiner ist als 300 g/m³, wobei die absolute lokale Feuchtigkeit (f) vorzugsweise im Bereich 2,71 g/m³ bis 50 g/m³ liegt.

2. Vorrichtung (150) nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** zum Aufbringen der Schicht (10) Anlagenparameter und Verfahrensparameter der Vorrichtung (150) so eingestellt werden, dass die Schicht (10) mit der Abstreifdüsenvorrichtung (14) gemäß einer vorgegebene Spezifikation abgeblasen werden kann, wobei durch die Anlagenparameter und Verfahrensparameter eine Abstreifwirkzahl (AWZ) definiert ist, die während des Aufbringens der Schicht (10) im Wesentlichen konstant ist.

3. Vorrichtung (150) nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Abstreifwirkzahl (AWZ) entweder wie folgt definiert ist:

$$AWZ = 24,61 \cdot \frac{D^2 \cdot k}{w^2 \cdot d^2 \cdot b} + 3639 \cdot \frac{b}{v} - 45,42 ,$$

oder wie folgt definiert ist:

$$AWZ = \frac{1}{14} \cdot \left(\frac{D^2 \cdot k \cdot e^{-0,5} \cdot 1,251 \cdot 10^4}{w^2 \cdot d^2 \cdot 25,92} \cdot \sqrt{\frac{-2 \cdot \ln(0,5)}{b^2}} + \frac{6 \cdot 10^4}{v} \cdot \sqrt{\frac{-b^2}{2 \cdot \ln(0,5)}} - 636 \right)$$

wobei gilt:

d ist die Dicke (d) eines Düsenlippenspalts (17), in mm, der mindestens einen Gasdüse (15) der Abstreifdüsenvorrichtung (14)

D ist die über die Bandbreite (w) wirksame Durchfluss(menge) (D) des Gases (G) pro Seite des Stahlflachprodukts (100) in Nm³/h

k ist ein einheitenloser Proportionalitätsfaktor

w ist die Bandbreite des Stahlflachproduktes (100) in mm

2b ist die Halbwertsbreite der Druckverteilung des Gases (G) am Stahlflachprodukt (100) in mm

v ist die Bandgeschwindigkeit in m/min, mit der das Stahlflachprodukt (100) entlang der Abstreifdüsenvorrichtung (14) und durch den Nahbereich (NB) bewegt wird.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** für die halbe Halbwertsbreite (b) und den Proportionalitätsfaktor (k) unter der Verwendung des Verhältnisses des Abstands (Z) zur Dicke (d) des Düsenlippenspalts (17) folgende Definitionen gelten:

Fall 1.1:

$$\frac{Z}{d} < 5,2 \rightarrow b = 1,9 \cdot \frac{d}{2}$$

und $k = 1$

Fall 1.2:

$$5,2 \leq \frac{Z}{d} < 10$$

$$\rightarrow b = \left[-\left(\frac{Z}{d}\right)^4 \cdot 3,22 \cdot 10^{-4} + \left(\frac{Z}{d}\right)^3 \cdot 9,78 \cdot 10^{-3} - \left(\frac{Z}{d}\right)^2 \cdot 8,39 \cdot 10^{-2} + \left(\frac{Z}{d}\right) \cdot 2,72 \cdot 10^{-1} + 1,62 \right] \cdot \frac{d}{2}$$

$$\rightarrow k = -\left(\frac{Z}{d}\right)^4 \cdot 6,05 \cdot 10^{-4} + \left(\frac{Z}{d}\right)^3 \cdot 2,2 \cdot 10^{-2} - \left(\frac{Z}{d}\right)^2 \cdot 2,89 \cdot 10^{-1} + \left(\frac{Z}{d}\right) \cdot 1,55 - 1,9$$

Fall 1.3:

$$\frac{Z}{d} \geq 10 \rightarrow b = 0,125 \cdot Z$$

$$\text{und } k = 6,5 \cdot \frac{d}{Z}$$

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** bei der Ermittlung der Werte für die halbe Halbwertsbreite (b) und den Proportionalitätsfaktor (k) unter der Verwendung des Verhältnisses des Abstands (Z) zur Dicke (d) des Düsenlippenspalts (17) folgende vereinfachte Definitionen gelten:

Fall 2.1:

$$\frac{Z}{d} < 7,6 \rightarrow b = 1,9 \cdot \frac{d}{2}$$

und $k = 1$

Fall 2.2:

$$\frac{Z}{d} \geq 7,6 \rightarrow b = 0,125 \cdot Z$$

$$\text{und } k = 6,5 \cdot \frac{d}{Z}$$

6. Vorrichtung (150) nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet, dass**

- die Dicke (d) des Düsenlippenspalts (17) in einem Bereich zwischen 0,5 und 10 mm, vorzugsweise zwischen 0,8 und 2,0 mm liegt, und/oder
- die Durchflussmenge (D) im Bereich von 200 bis 8000 Nm³ pro Stunde beträgt, und/oder
- der Abstand (Z) zwischen dem Düsenlippenspalt (17) und der Vorder- bzw. Rückseite des Stahlflachprodukts (100) in einem Bereich zwischen 2 und 15 mm, vorzugsweise zwischen 3 und 12 mm liegt, und/oder
- die Bandgeschwindigkeit (v) in einem Bereich zwischen 50 und 200 m/min, vorzugsweise zwischen 70 und 150 m/min beträgt, und/oder
- der Nahbereich (NB) ein Volumen in einem Bereich von 1 m³ bis 10 m³ und vorzugsweise ein Volumen von mindestens als 2 m³ hat.

7. Vorrichtung (150) nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** die absolute lokale Luftfeuchtigkeit (f) in einem virtuellen Zylindervolumen gilt, das einerseits durch eine virtuelle Zylinderoberfläche und

andererseits durch zwei auf beiden Seiten des Stahlflachprodukts (100) parallel zum Stahlflachprodukt (100) verlaufende, virtuelle Ebenen mit einem Abstand (s) zum Stahlflachprodukt (100) begrenzt werden, wobei das Zylindervolumen ein Volumen in einem Bereich von 1 m^3 bis 10 m^3 und vorzugsweise ein Volumen von mindestens 2 m^3 aufweist, wobei die Messung der absoluten lokalen Feuchtigkeit (f) direkt oder indirekt vorgenommen wird.

8. Vorrichtung (150) nach einem der Ansprüche 2 bis 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** sie eine Steuerung (250) umfasst, die dazu ausgelegt ist, die kontrollierte Wasserdampfatmosfera zu regeln, um die absolute Feuchtigkeit (f) so einzustellen, dass während des Aufbringens und Abblasens der Schicht (10) die folgende Ungleichung erfüllt ist: $f > \text{AWZ}$.

9. Vorrichtung (150) nach einem der Ansprüche 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Wasserdampfvorrichtung (50) die Vorder- und/oder Rückseite des Stahlflachprodukts (100) mindestens teilweise mit einem Gehäuse (52) umschließt, um die kontrollierte Wasserdampfatmosfera als quasistatische Umgebungsbedingung in einem Nahbereich (NB) im Inneren des Gehäuses (52) vorgeben zu können.

10. Vorrichtung (150) nach Anspruch 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** die absolute lokale Luftfeuchtigkeit (f) im Nahbereich (NB) des Gehäuses (52) messbar ist, wobei die Messung der absoluten lokalen Feuchtigkeit (f) direkt oder indirekt vorgenommen wird.

11. Vorrichtung (150) nach Anspruch 9 oder 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Nahbereich (NB) des Gehäuses (52) ein Volumen in einem Bereich von 1 m^3 bis 10 m^3 und vorzugsweise ein Volumen von mindestens 2 m^3 aufweist.

12. Vorrichtung (150) nach einem der Ansprüche 2 - 11, **dadurch gekennzeichnet, dass** die vorgegebene Spezifikation die Beschichtungsaufgabe der Schicht (10) und/oder die Solldicke der Schicht (10) festlegt und dass die aufzubringende Schicht (10) die folgende Vorgabe erfüllt:

- Beschichtungsaufgabe der Schicht (10) je Seite des Stahlflachprodukts (100), die im Bereich 20 bis 200 g/m^2 , vorzugsweise Bereich 30 bis 100 g/m^2 , liegt, und/oder
- Solldicke der Schicht (10) je Seite des Stahlflachprodukts (100), die im Bereich 3 bis $30 \text{ }\mu\text{m}$, vorzugsweise Bereich 4,5 bis $15 \text{ }\mu\text{m}$ liegt.

13. Vorrichtung (150) nach einem der Ansprüche 1 - 12, **dadurch gekennzeichnet, dass** durch die kontrollierte Wasserdampfatmosfera für eine gegebene Abstreifwirkzahl (AWZ) eine ausreichend hohe absolute lokale Luftfeuchtigkeit (f) im Nahbereich (NB) vorgegeben wird, um eine Marmorierung und/oder die Bildung von Zahnstocher-Fehlern an der Schicht (10) zu verhindern.

14. Vorrichtung (150) nach einem der Ansprüche 1 - 12, **dadurch gekennzeichnet, dass**

- mindestens ein Feuchtigkeitssensor (51) im Nahbereich (NB) der Wasserdampfvorrichtung (50) angeordnet ist, um die absolute lokale Luftfeuchtigkeit (f) im Nahbereich (NB) direkt messen zu können, und/oder
- mindestens ein Feuchtigkeitssensor (56) vorgesehen ist, um die absolute lokale Luftfeuchtigkeit (f_{UG}) in der Umgebung der Vorrichtung (150) direkt messen zu können.

15. Vorrichtung (150) nach einem der Ansprüche 1 - 14, **dadurch gekennzeichnet, dass** sie mindestens einen Dampfgenerator (DG) umfasst, um die absolute lokale Luftfeuchtigkeit (f) so automatisiert anpassen zu können, dass die absolute lokale Luftfeuchtigkeit (f) größer ist als die Abstreifwirkzahl (AWZ).

16. Verfahren zum Aufbringen einer Schicht (10) gemäß einer Sollspezifikation auf mindestens eine Seite eines Stahlflachprodukts (100), indem das Stahlflachprodukt (100) durch ein Zink-Legierungsschmelzbad (11) (ZnAl ; ZnAlMg) bewegt und auf dessen Ausgangsseite (A) Abstreifgas (G) durch einen Düsenlippenspalt (17) mindestens einer Gasdüse (15) in Richtung des Stahlflachproduktes (100) austritt, um die Schicht (10) gemäß Sollspezifikation abzublasen, wobei durch die folgenden Parameter eine Abstreifwirkzahl (AWZ) definiert ist:

- d Dicke (d) des Düsenlippenspalt (17) der Gasdüse (15) der Abstreifdüsenvorrichtung (14),
- D über die Bandbreite (w) wirksame Durchfluss(menge) (D) des Gases (G) pro Seite des Stahlflachprodukts (100) in Nm^3/h ,
- w Bandbreite des Stahlflachproduktes (100) in mm,
- 2b Halbwertsbreite der Druckverteilung des Gases (G) am Stahlflachprodukt (100) in mm,

v Bandgeschwindigkeit in m/min, mit der das Stahlfachprodukt (100) entlang der Abstreifdüsenvorrichtung (14) bewegt wird,

wobei das Verfahren die folgenden Schritte umfasst:

- Ermitteln der absoluten lokalen Feuchtigkeit (f) in einer kontrollierten Wasserdampfatmosphäre in einem Nahbereich (NB) an der Vorder- und/oder Rückseite des Stahlfachprodukts (100) und/oder der Umgebungsluftfeuchtigkeit (f_{UG}) vor dem Durchführen des Verfahrens und/oder während der Durchführung des Verfahrens,
- In Bezug setzen der ermittelten Feuchtigkeit (f , f_{UG}) mit der Abstreifwirkzahl (AWZ), um festzustellen, ob die Bedingung $f > AWZ$ oder $f_{UG} > AWZ$ erfüllt ist,
- falls die Bedingung erfüllt ist, Initialisieren oder Fortsetzen des Verfahrens zum Aufbringen der Schicht (10), oder falls die Bedingung nicht erfüllt ist, Erhöhen der absoluten lokalen Feuchtigkeit (f) in der kontrollierten Wasserdampfatmosphäre durch den Einsatz einer Wasserdampfvorrichtung (50), die dazu ausgelegt ist gasförmigen Wasserdampf abzugeben, um so die Erfüllung der Bedingung $f > AWZ$ zu erreichen, um dann das Verfahren zum Aufbringen der Schicht zu initialisieren oder fortzusetzen.

17. Verfahren nach Anspruch 16, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Abstreifwirkzahl (AWZ) entweder wie folgt definiert ist:

$$AWZ = 24,61 \cdot \frac{D^2 \cdot k}{w^2 \cdot d^2 \cdot b} + 3639 \cdot \frac{b}{v} - 45,42 ,$$

oder wie folgt definiert ist:

$$AWZ = \frac{1}{14} \cdot \left(\frac{D^2 \cdot k \cdot e^{-0,5} \cdot 1,251 \cdot 10^4}{w^2 \cdot d^2 \cdot 25,92} \cdot \sqrt{\frac{-2 \cdot \ln(0,5)}{b^2}} + \frac{6 \cdot 10^4}{v} \cdot \sqrt{\frac{-b^2}{2 \cdot \ln(0,5)}} - 636 \right)$$

wobei gilt:

d ist die Dicke (d) eines Düsenlippenspalts (17), in mm, einer Gasdüse (15) der Abstreifdüsenvorrichtung (14)
D ist die über die Bandbreite (w) wirksame Durchfluss(menge) (D) des Gases (G) pro Seite des Stahlfachprodukts (100) in Nm³/h

k ist ein einheitenloser Proportionalitätsfaktor

w ist die Bandbreite des Stahlfachproduktes (100) in mm

2b ist die Halbwertsbreite der Druckverteilung des Gases (G) am Stahlfachprodukt (100) in mm

v ist die Bandgeschwindigkeit in m/min, mit der das Stahlfachprodukt (100) entlang der Abstreifdüsenvorrichtung (14) und durch den Nahbereich (NB) bewegt wird.

18. Verfahren nach einem der Ansprüche 16 oder 17, **dadurch gekennzeichnet, dass** die absolute lokale Feuchtigkeit (f) der kontrollierten Wasserdampfatmosphäre an der Vorder- und/oder Rückseite des Stahlfachproduktes (100) in einem Abstand von mehr als 20 cm von der Vorder- und/oder Rückseite ermittelt wird.

19. Verfahren nach einem der Ansprüche 16 bis 18, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine Steuerung (250) zum Einsatz kommt, die dazu ausgelegt ist, die kontrollierte Wasserdampfatmosphäre zu regeln, um die absolute Feuchtigkeit (f) so einzustellen, dass während des Aufbringens und Abblasens der Schicht (10) die Bedingung erfüllt ist: $f > AWZ$.

150

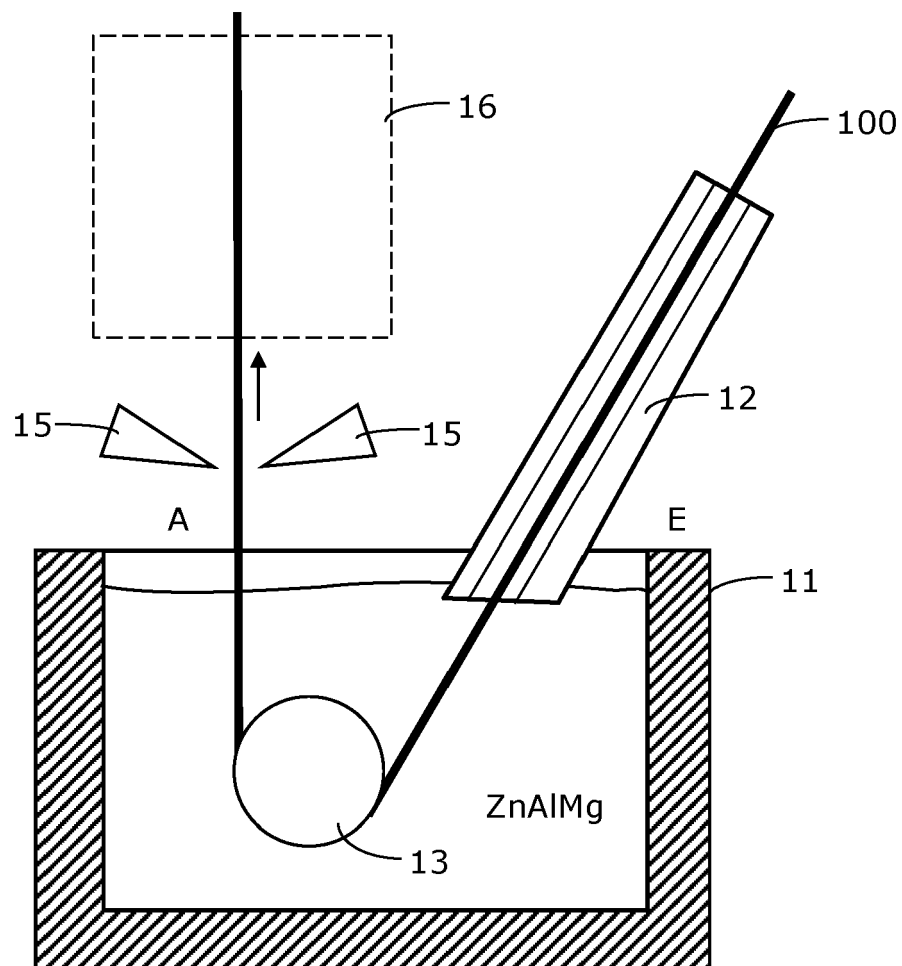


Fig. 1

150

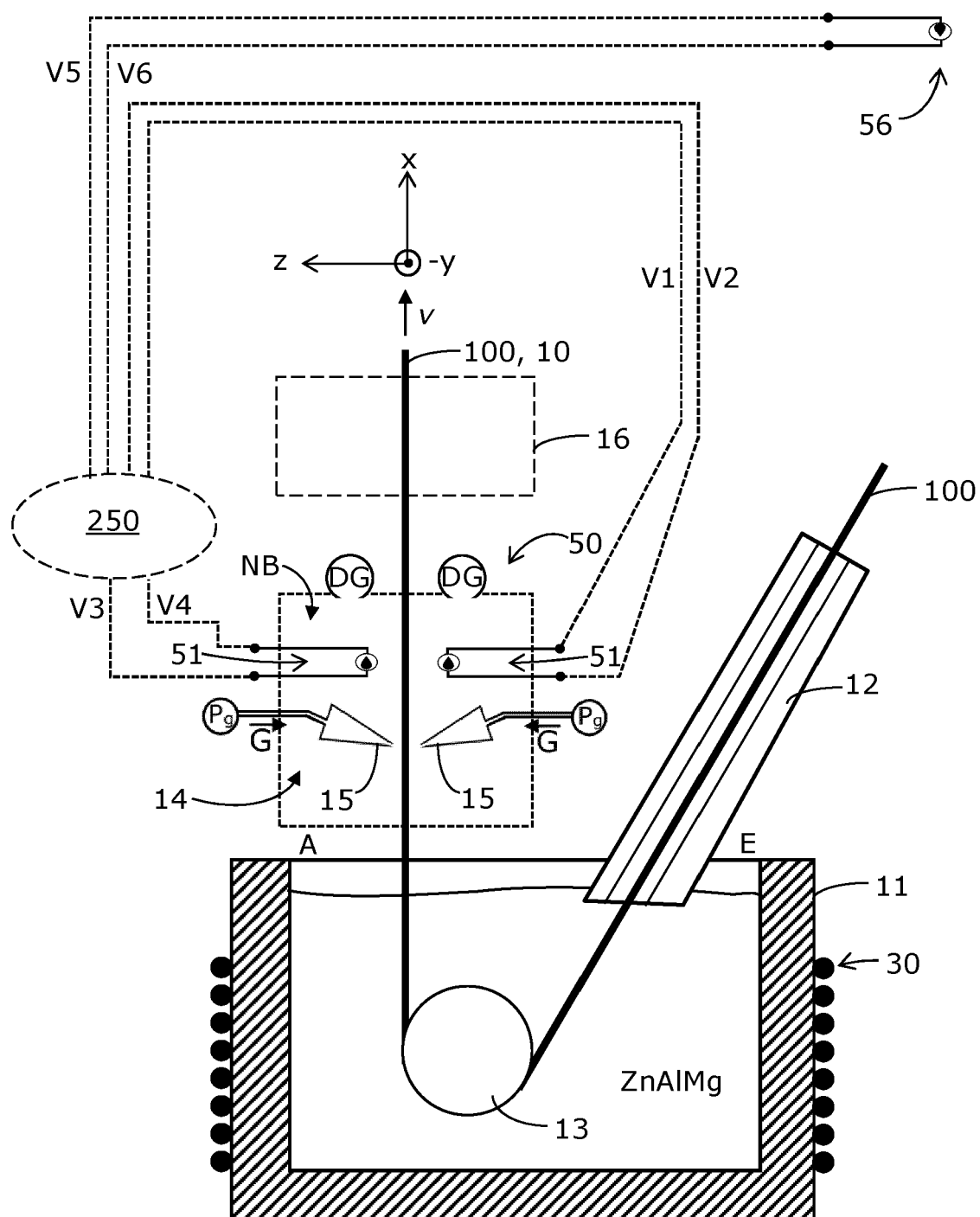


Fig. 2A

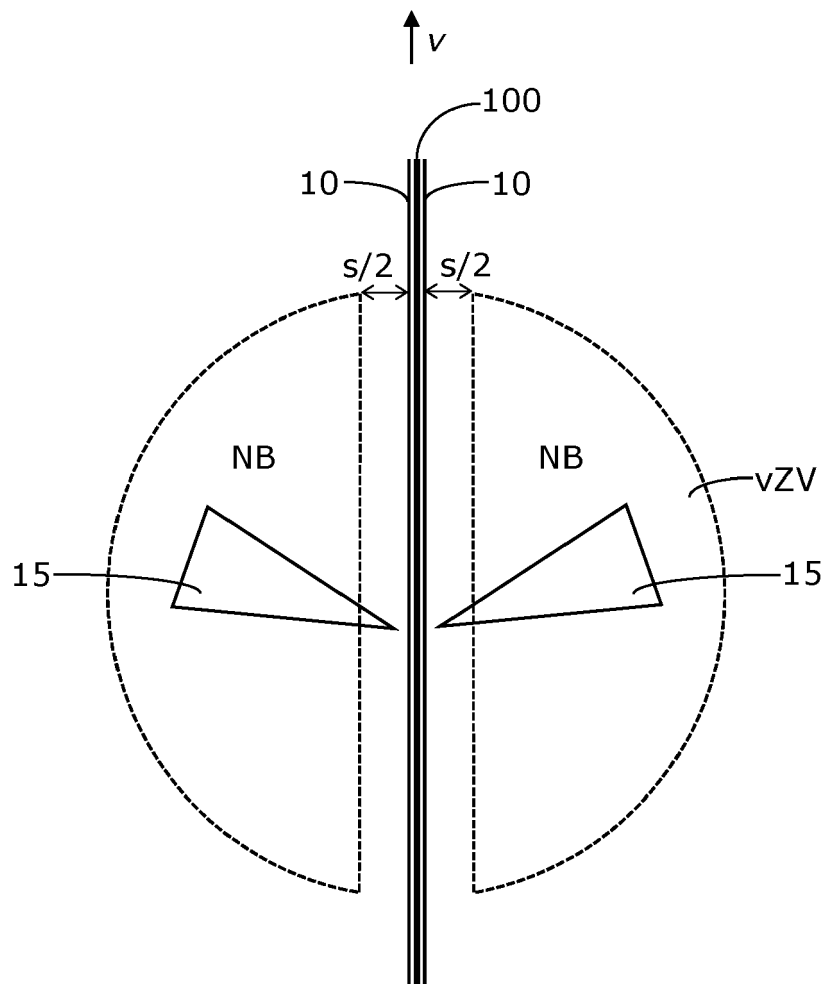


Fig. 2B

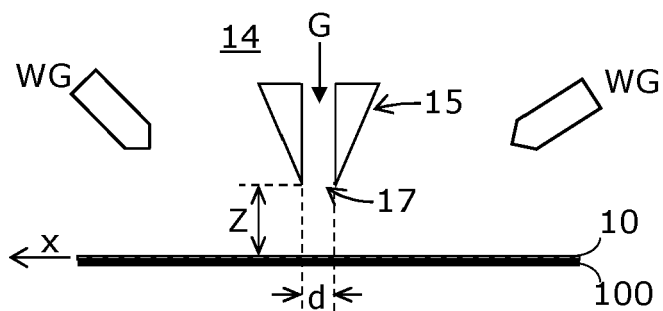


Fig. 3A

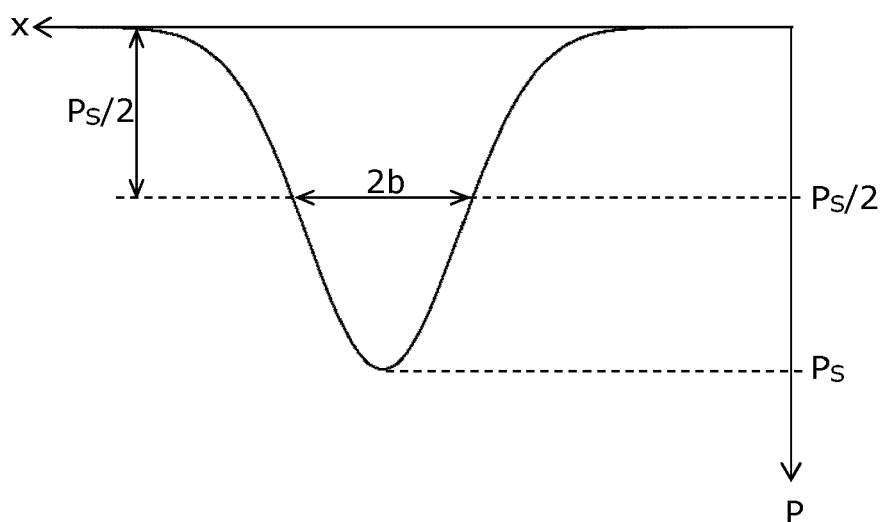


Fig. 3B

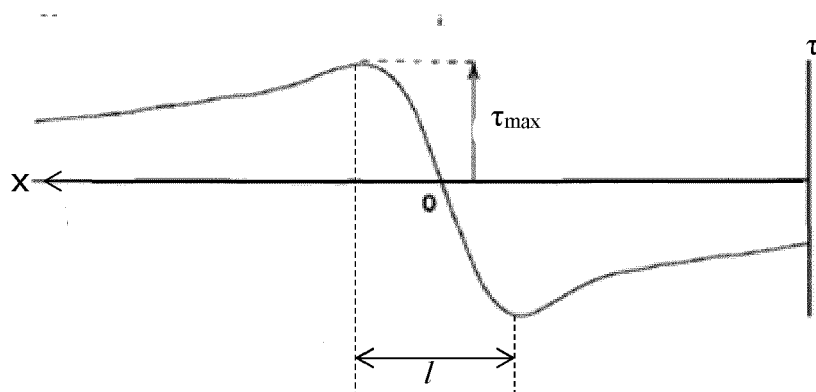
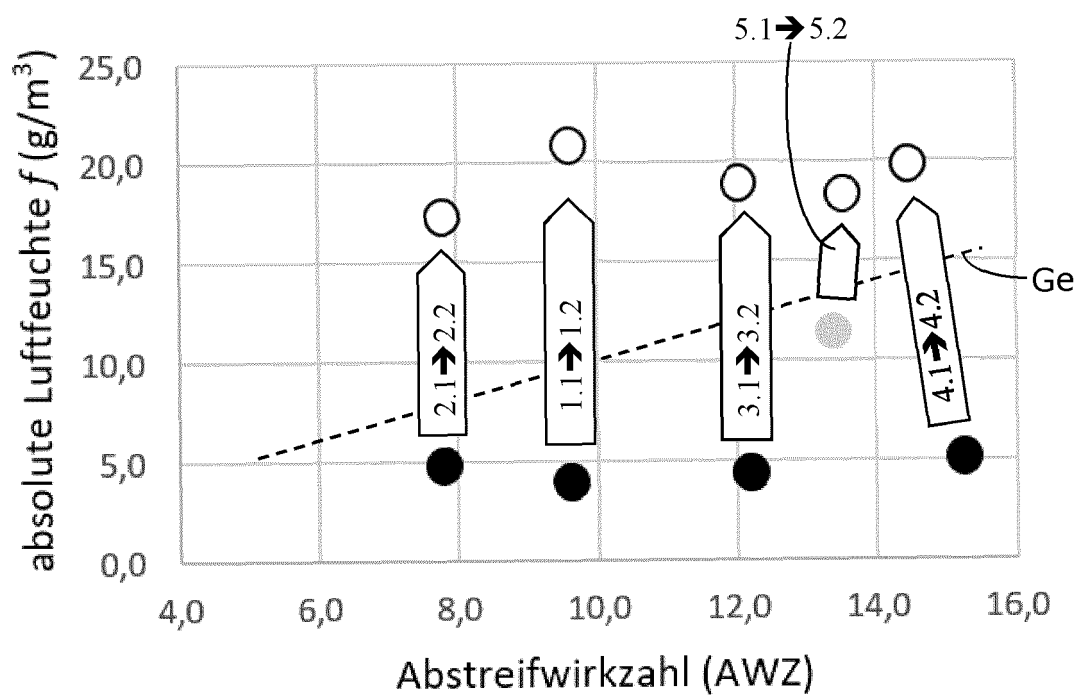


Fig. 3C



- starke Marmorierung
- mittlere Marmorierung
- keine Marmorierung

Fig. 4

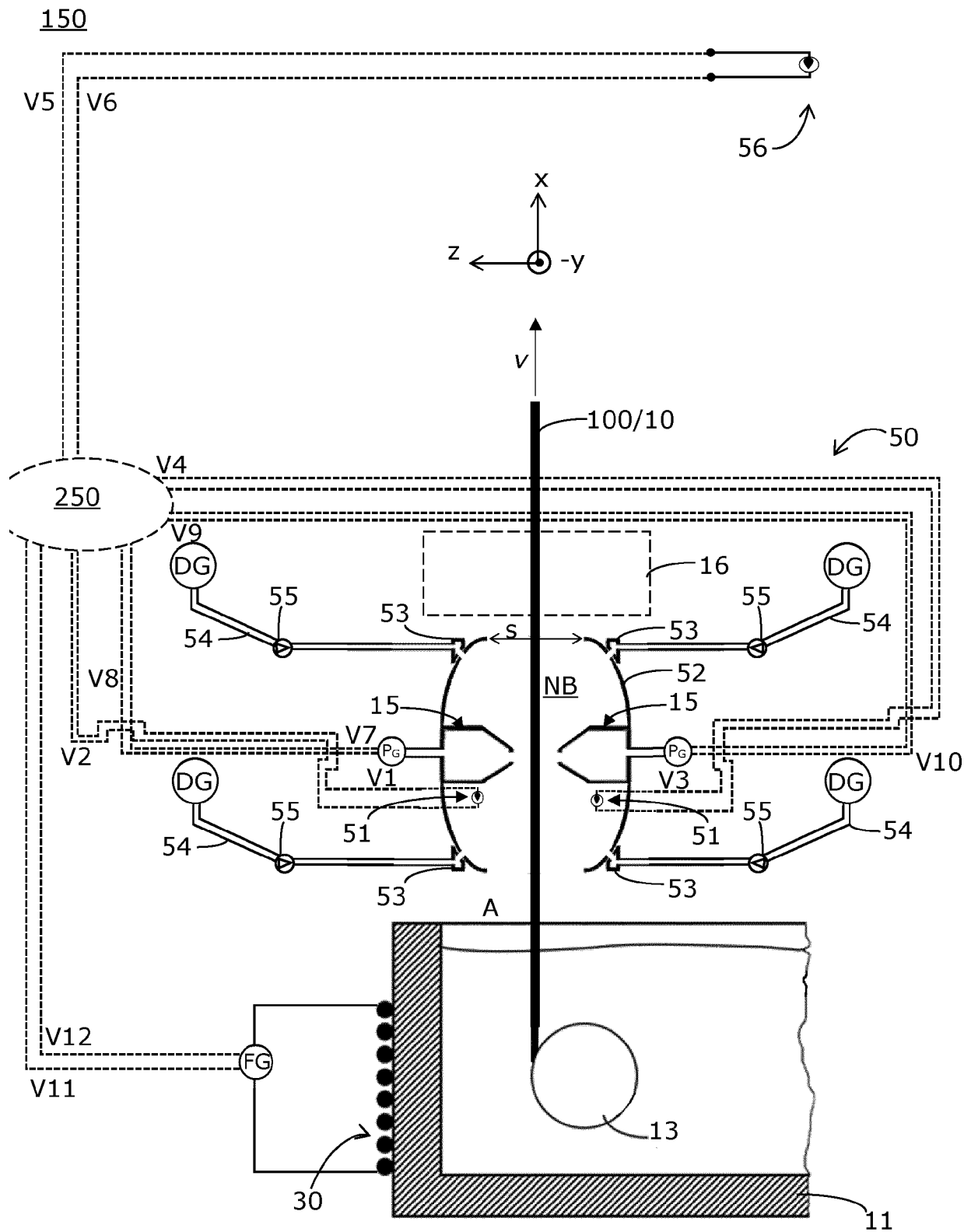


Fig. 5

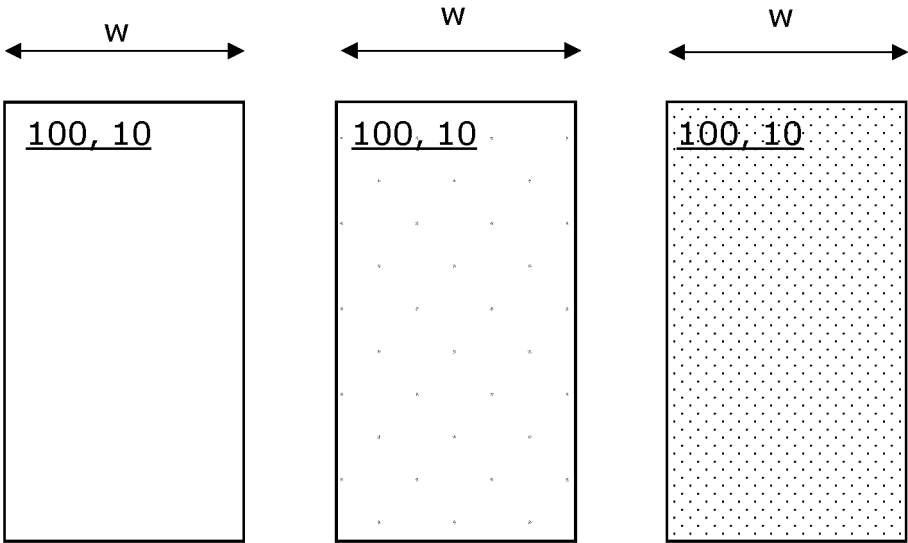


Fig. 6A

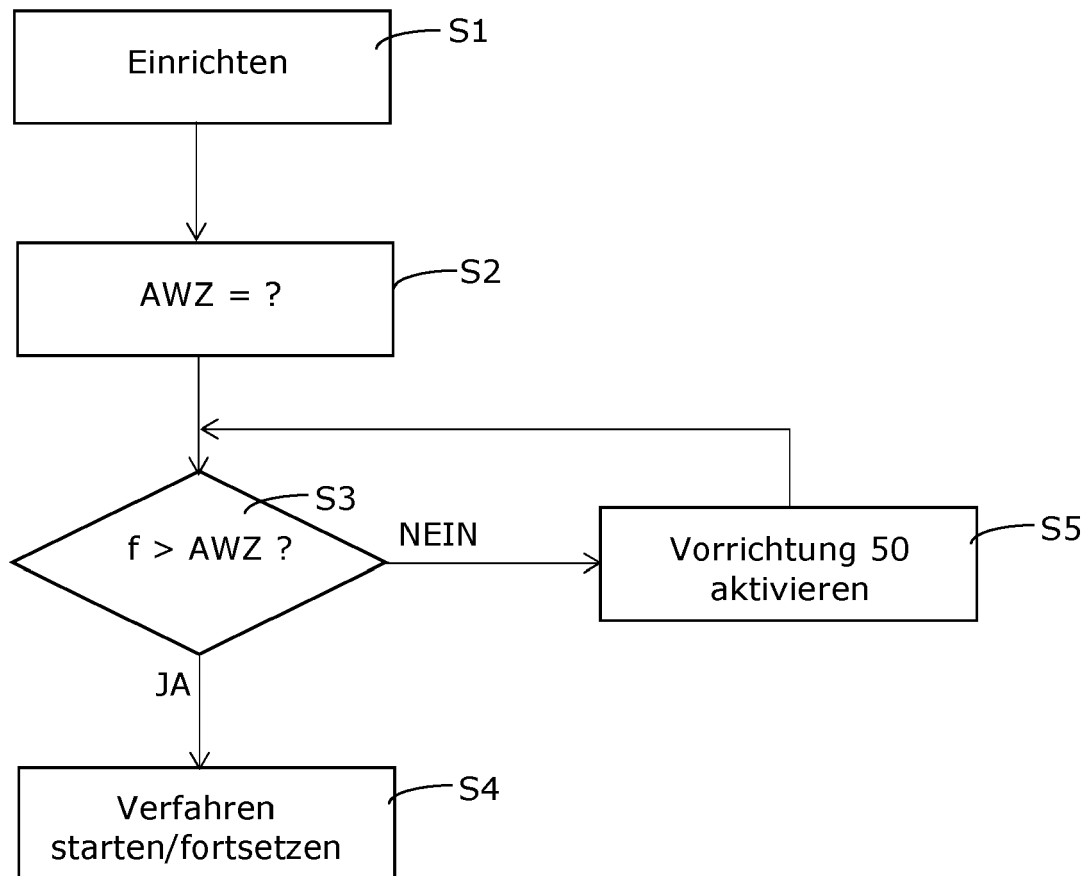
Fig. 6B

Fig. 6C

Tabelle 1

	Auflage pro Seite	Bandbreite (w)	Bandgeschwindigkeit (v)	Düsenlippenspalt (d)	Düsenabstand (Z)	Düsendruck	Gasdurchfluss pro Seite (D)	Badtemperatur	Abstreifwirksamkeit (AWZ)	absolute lokale Luftfeuchte (f)	Wasserdampfvorrichtung in Betrieb	Marmorierung		f > AWZ
		mm	m/min	mm	mm	mbar	Nm³/h	°C		g/m³				
Beispiel 1	1.1	1425	100	1,0	7,5	298	134,1	439	9,6	3,8	nein	●	starke Marmorierung	x
	1.2	1421	100	1,0	7,5	296	133,5	439	9,6	20,6	ja	○	keine Marmorierung	✓
Beispiel 2	2.1	1537	100	1,0	7,7	305	137,3	440	7,9	4,9	nein	●	starke Marmorierung	x
	2.2	1541	100	1,0	7,7	292	137,8	441	7,8	17,0	ja	○	keine Marmorierung	✓
Beispiel 3	3.1	1437	100	1,0	9,0	347	146,8	440	12,2	4,1	nein	●	starke Marmorierung	x
	3.2	1435	100	1,0	9,0	340	146,0	439	12,0	18,5	ja	○	keine Marmorierung	✓
Beispiel 4	4.1	1066	150	1,0	5,9	375	130,9	431	15,3	5,0	nein	●	starke Marmorierung	x
	4.2	1066	150	1,0	5,9	371	129,4	430	14,5	19,4	ja	○	keine Marmorierung	✓
Beispiel 5	5.1	1383	100	1,0	6,9	328	140,0	440	13,4	11,5	nein	●	mittlere Marmorierung	x
	5.2	1383	100	1,0	6,9	325	140,5	440	13,5	18,0	ja	○	keine Marmorierung	✓

Fig. 7

**Fig. 8**



EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung

EP 22 18 2309

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

1

EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
X	EP 0 172 682 A1 (ARMCO INC [US]) 26. Februar 1986 (1986-02-26)	1-15	INV. C23C2/06
A	* Seite 9, Zeilen 1-35; Abbildung 1 * -----	16-19	C23C2/14 C23C2/16
X	DE 15 21 405 A1 (NAT STEEL CORP) 21. August 1969 (1969-08-21)	1-15	C23C2/18 C23C2/20
A	* Ansprüche 1-11; Abbildungen 1-2 * -----	16-19	C23C2/00
X	DE 39 33 244 C1 (HOESCH STAHL AG) 13. Juni 1990 (1990-06-13)	1-15	
A	* Spalten 7-9; Ansprüche 1-5; Abbildungen 1-5 * -----	16-19	
A	DE 27 09 551 A1 (INLAND STEEL CO) 7. September 1978 (1978-09-07) * Ansprüche 1-13 * -----	1-19	
			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)
			C23C
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort Den Haag		Abschlußdatum der Recherche 22. November 2022	Prüfer Chalaftris, Georgios
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 22 18 2309

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

22-11-2022

Im Recherchenbericht angeführtes Patentedokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
EP 0172682 A1	26-02-1986	AR 241944 A1	29-01-1993
		AT 40574 T	15-02-1989
		AU 586636 B2	20-07-1989
		CA 1254802 A	30-05-1989
		EP 0172682 A1	26-02-1986
		ES 8606517 A1	01-04-1986
		FI 79349 B	31-08-1989
		JP H0135072 B2	24-07-1989
		JP S6141755 A	28-02-1986
		KR 860001212 A	24-02-1986
		US 4557952 A	10-12-1985

DE 1521405 A1	21-08-1969	KEINE	

DE 3933244 C1	13-06-1990	KEINE	

DE 2709551 A1	07-09-1978	KEINE	

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 2014033153 A1 [0003]
- EP 0172682 B1 [0005]
- JP 2020100886 A [0006]
- EP 20130826634 A [0008]
- JP 20080256208 B [0008]

In der Beschreibung aufgeführte Nicht-Patentliteratur

- Wall Pressure and Shear Stress Measurements Beneath an Impinging Jet. **C.V. TU et al.** Experimental Thermal and Fluid Science. Elsevier Science Inc, 1996, vol. 16, 364-373 [0080]