



(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
03.06.2020 Patentblatt 2020/23

(51) Int Cl.:
C21D 8/02 (2006.01) B21B 37/76 (2006.01)
C21D 11/00 (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **19204136.6**

(22) Anmeldetag: **18.10.2019**

(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

- **Hassel, Christoph**
40237 Düsseldorf (DE)
- **Heimann, Thomas**
58644 Iserlohn (DE)
- **Die weiteren Erfinder haben auf ihr Recht verzichtet, als solche bekannt gemacht zu werden.**

(30) Priorität: **28.11.2018 DE 102018220382**

(71) Anmelder: **SMS Group GmbH**
40237 Düsseldorf (DE)

(72) Erfinder:
• **Oudehinken, Heinz-Jürgen**
45149 Essen (DE)

(74) Vertreter: **Klüppel, Walter**
Hemmerich & Kollegen
Patentanwälte
Hammerstraße 2
57072 Siegen (DE)

(54) **VERFAHREN ZUR HERSTELLUNG EINES METALLISCHEN BANDES**

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung eines metallischen Bandes (1), bei dem das Band (1) in Förderrichtung (F) zunächst in einem Walzwerk (2) gewalzt und anschließend in einer Kühlstrecke (3) gekühlt wird, woraufhin das Band (1) auf einem Haspel (4) zu einem Coil gewickelt wird, wobei Gefüge-Eigenschaften des Bandes (1) durch ein rechnerisches Gefügemodell ermittelt werden. Um die Qualität des Bandes zu verbessern und insbesondere das Gefüge des Bandes über die Länge und Breite des Bandes genauer vorhersagen

zu können, sieht die Erfindung vor, dass die Ermittlung der Gefüge-Eigenschaften des Bandes (1) mittels des Gefügemodells für das zum Coil gewickelten Band erfolgt, indem die Temperatur (T) und/oder die Spannung (σ) zunächst nur für einen Abschnitt (5) des gewickelten Bandes (1) ermittelt und dem Gefügemodell zu Grunde gelegt wird und dann die Gefüge-Eigenschaften des gesamten gewickelten Bandes (1) durch Zusammenfügung der einzelnen Abschnitte (5) des gewickelten Bandes (1) ermittelt werden.

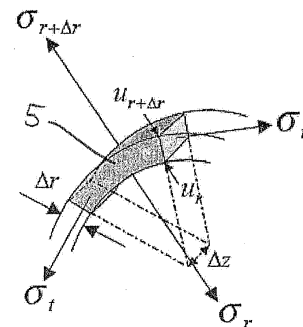
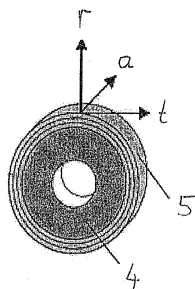


Fig. 3

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung eines metallischen Bandes, bei dem das Band in Förder-
richtung zunächst in einem Walzwerk gewalzt und anschließend in einer Kühlstrecke gekühlt wird, woraufhin das Band
auf einem Haspel zu einem Coil gewickelt wird, wobei Gefüge-Eigenschaften des Bandes durch ein rechnerisches
Gefügemodell ermittelt werden.

[0002] Ein derartiges Verfahren ist aus der EP 1 608 472 B1 bekannt. Hier werden Computermodule beschrieben,
die insbesondere zur Bestimmung der Strukturveränderungen während des Phasenübergangs des gewalzten Materials
eingesetzt werden. Ähnliche und andere Lösungen zeigen die CN 104745784 A, die CN 104694720 A, die CN 106345823
A und die JP 2006 224177 A.

[0003] Das Band, d. h. das herzustellende Produkt, soll nach dem Warmwalzen möglichst gleichmäßige Gefügeeig-
enschaften über die Breite und die Länge des Bandes aufweisen. Eine geringe Streubreite bei den mechanischen
Eigenschaften wie unter anderem die Streckgrenze und die Zugfestigkeit gewährleistet einerseits verlässliche Weiter-
verarbeitungs- und Gebrauchseigenschaften; andererseits wird ein sparsamer Einsatz von Legierungszusätzen ermög-
licht, um die Garantiewerte bei den Werkstoffeigenschaften zu erreichen.

[0004] Die Einstellung der Werkstoffeigenschaften erfolgt durch eine gezielte Abstimmung der Prozessschritte Walzen,
Schnellkühlung in der Wasserkühlstrecke und langsamer Abkühlung im gewickelten Bund. Das Walzen des Bandes
wird dabei so gesteuert, dass vor der Wasserkühlung eine möglichst konstante Temperatur über die Bandlänge erreicht
wird. Die anschließende Kühlung des Bandes wird so eingestellt, dass auch vor dem Aufhaspeln eine möglichst konstante
Temperatur über die Bandlänge oder ein vorgegebenes Temperaturlängsprofil entsteht. Zusätzlich kann durch eine
Breitenmaskierungs-Einrichtung das Temperatur-Breitenprofil beeinflusst werden. Mit diesen Mitteln wird in der Regel
eine homogene Gefügeeigenschaft über die Breite und die Länge des Bandes erreicht.

[0005] Eine Überprüfung des erreichten Niveaus der mechanischen Eigenschaften erfolgt durch eine gelegentliche
Probenentnahme aus der letzten Windung des aufgewickelten und abgekühlten Bundes. Der Einsatz von an sich be-
kannten Online-Gefügemodellen ermöglicht eine zeitlich lückenlose Überwachung der erzeugten Bandeigenschaften
oder eine Prognose zu den mechanischen Eigenschaften des Produktes während des Herstellungsprozesses. Das
Gefügemodell kann dabei mit Messwerten von entnommenen Proben abgeglichen werden.

[0006] Vorgenommene Messungen der Bandeigenschaften entlang der gesamten Bandfläche (in Längs- und Quer-
richtung des Bandes) eines abgewickelten Bundes haben gezeigt, dass es zum Teil beträchtliche systematische Un-
terschiede abhängig von der Bandposition gibt. Erklärt werden diese Befunde dadurch, dass Gefügeumwandlung und
Ausscheidungsvorgänge nach der Wasserkühlung in vielen Fällen noch nicht vollständig abgeschlossen sind und sich
im aufgewickelten Bund weiter fortsetzen, wobei die dort sehr unterschiedlichen Temperaturverläufe innerhalb der
verschiedenen Bundpositionen unterschiedliche Endzustände bewirken. Für den Produzenten des Bandes ist es daher
von Interesse, nicht nur die Bandeigenschaften an der Probenentnahmestelle zu kennen, sondern eine Übersicht über
den Zustand innerhalb des gesamten Bundes zu haben. Eine Probenentnahme innerhalb des Bundes ist aber während
des praktischen Produktionsbetriebes nicht umsetzbar. Die bisher zur Anwendung gekommenen Online-Gefügemodelle
beschränken sich auf wenige Bandpunkte entlang der Bandlänge und schließen die restlichen Umwandlungsprozesse
im gewickelten Bund nicht explizit und positionsgebunden mit ein. Doch solange der endgültige Gesamtzustand nicht
umfänglich vorhergesagt werden kann, kann auch keine gesteuerte Kompensationsmaßnahme vor und nach dem Auf-
wickeln zur weiteren Homogenisierung der Gebrauchseigenschaften erfolgen.

[0007] Die bisher mittels Gefügemodell berechneten Bandeigenschaften repräsentieren vornehmlich das Bandende
bzw. die äußere Bandwindung, für das in der Regel auch stichprobenartige Messergebnisse vorliegen. Für die übrigen
Bandteile müssen hinsichtlich der garantierten Eigenschaften bestimmte Sicherheitsabschläge einkalkuliert werden, die
auf Erfahrungswerten beruhen. Eine prozessangepasste Optimierung der Kühleinstellungen ist bei der Vielzahl der
Prozessbedingungen nicht möglich, weil detaillierte Informationen über die aktuellen Gefügeveränderungen im Bund
nur sehr aufwändig zu beschaffen wären.

[0008] Der Erfindung liegt die **Aufgabe** zugrunde, ein gattungsgemäßes Verfahren so fortzubilden, dass es ermöglicht
wird, den endgültigen Gefügezustand des Bandes bis zur Abkühlung auf Raumtemperatur rechnerisch zu bestimmen.
Dabei soll insbesondere die Aufgabe bewältigt werden, die vom Temperaturverlauf und somit von den komplexen
Wärmeübergangsbedingungen abhängigen Gefügeveränderungen zwischen den Bundwindungen und dem Haspeldorn
zu berücksichtigen. Im Vergleich zu vorbekannten Nutzungen von Gefügemodellen, die bei der Haspeltemperatur enden,
sollen individuell für jede Bandposition relevante Gefügeeigenschaften erfasst bzw. berücksichtigt werden, wobei ins-
besondere folgende Einflüsse auf das Gefüge mitberücksichtigt werden sollen: das Kornwachstum noch nicht umge-
wandelter Bestandteile und Polygonisation von Ferritkörnern, weitere Auscheidungsvorgänge von z. B. Nb(CN) im Bund,
Vergrößerungen vorhandener Ausscheidung-Partikel, Vergrößerung des Perlit-Lamellenabstandes und Vergrößerung der
Bainit-Struktur.

[0009] Die **Lösung** dieser Aufgabe durch die Erfindung ist dadurch gekennzeichnet, dass die Ermittlung der Gefüge-
Eigenschaften des Bandes mittels des Gefügemodells für das zum Coil gewickelte Band erfolgt, indem die Temperatur

und/oder die Spannung zunächst nur für einen Abschnitt des gewickelten Bandes ermittelt und dem Gefügemodell zu Grunde gelegt wird und dann die Gefüge-Eigenschaften des gesamten gewickelten Bandes durch Zusammenfügung der einzelnen Abschnitte des gewickelten Bandes ermittelt werden.

[0010] Dabei ist bevorzugt vorgesehen, dass für jeden Abschnitt des gewickelten Bandes eine einzelne Bandwindung um den Haspel gewählt wird.

[0011] Die aus dem Gefügemodell ermittelten Daten werden vorzugsweise mit Sollwerten für das Band verglichen und aufgrund festgestellter Abweichungen werden die Fertigungsparameter des Walzwerks und/oder der Kühlstrecke so geändert, dass die aus dem Gefügemodell ermittelten Daten möglichst gut mit den Sollwerten übereinstimmen. Insofern werden die Ergebnisse der Simulationsrechnung gemäß dem Gefügemodell genutzt, um einen geschlossenen Regelkreis zu bilden, wobei auf die Walz- und Kühlparameter Einfluss genommen wird.

[0012] Dabei kann die auf das Band in der Kühlstrecke aufgebrachte Kühlleistung über die Länge des Bandes verändert werden. Hierbei kann insbesondere vorgesehen werden, dass die auf das Band in der Kühlstrecke aufgebrachte Kühlleistung im Bereich des Bandanfangs und im Bereich des Bandendes im Vergleich zur aufgebrachten Kühlleistung im Bereich der Bandmitte reduziert wird.

[0013] Die auf das Band in der Kühlstrecke aufgebrachte Kühlleistung kann auch über die Breite des Bandes verändert werden. Hierbei ist insbesondere vorgesehen, dass die auf das Band in der Kühlstrecke aufgebrachte Kühlleistung im Bereich der seitlichen Enden des Bandes (Bandkanten) reduziert wird.

[0014] Eine weitere Möglichkeit besteht auch darin, dass durch selektive Abschirmung der Wärmestrahlung zum Coil die Festigkeitseigenschaften des Bandes vergleichmäßigt werden. Hierbei kann insbesondere vorgesehen werden, dass mittels verschiebbarer Strahlschutzwände in einer Vorstation des Coils die Abkühlgeschwindigkeit an den Coil-Stirnseiten für eine vorgegebene Zeit reduziert wird, um über die Bandbreite vergleichmäßigte Festigkeitseigenschaften zu erhalten.

[0015] Gemäß einer weiteren Möglichkeit ist vorgesehen, dass durch selektive Kühlbeschleunigung in einer Zwischenstation des Coils die Festigkeitseigenschaften des Bandes vergleichmäßigt werden. Dies kann insbesondere dadurch realisiert werden, dass in einer Zwischenstation des Coils mittels Ventilatoren oder Luftdüsen die Abkühlung an vorgegebenen Teilflächen des Coils, insbesondere im Bundauge, für eine vorgegebene Zeit verstärkt wird, um gleichmäßigere, symmetrische oder an bestimmten Stellen höhere Festigkeiten zu erzielen.

[0016] Die dem Gefügemodell zur Verfügung gestellten Daten sind insbesondere die Temperatur und/oder der Temperaturverlauf einer einzelnen Bandwindung um den Haspel in radiale Richtung des Coils.

[0017] Ferner können die dem Gefügemodell zur Verfügung gestellten Daten auch die Spannung im Band, insbesondere in Umfangsrichtung des Haspels, der jeweiligen Bandwindung sein. Hierbei ist insbesondere vorgesehen, dass bei der Bestimmung der Spannung im Band die thermische Schrumpfung des Bandes berücksichtigt wird.

[0018] Die Gefügeeigenschaften werden also rechnerisch mit Hilfe eines Gefügemodells bestimmt. Dazu wird ein gängiges Gefügemodell, das die walz- und kühltechnischen Einflüsse bereits beinhaltet, um die gefügetechnischen Vorgänge während der Bundabkühlung ergänzt. Dazu werden die Temperaturverläufe für alle Bundpositionen berechnet. Dies geschieht bevorzugt unter Einbezug des Bandzuges, der Band- und Bundgeometrie, der thermischen Schrumpfung und der zeitlichen Entwicklung der Anpressdrücke zwischen den Windungen sowie den Umgebungsbedingungen. Die thermophysikalischen Daten des Bandmaterials können mittels eines integrierten Materialmodells bestimmt werden. Für die Temperaturentwicklung im Bund kann ein spezielles thermisch-mechanisches Modell eingesetzt werden, das den zeitlichen Verlauf der Druckspannungen und den Einfluss auf den Wärmefluss berücksichtigt.

[0019] Werden, wie erfindungsgemäß vorgeschlagen, die genauen Temperaturen bzw. Temperaturverläufe im Coil sowie die dort herrschenden Spannungen per Simulation bzw. Berechnung erfasst, lassen sich genaue Aussagen über den Gefügezustand des zum Coil gewickelten Bandes über dessen Länge und Breite machen.

[0020] Das vorgeschlagene Verfahren wird insbesondere beim Warmwalzen eines Bandes eingesetzt.

[0021] Durch das vorgeschlagene Verfahren hat der Hersteller des Bandes mehr Sicherheit bezüglich der Produktqualität und kann qualitätskritische Bänder besser identifizieren. Die Auswirkung von aktuellen Störeinflüssen kann besser abgeschätzt werden. Der Produktionsprozess kann besser auf homogene Bänderigenschaften angepasst werden. Diese gewährleisten gleichbleibende Produkteigenschaften bei Weiterverarbeitung und Gebrauch unabhängig von der Bundposition. Durch die Verringerung von Sicherheitsaufschlägen auf die garantierten Festigkeitswerte ist es ggf. möglich, die Legierungszusätze knapper zu bemessen und Geld einzusparen. Ein bereits vorhandenes Material- und Gefügemodell wird durch die Ergänzung aufgewertet und seine Detailgenauigkeit verbessert.

[0022] In der Zeichnung ist ein Ausführungsbeispiel der Erfindung dargestellt. Es zeigen:

Fig. 1 schematisch eine Fertigungsanlage für ein Band, bestehend aus Walzwerk, Kühlstrecke und Haspel (in der Seitenansicht und in der Draufsicht),

Fig. 2 schematisch ein Ersatzmodell für den Wärmeübergang zwischen zwei radial benachbarten Bandwindungen eines zum Coil gewickelten Bandes,

- Fig. 3 schematisch ein zu einem Coil gewickeltes Band, wobei für einen Umfangsabschnitt einer Bandwindung die Spannungsverhältnisse angegeben sind (s. hierzu die unten angegebene Literaturstelle [5]),
- Fig. 4 die radiale Spannung in einem Coil vor und nach der Kühlung (s. hierzu die unten angegebene Literaturstelle [5]),
- Fig. 5 das Ergebnis einer Simulationsrechnung, aus der sich die Abkühl-Kurven (Temperatur über der Zeit) für unterschiedliche Positionen des Bundes des gewickelten Bandes ergeben,
- Fig. 6 ein Beispiel für die Zugfestigkeit (Tensile strength) sowie die Streckgrenze (Yield stress) eines Band über dessen Länge für einen warmgewalzten Stahl (s. hierzu die unten angegebene Literaturstelle [2]),
- Fig. 7 Beispiele für die Streckgrenze (Yield stress) eines Band über dessen Breite (s. hierzu die unten angegebene Literaturstelle [2]),
- Fig. 8 ein Block-Schaltbild mit der Verknüpfung der Bund-Rechenmodelle mit dem Gefügemodell und den möglichen Stellsystemen und
- Fig. 9 ein Schaltbild mit der Verknüpfung der thermischen und mechanischen Modellkomponenten in den einzelnen Zeitschritten.

[0023] In Figur 1 ist schematisch - einmal in der Seitenansicht und einmal in der Draufsicht - eine Fertigungsanlage für ein Band 1 dargestellt, wobei ein Walzwerk 2 und eine Kühlstrecke 3 angedeutet sind. In Förderrichtung F hinter der Kühlstrecke 3 folgt ein Haspel 4, auf dem das insoweit fertige Band zum Coil aufgewickelt wird.

[0024] Dabei kann zur Beeinflussung der Gefügeeigenschaften des Bandes auf dieses Einfluss genommen werden. Angedeutet sind in Figur 1 Breitenmaskierungen 6, mit denen die Bandkanten beim Besprühen mit Kühlwasser abgedeckt werden können, um hier den Kühleffekt zu reduzieren. Weiterhin dargestellt sind in Figur 1 auch Strahlschutzwände 7 (in Richtung des Doppelpfeils verschiebbar aus einer rechten, ausgefahrenen Position in eine linke, eingefahrene Position), die insbesondere in einem Coillager 8 im Bereich der beiden Stirnseiten des Coils platziert werden können, um die Abkühlung des Bandes 1 zu beeinflussen.

[0025] Eine weitere Möglichkeit zur Steuerung der Coilabkühlung (Bundabkühlung) besteht darin, in der Vorstation 8 des Coillagers Ventilatoren anzubringen, um damit bei Bedarf Ungleichmäßigkeiten bei der Abkühlung gezielt zu reduzieren, indem z. B. die Abkühlung in der Mitte der Umfangsseite oder im Bundauge für eine bestimmte Zeitdauer intensiviert wird oder Asymmetrien über die Bundbreite ausgeglichen werden.

[0026] Wesentlich ist, dass die Ermittlung der Gefüge-Eigenschaften des Bandes 1 mittels des Gefügemodells für das zum Coil gewickelte Band erfolgt. Hierbei wird die Temperatur T und die Spannung σ zunächst nur für einen Abschnitt 5 des gewickelten Bandes, nämlich für eine einzelne Windung des Bandes um den Haspel 4, ermittelt und diese Daten dem Gefügemodell zu Grunde gelegt.

[0027] Die Gefügeeigenschaften des gesamten gewickelten Bandes 1 werden berechnet, indem alle einzelnen Bandwindungen 5 des gewickelten Bandes 1 zusammengefügt werden.

[0028] Ein an sich bekanntes Gefügemodell ist in der Lage, unter Vorgabe der Temperaturen und der Spannungszustände des Bandmaterials die Gestaltung des Gefüges über der Zeit zu ermitteln. Folglich ist eine genaue Vorgabe der Temperaturen und Spannungszustände erforderlich aber auch ausreichend, um diesbezüglich genaue Vorhersagen zu machen, d. h. zu berechnen, wie sich über die Länge und die Breite des Bandes über der Zeit der Gefügezustand ergibt.

[0029] Nachfolgend sind hierfür Angaben gemacht, die beispielhaft erläutern, wie sowohl die Temperaturen als auch die Spannungen einer einzelnen Bandwindung ermittelt bzw. berechnet werden; durch Zusammenfügen der einzelnen Bandwindungen kann so leicht der Temperatur- und Spannungszustand des gesamten Bandes und hieraus wiederum mittels des Gefügemodells das sich einstellende Gefüge bestimmt werden.

[0030] Dazu wird die Bandlänge in Bundwindungen unterteilt und für jede Bundwindung eine mittlere Windungstemperatur ermittelt. Dann werden in Zeitschritten die Wärmetransporte von Windung zu Windung, innerhalb der Windungen in Dicken- und Breitenrichtung, über den Umfang der letzten Windung nach außen, über den Umfang der ersten Windung an den Haspeldorn bzw. durchs leere Bundauge nach außen, sowie über die Stirnflächen nach außen berechnet. Dabei werden allgemein gebräuchliche Formeln für konvektive und emmissive Wärmetransporte verwendet.

[0031] Zu betrachten ist insbesondere der Wärmeübergang von Windung zu Windung. Hierfür werden Modelle für kombinierte Wärmeübergangsmechanismen eingesetzt:

In Figur 2 ist ein Ersatzmodell für den Wärmeübergang zwischen zwei radial benachbarte Bandwindungen eines zum Coil gewickelten Bandes dargestellt. Die Wärmeleitfähigkeit λ in radialer Richtung ergibt sich durch eine Kombination der Wärmeleitung durch Bandmaterial, Oxidschichten und durch den Übergangsspalt, in dem ein paralleler Wärmetransport durch Luftkammern, über Kontaktbrücken der Rauigkeitsspitzen und über die Wärmestrahlung durch die

Hohlräume hindurch stattfindet.

[0032] Die Ersatzwärmeleitzahl λ_{ers} von Bandmitte zu Bandmitte berechnet sich nach den Formeln:

$$\lambda_{ers} = \frac{(h_s + 2h_z + h_{sp})}{\frac{h_s}{\lambda_s} + \frac{2h_z}{\lambda_z} + \frac{h_{sp}}{\lambda_{sp}}}$$

mit

$$\lambda_{sp} = f_A \lambda_K + (1-f_A) \lambda_L + 4 \cdot (1-f_A) \cdot 0.64 \cdot 5.77 \cdot 10^{-8} \cdot h_{sp} T_i^3$$

und

$$\begin{aligned} f_A &= f_A(\sigma_r) \\ h_{sp} &= h_{sp}(\sigma_r) \\ \lambda_K &= \frac{h_{sp}}{R_K} \quad R_K = R_K(\sigma_r) \end{aligned}$$

wobei ist:

λ_{ers} : Ersatzwärmeleitzahl für radiale Wärmeleitung von Windung zu Windung
 λ_s : Wärmeleitzahl für Bandmaterial (z.B. Stahl)
 λ_z : Wärmeleitzahl für Oxidschicht (Zunder)
 λ_{sp} : Wärmeleitzahl für Wärmeleitung durch den Spalt zwischen den Windungen
 λ_L : Wärmeleitzahl der Luft im Spalt
 λ_K : Wärmeleitzahl der Rauigkeitsspitzen-Kontaktflächen
 R_K : Wärmewiderstand der Rauigkeitsspitzen-Kontaktflächen
 h_s : Banddicke
 h_z : Oxidschichtdicke
 h_{sp} : Äquivalente Spaltdicke zwischen den Windungen
 f_A : Flächenfaktor = (Summe Rauigkeitsspitzen-Kontaktflächen)/Bezugsfläche
 T_i : Windungstemperatur in Kelvin
 σ_r : Radialer Anpressdruck zwischen den Windungen

[0033] Die Ersatzwärmeleitzahl ist individuell für jede Windung und Breitenposition zu bestimmen. Die Parameter f_A , h_{sp} und λ_K werden in Abhängigkeit der lokalen Flächenpressung σ_r zwischen den Windungen bestimmt und werden prozessabhängig berechnet. Geeignete Berechnungsformeln dazu finden sich in der Literatur gemäß der Dokumente [1] bis [4]:

Dokument [1]: Park, Hong, Baik, Oh: Finite Element Analysis of Hot Rolled Coil Cooling, ISIJ Vol. 38 (1998), No. 11, pp. 1262-1269;

Dokument [2]: Pullen and J. B. P. Williamson: Proc. R. Soc. (London), 327A (1973), 150;

Dokument [3]: S. C. Baik: Technical Report, Pohang Iron & Steel Co. Ltd., 1996 P 921 (1996);

Dokument [4]: B. B. Mikic: Int. J. Heat Mass Transfer, 17 (1974) 205.

[0034] Generell gilt, dass der Wärmewiderstand abnimmt, wenn die Flächenpressung steigt.

[0035] Die Berechnung der Flächenpressung erfolgt mittels eines mechanischen Modells. Die Berechnungsweise ist

in der Literatur detailliert beschrieben, z. B. in Dokument [5].

[0036] Dokument [5]: EUR 25119EN 2012: Flatness set-up in hot strip mills tailored to the demands of next step processes and final customers (GOLOBAL-SHAPECONTROL)

[0037] Die Bandspannungen (Figur 3) werden in mehreren Berechnungsschritten bestimmt. Dazu wird zunächst das sukzessive Aufwickeln der einzelnen Windungen betrachtet. Mit jeder zusätzlichen Windung verändert sich der Spannungszustand (σ) in den darunterliegenden Windungen.

[0038] Für einige Windungen ist in der linken Teilfigur in Figur 3 die radiale (r), axiale (a) und tangential (t) Richtung angegeben und einige Bandwindungen 5 auf dem Haspeldorn 4.

[0039] Für die Spannungen ergeben sich folgende Beziehungen:

$$\sigma_t(r_i, z) = \overline{\sigma_t}(r_i, z) + \sigma'(r_i, z)$$

$$\overline{\sigma_t}(r_i, z)$$

ist dabei die lokale Bandzugspannung am Haspeleintritt.

$$\sigma'_t(r_i, z) = - \left(1 + \frac{\rho_0^2}{r_i^2} \right) \int_{r_i}^{r_a} \overline{\sigma_t}(r, z) \frac{r}{r^2 - \rho_0^2} dr$$

ρ_0 ist der Innenradius des Haspeldorns, r_i ist der Außenradius des Haspeldorns und r_a der momentane Außenradius des Bundes. Die radialen Windungsspannungen berechnen sich nach der sog. Kesselformel direkt aus den Tangentialspannungen:

$$\sigma_t(r_i, z) = - \left(1 - \frac{\rho_0^2}{r_i^2} \right) \int_{r_i}^{r_a} \overline{\sigma_t}(r, z) \frac{r}{r^2 - \rho_0^2} dr$$

[0040] Sobald der Dorn entspreizt und aus dem Bund gezogen wird, stellt sich ein neuer Spannungszustand im Bund ein, sodass die Radialspannung in der Innenwindung zu Null wird.

$$\sigma_{t,relax}(r, z) = \sigma_t(r, z) - \tilde{\sigma}_t(r, z)$$

$$\tilde{\sigma}_t(r, z) = -\sigma_r(R_0, z) \frac{R_0}{R_A^2 - R_0^2} \left(1 + \frac{R_A^2}{r^2} \right)$$

$$\sigma_{r,relax}(r, z) = \sigma_r(r, z) - \tilde{\sigma}_r(r, z)$$

$$\tilde{\sigma}_r(r, z) = -\sigma_r(R_0, z) \frac{R_0}{R_A^2 - R_0^2} \left(1 - \frac{R_A^2}{r^2} \right)$$

R_0 ist der Radius des Bundauges und entspricht ungefähr ρ_0 . Während der Abkühlung des Bundes kommt es zur Schrumpfung des Materials und einer Neuverteilung der Bandspannungen:

$$\varepsilon_{t,Lap} = \frac{\mu}{R_{Lap-1} + h/2} + \varepsilon_{t,0,Lap} - \alpha \Delta T$$

$$\sigma_{t,Lap} = E_{Modul}(\varepsilon_{t,Lap})$$

$$\sigma_{r,Lap} = \sigma_{t,Lap} \frac{h}{R_{Lap}} + \sigma_{r,Lap+1}$$

$\varepsilon_{t,0,Lap}$ ist die Dehnung der Einzelwindung zu Beginn der Bundabkühlung, ΔT ist der Gesamt-Temperaturabfall und α ist der Wärmeausdehnungskoeffizient, μ ist der radiale Verschiebungsbetrag aller Bundwindungen infolge des Schrumpfungsvorganges. Er wird iterativ so berechnet, dass

$$\sigma_{r,1} = 0$$

$$\sigma_{r,N} = 0$$

[0041] In Figur 4 ist hierzu ein Beispiel für die Veränderung der radialen Anpressspannung (in MPa) über die Windungsanzahl bei einer Abkühlzeit von 20 Minuten angegeben (before cooling: vor der Kühlung; cooled: nach der Kühlung).

[0042] In Figur 5 ist das Ergebnis einer Simulationsrechnung gezeigt, aus der sich die Abkühl-Kurven (Temperatur über der Zeit) für unterschiedliche Positionen des Bundes des gewickelten Bandes ergeben.

[0043] Mit diesen Abkühlverläufen können mittels spezieller Materialmodelle die Gefügeentwicklung und die Festigkeitswerte bei Raumtemperatur berechnet werden.

[0044] Beispiele für Ergebnisse aus dem Materialmodell sind Verläufe von Streckgrenze (Yield Stress) und Zugfestigkeit (Tensile Stress) über Länge und Breite wie sie sonst nur durch aufwändige Messungen gewonnen werden können. In den Figuren 6 und 7 sind solche Messungen aus der Literatur dargestellt (s. Dokument [6]: Patel, Wilshire, Journal of Materials Processing Technology, V. 120 (2002) 316-321); sie zeigen die durchaus deutlichen Varianzen dieser wichtigen Qualitätsmerkmale in der Praxis auf.

[0045] Die Berechnung der Gefügeeigenschaften kann zunächst direkt zur Bewertung des aktuell produzierten Bandes eingesetzt werden. Daneben können die in einer Precalculation erzeugten Informationen auch genutzt werden, um prozessabhängig Einstellungen vorzunehmen, die die Homogenität der mechanischen Eigenschaften verbessern.

[0046] Wie erläutert, ist dabei eine Möglichkeit, die Dauer der Wasserkühlung der Bandlängenposition anzupassen (Bandendenmaskierung). Dabei wird die Anzahl der eingeschalteten Kühlbalken in Form zeitlicher Rampen so angepasst, dass der vordere und der hintere Bandendenbereich weniger stark gekühlt werden. Durch solch eine Vorkompensation lassen sich in Summe weniger Festigkeitsunterschiede entlang der Bandlänge erreichen.

[0047] Falls eine Breitenmaskierung zur Verfügung steht, die im eingefahrenem Zustand die Bandkanten gegen die Wasserstrahlen von oben abschirmt, kann sie abhängig von den Berechnungsergebnissen so eingestellt werden, dass das Profil der Bandeigenschaften über die Bandbreite nach der Bundabkühlung ausgeglichener ist, solange dabei eine ausreichende Bandplanheit gewährleistet ist.

[0048] Bei der Einstellung von Bandzug und Banddickenprofil könnte das Rechenergebnis der Precalculation als weiteres Kriterium herangezogen werden, um gleichmäßigere Bandeigenschaften zu erhalten. Zudem könnte die Kühlung des Haspeldorns prozessabhängig angepasst werden, indem z. B. Kühldauer und Kühlintensität so eingestellt werden, dass einerseits die Festigkeitsabweichungen im Bandkopfbereich (Innenwindungen) abgebaut werden, andererseits die thermische Belastung der Dornelemente im erträglichen Maß bleiben.

[0049] Auf der anderen Seite könnten die Bedingungen für die Bundabkühlung so optimiert werden, dass homogenere Gefügeeigenschaften resultieren, zum Beispiel durch eine temporäre Regulierung der Wärmestrahlung an den Bund-Stirnflächen mittels verschiebbarer Strahl-Schutzwände (s. Bezugszeichen 7 in Figur 1). Dazu wird der Bund unmittelbar nach Beendigung des Walz- und Wickelvorganges zunächst in eine Zwischenstation verbracht und auf beide Stirnseiten je eine isolierte Strahlenschutzwand vorgefahren (siehe Figur 1). Dadurch wird die Wärmeabfuhr an den Bandkanten drastisch gedrosselt und die Unterschiede der Materialeigenschaften über die Breite reduziert.

[0050] Sobald eine Temperatur erreicht ist, unterhalb der keine relevanten Veränderungen der Gefügeeigenschaften mehr zu erwarten ist, werden die Seitenwände wieder zurückgefahren und der Bund kann ins Lager abtransportiert

werden, um den Platz freizugeben und die weitere Abkühlung des Bundes zu beschleunigen. Das erweiterte Gefüge- und Temperaturmodell kann zur Bestimmung der optimalen Zwischen-Lagerzeit eingesetzt werden.

[0051] Alternativ können in der Zwischenstation durch Einsatz von Kühlbeschleunigern wie z. B. Ventilatoren oder Luftdüsen bestimmte Stellen des Bundes temporär stärker gekühlt werden, um am Ende gleichmäßigere Gefügeeigenschaften zu erzielen oder aber die minimal auftretende Festigkeit zu erhöhen. Dies ist z. B. durch gezielte Kühlung am mittleren Umfang des Bundes möglich. Insbesondere durch verstärkte Kühlung im Bundauge kann die Zeit, bis alle Bundwindungen eine bestimmte kritische Temperatur unterschritten haben, verkürzt und somit das Festigkeitsminimum im sogenannten "hot spot" (das ist die heißeste Zone im Bund) zu einem höheren Wert verschoben werden. Bei systematisch auftretenden Asymmetrien, z. B. bei horizontal gelagerten Bunden an den Stirnseiten oder bei vertikal gelagerten Bunden am oberen und unteren Umfang, können durch partielle Luftkühlung die finalen Gefügeeigenschaften symmetrischer und gleichmäßiger eingestellt werden. Das erweiterte Gefügemodell kann das Bedienpersonal dabei unterstützen, die Kühlmaßnahmen auf optimale Weise einzusetzen.

[0052] Das Block-Schaltbild in Figur 8 zeigt die Verknüpfung der Bund-Rechenmodelle mit dem Gefügemodell und den möglichen Stellsystemen an der Kühlstrecke und in der Zwischenlager-Station des gewickelten Bundes:

Die Berechnungsergebnisse der Bund-Rechenmodelle beeinflussen das Ergebnis des Gefügemodells für die verschiedenen Bandpositionen. Ein angeschlossenes Auswerte- und Steuermodul für gleichmäßige Bandeigenschaften über Breite und Länge kann Stellsignale an die Steuereinrichtungen der Kühlstrecke und den mechanischen Einrichtungen in der Bund-Zwischenstation weitergeben, um bessere Bandeigenschaften zu erzielen. Die neuen Einstellungen werden wiederum von den Rechenmodellen berücksichtigt. Das Ergebnis des Auswerte- und Steuermoduls kann auch zur Qualitäts-Klassifizierung des produzierten Bandes genutzt werden.

[0053] Das Schaltbild in Figur 9 verdeutlicht die Verknüpfung der thermischen und mechanischen Modellkomponenten in den einzelnen Zeitschritten, beginnend mit dem Aufwickeln, gefolgt vom Entspreizen und Herausziehen des Haspeldorns und der thermischen Schrumpfung der Windungen während des nachfolgenden langsamen Abkühlvorgangs im Bundlager.

Bezugszeichenliste:

[0054]

- | | |
|----------|---|
| 1 | Band |
| 2 | Walzwerk |
| 3 | Kühlstrecke |
| 4 | Haspel |
| 5 | Abschnitt des gewickelten Bandes / einzelne Bandwindung |
| 6 | Breitenmaskierung |
| 7 | Strahlschutzwand |
| 8 | Coillager |
| F | Förderrichtung |
| T | Temperatur |
| σ | Spannung |

Patentansprüche

- Verfahren zur Herstellung eines metallischen Bandes (1), bei dem das Band (1) in Förderrichtung (F) zunächst in einem Walzwerk (2) gewalzt und anschließend in einer Kühlstrecke (3) gekühlt wird, woraufhin das Band (1) auf einem Haspel (4) zu einem Coil gewickelt wird, wobei Gefüge-Eigenschaften des Bandes (1) durch ein rechnerisches Gefügemodell ermittelt werden,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Ermittlung der Gefüge-Eigenschaften des Bandes (1) mittels des Gefügemodells für das zum Coil gewickelten Band erfolgt, indem die Temperatur (T) und/oder die Spannung (σ) zunächst nur für einen Abschnitt (5) des gewickelten Bandes (1) ermittelt und dem Gefügemodell zu Grunde gelegt wird und dann die Gefüge-Eigenschaften des gesamten gewickelten Bandes (1) durch Zusammenfügung der einzelnen Abschnitte (5) des gewickelten Bandes (1) ermittelt werden.
- Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** für jeden Abschnitt (5) des gewickelten Bandes (1)

eine einzelne Bandwindung um den Haspel (4) gewählt wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** die aus dem Gefügemodell ermittelten Daten mit Sollwerten für das Band (1) verglichen werden und aufgrund festgestellter Abweichungen Fertigungsparameter des Walzwerks (2) und/oder der Kühlstrecke (3) so geändert werden, dass die aus dem Gefügemodell ermittelten Daten möglichst gut mit den Sollwerten übereinstimmen.
4. Verfahren nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** die auf das Band (1) in der Kühlstrecke (3) aufgebraachte Kühlleistung über die Länge des Bandes (1) verändert wird.
5. Verfahren nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** die auf das Band (1) in der Kühlstrecke (3) aufgebraachte Kühlleistung im Bereich des Bandanfangs und im Bereich des Bandendes im Vergleich zur aufgebraachten Kühlleistung im Bereich der Bandmitte reduziert wird.
6. Verfahren nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** die auf das Band in der Kühlstrecke (3) aufgebraachte Kühlleistung über die Breite des Bandes (1) verändert wird.
7. Verfahren nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** die auf das Band in der Kühlstrecke (3) aufgebraachte Kühlleistung im Bereich der seitlichen Enden des Bandes (1) reduziert wird.
8. Verfahren nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** durch selektive Abschirmung der Wärmestrahlung zum Coil die Festigkeitseigenschaften des Bandes (1) vergleichmäßigt werden.
9. Verfahren nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** mittels verschiebbarer Strahlschutzwände in einer Vorstation des Coils die Abkühlgeschwindigkeit an den Coil-Stirnseiten für eine vorgegebene Zeit reduziert wird, um über die Bandbreite vergleichmäßigte Festigkeitseigenschaften zu erhalten.
10. Verfahren nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** durch selektive Kühlbeschleunigung in einer Zwischenstation des Coils die Festigkeitseigenschaften des Bandes (1) vergleichmäßigt werden.
11. Verfahren nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** in einer Zwischenstation des Coils mittels Ventilatoren oder Luftdüsen die Abkühlung an vorgegebenen Teilflächen des Coils, insbesondere im Bundauge, für eine vorgegebene Zeit verstärkt wird, um gleichmäßigere, symmetrische oder an bestimmten Stellen höhere Festigkeiten zu erzielen.
12. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 11, **dadurch gekennzeichnet, dass** die dem Gefügemodell zur Verfügung gestellten Daten die Temperatur (T) und/oder den Temperaturverlauf einer einzelnen Bandwindung (5) um den Haspel (4) in radiale Richtung des Coils umfasst.
13. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 12, **dadurch gekennzeichnet, dass** die dem Gefügemodell zur Verfügung gestellten Daten die Spannung (σ) im Band (1), insbesondere in Umfangsrichtung des Haspels (4), der jeweiligen Bandwindung (5) umfasst.
14. Verfahren nach Anspruch 13, **dadurch gekennzeichnet, dass** bei der Bestimmung der Spannung (σ) im Band (1) die thermische Schrumpfung des Bandes (1) berücksichtigt wird.

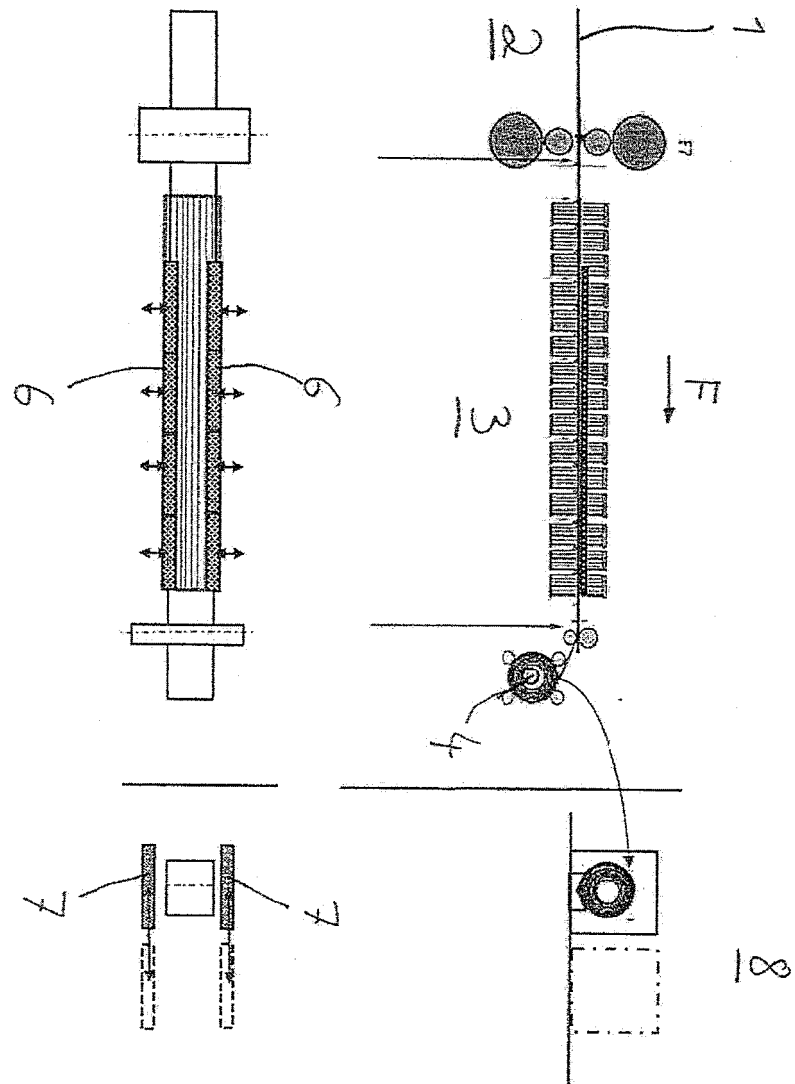


Fig. 1

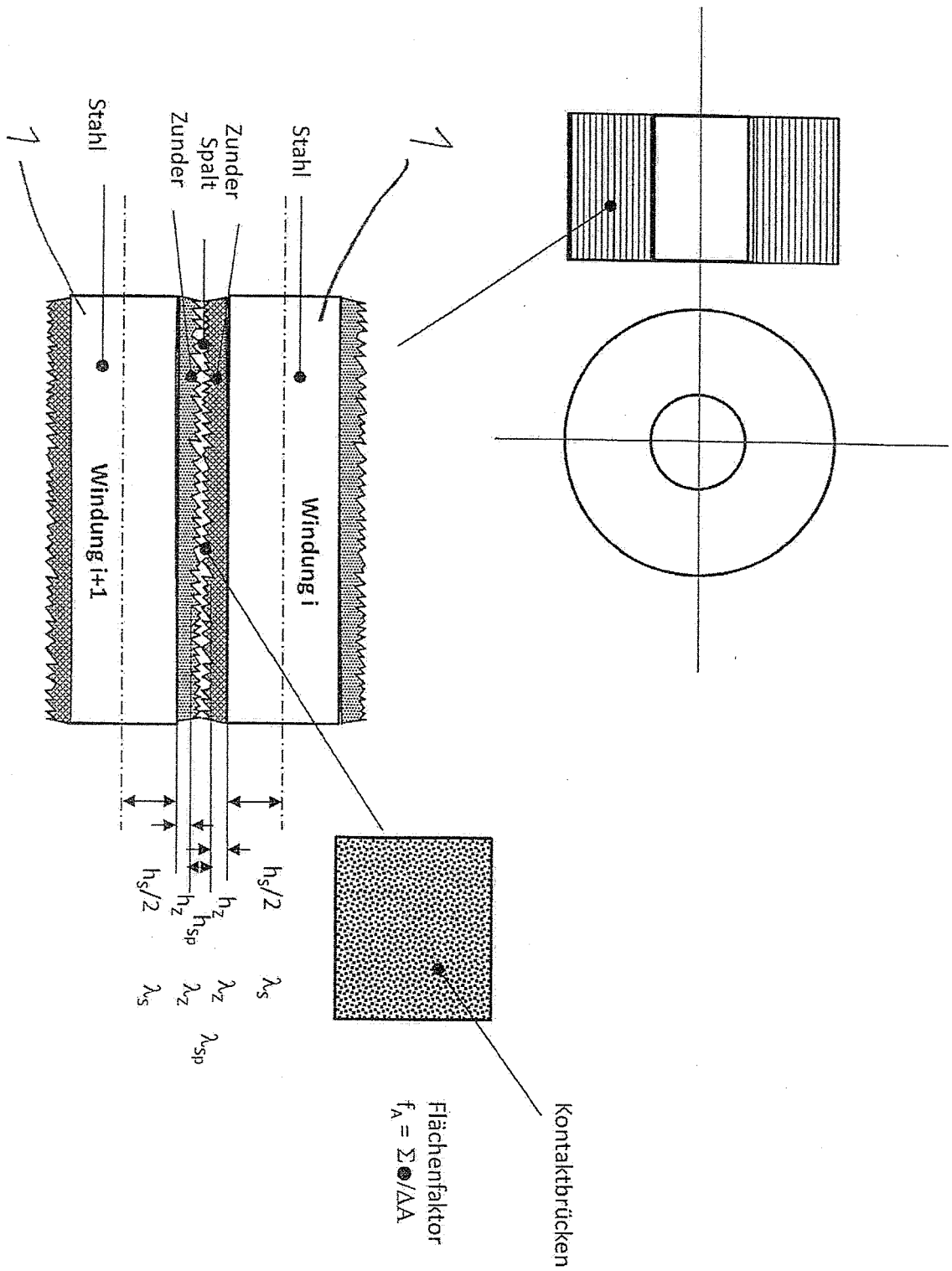
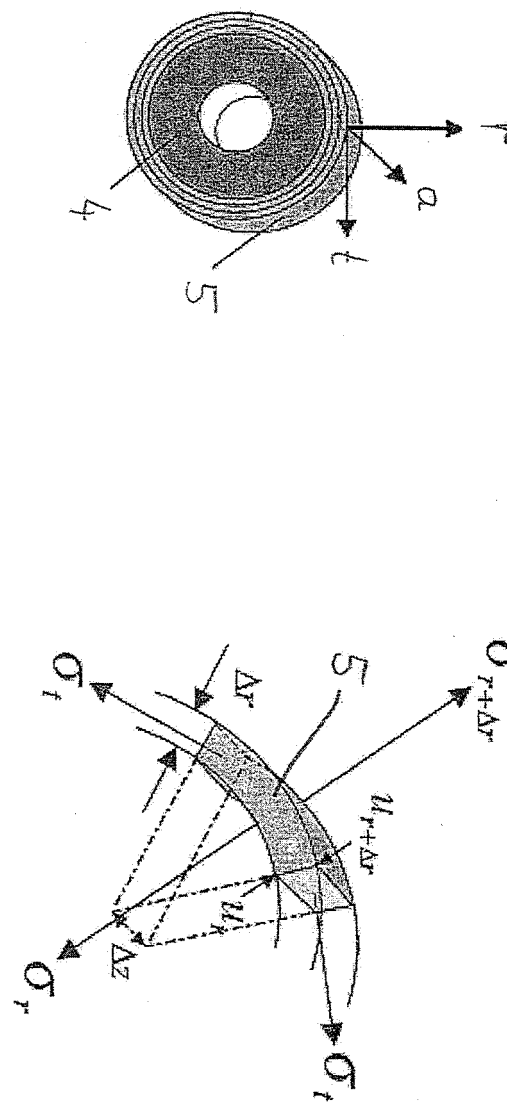


Fig. 3



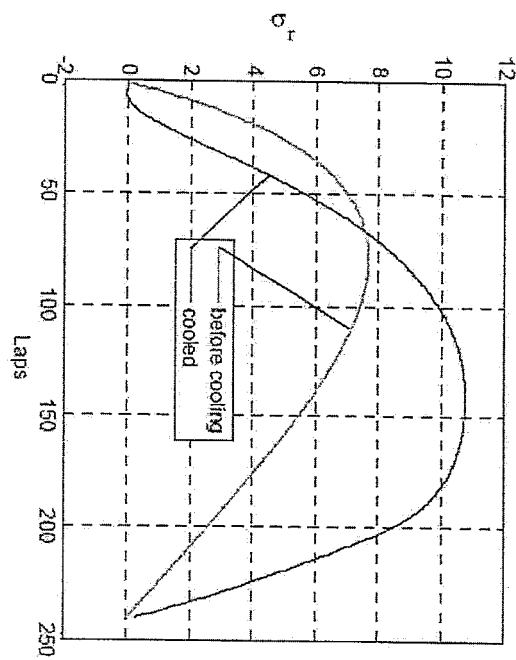


Fig. 4

Fig. 5

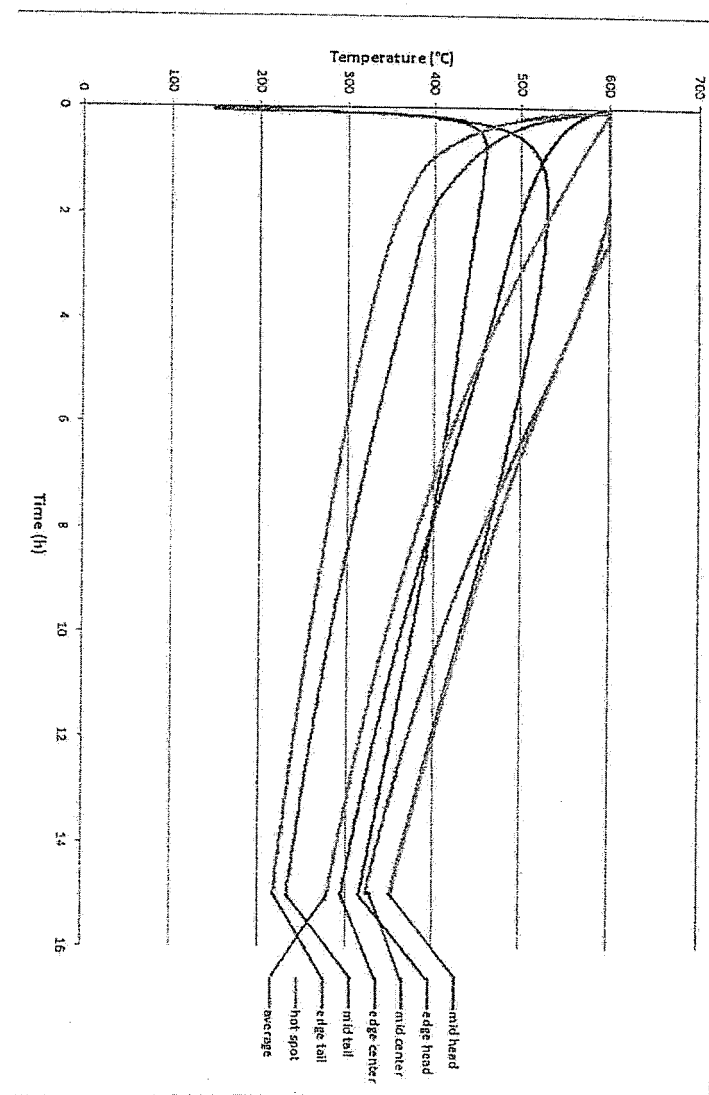


Fig. 6

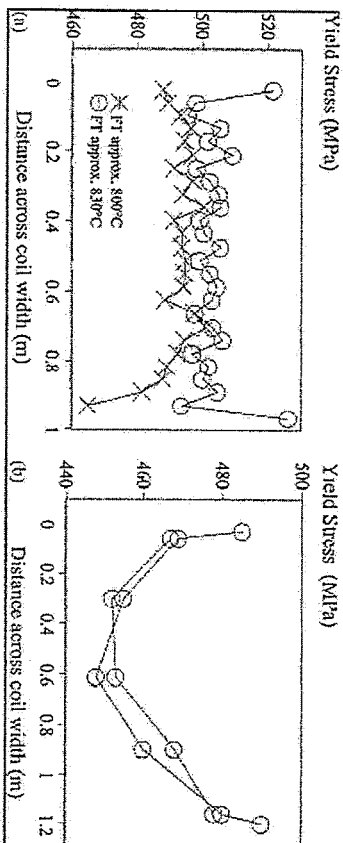
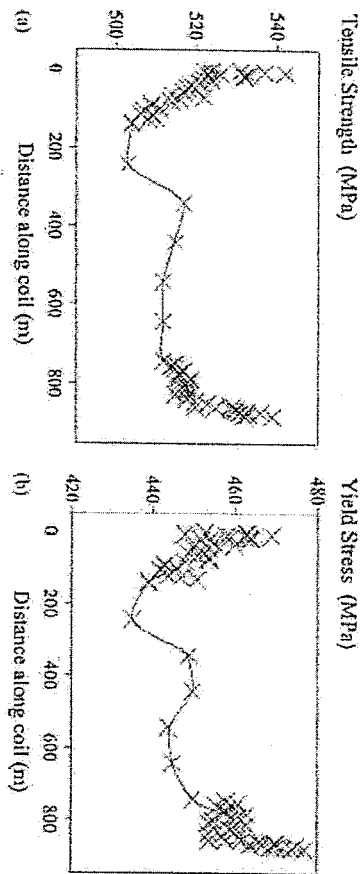


Fig. 7

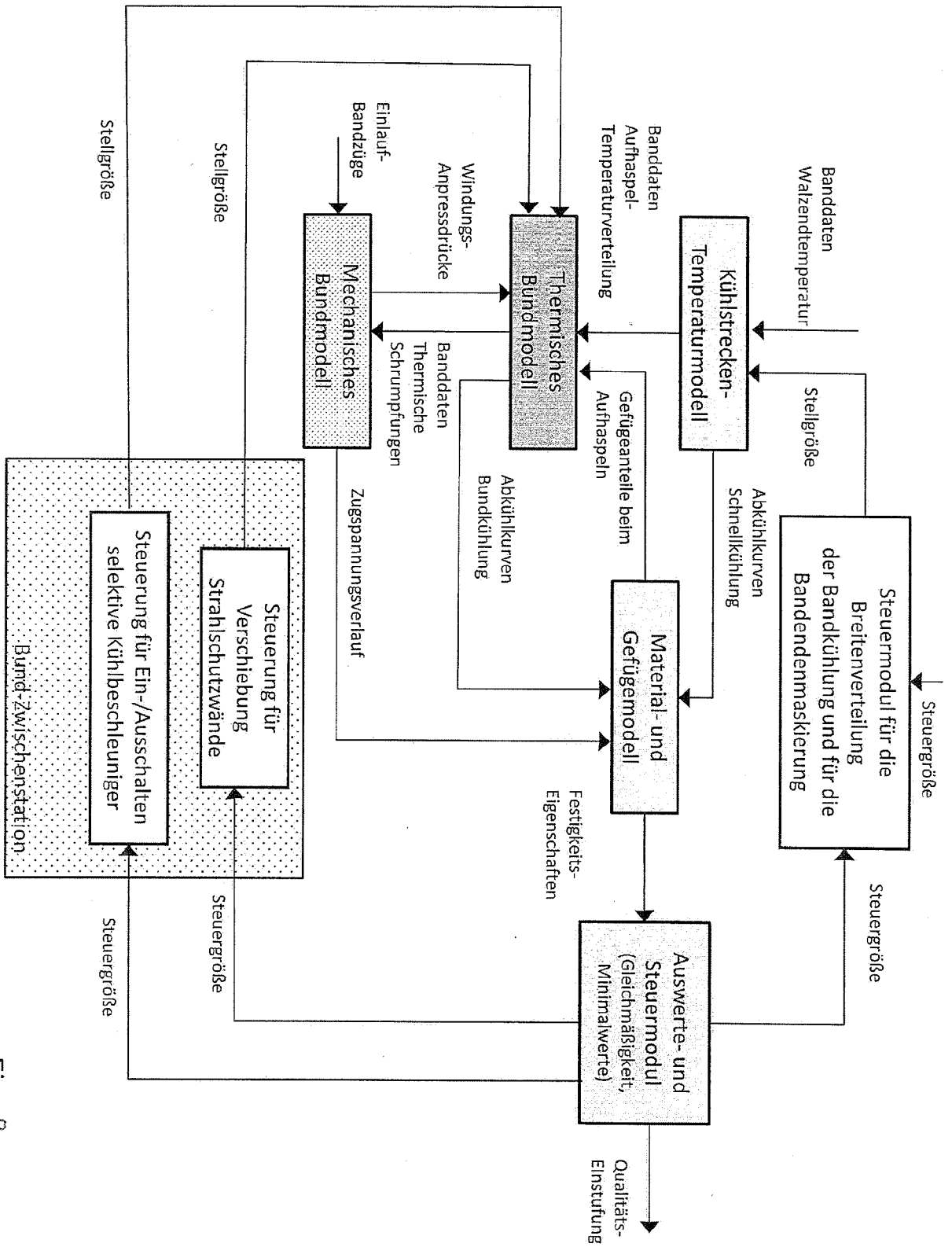
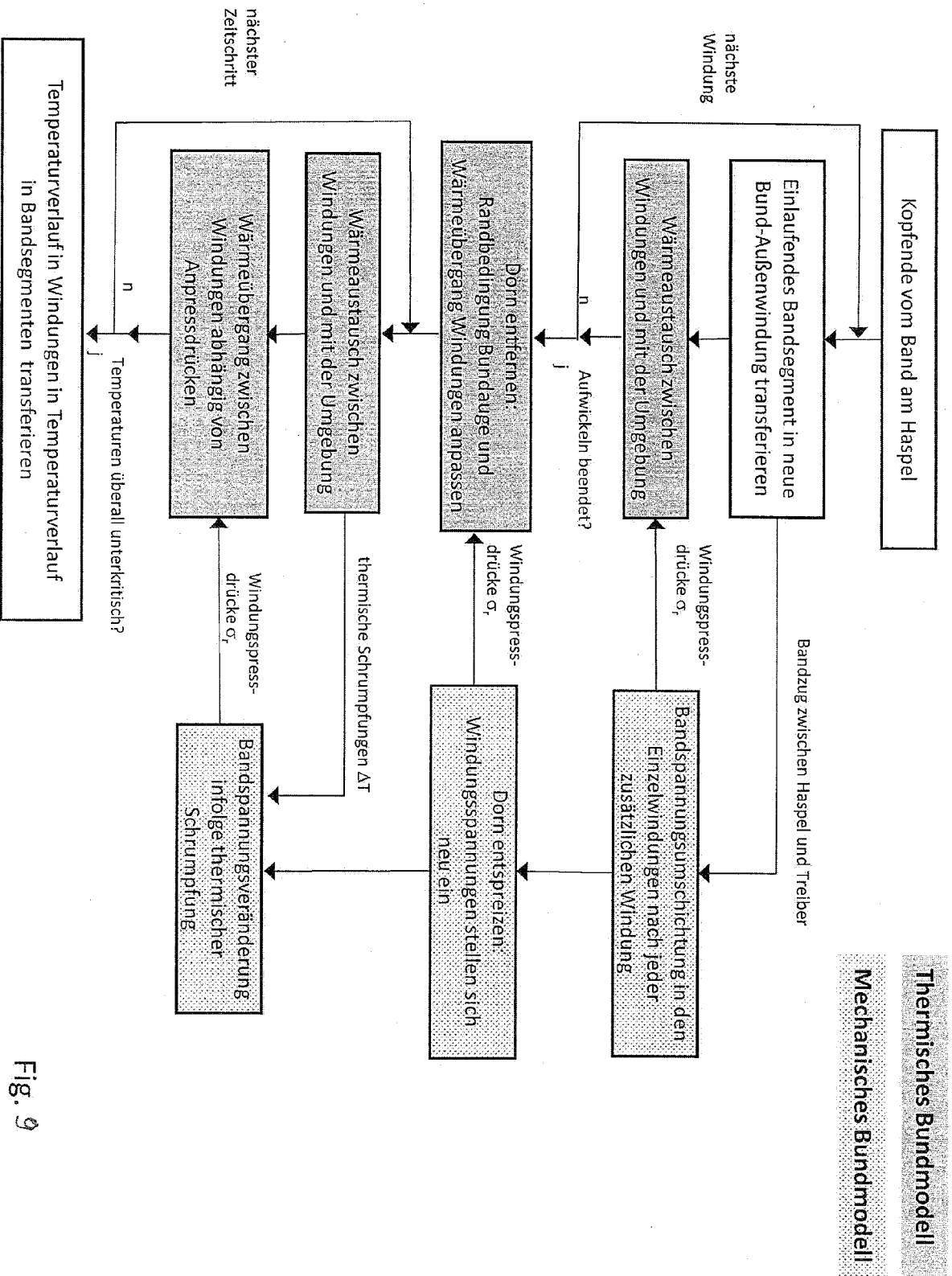


Fig. 8



File 9



EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

 Nummer der Anmeldung
EP 19 20 4136

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
X	WO 01/47648 A2 (SIEMENS AG [DE]; WEINZIERL KLAUS [DE] ET AL.) 5. Juli 2001 (2001-07-05) * Seite 5, Zeile 26 - Seite 7, Zeile 26; Abbildungen 1,2 *	1,3-5	INV. C21D8/02 B21B37/76 C21D11/00
A	----- DE 10 2007 005378 A1 (SIEMENS AG [DE]) 7. August 2008 (2008-08-07) * Absätze [0047], [0054] - [0060]; Abbildungen 1,2 *	2,6-14	
A	----- US 6 225 609 B1 (IMANARI HIROYUKI [JP] ET AL.) 1. Mai 2001 (2001-05-01) * Ansprüche 1-11 *	1,2,13	
A	----- WO 2004/076085 A2 (SIEMENS AG [DE]; REINSCHKE JOHANNES [DE]; WEINZIERL KLAUS [DE]) 10. September 2004 (2004-09-10) * Seite 7, Zeile 11 - Seite 8, Zeile 35 *	1,3	
A	-----	1	
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)
			C21D B21B
Recherchenort		Abschlußdatum der Recherche	Prüfer
München		30. März 2020	Lilimpakis, Emmanuel
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE			
X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : mündliche Offenbarung P : Zwischenliteratur T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument			

EPO FORM 1503 03.92 (P04C03)

**ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT
 ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR.**

EP 19 20 4136

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

30-03-2020

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
WO 0147648 A2	05-07-2001	AT 261498 T CN 1425076 A DE 19963186 A1 EP 1244816 A2 ES 2217028 T3 PT 1244816 E US 2003089431 A1 WO 0147648 A2	15-03-2004 18-06-2003 12-07-2001 02-10-2002 01-11-2004 31-08-2004 15-05-2003 05-07-2001
DE 102007005378 A1	07-08-2008	AT 485899 T BR PI0807342 A2 CN 101600521 A DE 102007005378 A1 EP 2125260 A1 PL 2125260 T3 RU 2009132970 A US 2009314873 A1 WO 2008092896 A1	15-11-2010 20-05-2014 09-12-2009 07-08-2008 02-12-2009 29-04-2011 10-03-2011 24-12-2009 07-08-2008
US 6225609 B1	01-05-2001	CA 2291457 A1 JP 2000167615 A US 6225609 B1	03-06-2000 20-06-2000 01-05-2001
WO 2004076085 A2	10-09-2004	AT 348671 T EP 1596999 A2 JP 2006518669 A US 2006225474 A1 WO 2004076085 A2	15-01-2007 23-11-2005 17-08-2006 12-10-2006 10-09-2004

EPO FORM P0461

Für nähere Einzelheiten zu diesem Anhang : siehe Amtsblatt des Europäischen Patentamts, Nr.12/82

IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente

- EP 1608472 B1 [0002]
- CN 104745784 A [0002]
- CN 104694720 A [0002]
- CN 106345823 A [0002]
- JP 2006224177 A [0002]

In der Beschreibung aufgeführte Nicht-Patentliteratur

- **PARK ; HONG ; BAIK.** Oh: Finite Element Analysis of Hot Rolled Coil Cooling. *ISIJ*, 1998, vol. 38 (11), 1262-1269 [0033]
- **PULLEN ; J. B. P. WILLIAMSON.** *Proc. R. Soc.*, 1973, vol. 327A, 150 [0033]
- **S. C. BAIK.** Technical Report. Pohang Iron & Steel Co. Ltd, 1996, 921 [0033]
- **B. B. MIKIC.** *Int. J. Heat Mass Transfer*, 1974, vol. 17, 205 [0033]
- **PATEL ; WILSHIRE.** *Journal of Materials Processing Technology*, 2002, vol. 120, 316-321 [0044]