

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
12. September 2002 (12.09.2002)

PCT

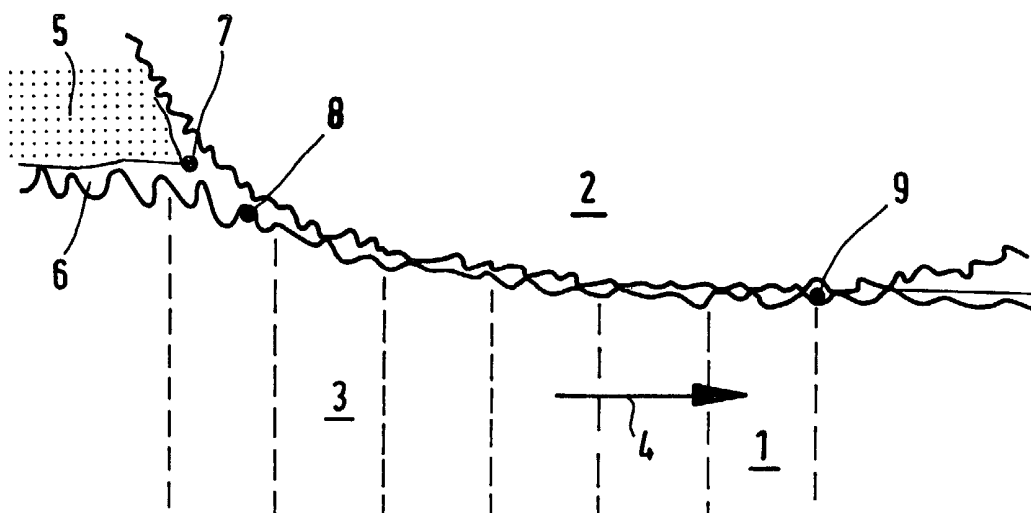
(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 02/070160 A2

- (51) Internationale Patentklassifikation⁷: **B21D** [DE/DE]; Eduard-Schloemann-Strasse 4, 40237 Düsseldorf (DE).
- (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP02/02118
- (22) Internationales Anmeldedatum:
28. Februar 2002 (28.02.2002)
- (25) Einreichungssprache: Deutsch
- (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch
- (30) Angaben zur Priorität:
101 10 323.9 3. März 2001 (03.03.2001) DE
- (71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): **SMS DEMAG AKTIENGESELLSCHAFT**
- (72) Erfinder; und
(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **PAWELSKI, Hartmut** [DE/DE]; Wachtelweg 6, 40883 Ratingen (DE).
- (74) Anwalt: **VALENTIN, Ekkehard**; Valentin, Gihlske, Grosse, Hammerstrasse 2, 57072 Siegen (DE).
- (81) Bestimmungsstaaten (national): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NO, NZ, OM, PH, PL, PT, RO, RU,

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: METHOD FOR SPECIFICALLY ADJUSTING THE SURFACE STRUCTURE OF ROLLING STOCK DURING COLD ROLLING IN SKIN PASS MILLS

(54) Bezeichnung: VERFAHREN ZUR GEZIELTEN EINSTELLUNG DER OBERFLÄCHENSTRUKTUR VON WALZGUT BEIM KALTNACHWALZEN IN DRESSIER-WALZGERÜSTEN



(57) Abstract: The invention relates to a method for specifically adjusting the surface structure of rolling stock (3) during cold rolling in skin pass mills. The aim of the invention is to partially transfer the surface structure of the working roll (2) onto the rolling stock (3). To this end, the change of roughness of the rolling stock (3) in the rolling process of a single- or multiple-stand, preferably two-stand skin pass mill is calculated in an optimization calculation in which the rolling parameters are varied according to the mill capacity using a tribological model that mathematically describes the friction conditions in the roll gap (1). The results obtained are then used to readjust at least a part of the rolling parameters used for calculation.

(57) Zusammenfassung: Zur gezielten Einstellung der Oberflächenstruktur von Walzgut (3) beim Kaltnachwalzen in Dressier-Walzgerüsten, wobei eine teilweise Übertragung der Oberflächenstruktur der Arbeitswalzen (2) auf das Walzgut (3) erfolgt, wird erfindungsgemäß vorgeschlagen,

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 02/070160 A2



SD, SE, SG, SI, SK, SL, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG,
US, UZ, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

(84) Bestimmungsstaaten (regional): ARIPO-Patent (GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches Patent (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches Patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, TR), OAPI-Patent (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

— ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

dass unter Zuhilfenahme eines tribologischen Modells zur mathematischen Beschreibung der Reibungsverhältnisse im Walzspalt (1) die Veränderung der Rauheit des Walzgutes (3) im Walzprozess einer ein- oder mehrgerüstigen, vorzugsweise zweigerüstigen Dressierstrasse in einer Optimierungsrechnung mit Variation der Walzparameter unter Berücksichtigung der vorhandenen Maschinengrenzen berechnet und die erhaltenen Ergebnisse zur Voreinstellung zumindest eines Teils der zur Berechnung herangezogenen Walzparameter verwendet werden.

5

Verfahren zur gezielten Einstellung der Oberflächenstruktur von Walzgut beim Kaltnachwalzen in Dressier-Walzgerüsten

10

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur gezielten Einstellung der Oberflächenstruktur von Walzgut beim Kaltnachwalzen in Dressier-Walzgerüsten, wobei eine teilweise Übertragung der Oberflächenstruktur der Arbeitswalzen auf das
15 Walzgut erfolgt.

Durch die vorangegangene Warm- oder Kaltumformung mit anschließendem Glühen enthält das Walzgut Unplanheiten und ausgeprägte Streckgrenzen, die zur Bildung von Fließfiguren bei der nachfolgenden weiteren Verarbeitung führen können. Um diese Unplanheiten zu beseitigen und die Entstehung von
20 Fließfiguren zu vermeiden, wird das Walzgut einer Kaltumformung (Kaltnachwalzen) mit einem geringen Verformungsgrad von nur bis zu 3 % unterworfen. Bei dieser Kaltumformung findet dann zusätzlich eine Glättung der Walzgutoberfläche statt, verbunden mit einer gewollten teilweisen Übertragung der Oberflächenstruktur der Arbeitswalzen auf das Walzgut zur Einstellung einer bestimmten Oberflächenrauheit. Diese gewollte Oberflächenrauheit bzw. Oberflächenstruktur des Walzgutes hilft u. a., Probleme beim Tiefziehen (Abrasions- und Adhäsionsverschleiß durch metallischen Kontakt sowie unkontrolliertes Fließen) und eine unzureichende Lackierbarkeit zu vermeiden.

30

Die Übertragung der Oberflächenstruktur der Arbeitswalzen auf das Walzgut wird dabei durch eine Vielzahl von Walzparametern sowie von der Walzgutdicke, der Ausgangsrauheit des Walzgutes, der Rauheit der Arbeitswalzen, der Nachwalzgeschwindigkeit und der Nachwalztemperatur entscheidend beeinflusst.
35

5 Als Vorteil für die Durchführung des Nachwalzens hat sich nach einer Untersuchung von Kurt Steinhoff („Untersuchung des Nachwalzens von metallisch beschichtetem Feinblech“, Umformtechnische Schriften, Band 47, Verlag Stahl-Eisen) gezeigt, dass durch das Nachwalzen in zwei Stichen eine Verbesserung der Übertragung erzielt werden kann. Dabei ist die Verteilung der Umformgrade
10 in den Einzelstichen von Bedeutung, da der schon bei geringen Umformgraden im ersten Nachwalzstich ausgeprägte Einebnungseffekt zu günstigen Übertragungsvoraussetzungen im zweiten Stich führt.

Ausgehend von diesem bekannten Stand der Technik, die geprägt ist durch
15 hohe Anforderungen an die mechanischen Eigenschaften der zu walzenden Materialien und gekoppelt daran hohe Anforderungen an die Oberflächengüte (insbesondere Homogenität über Breite und Länge des Walzgutes), wurden neue Konzepte des Kaltnachwalzens entwickelt, die insbesondere zum zweigerüstigen Dressierstraßenkonzept führte. Im Anlagentyp dieser neuen Dressier-
20 Technologie stehen verschiedene Parameter zur Verfügung, um die Anforderungen nach konstantem einzustellenden Dressiergrad bei konstanter Oberflächengüte, z. B. bei variierender Geschwindigkeit (Anfahr- und Abbremsphase) nachzukommen. In diesem Straßentyp stehen u. a. die Verteilung der Einzeldressiergrade, der Zwischengerüstzug, in gewissem Rahmen die Haspelzüge und die resultierende Walzkraft zur Verfügung, um die erzielte Bandrauhigkeit
25 konstant zu halten.

Aufgabe der Erfindung ist es, ein Verfahren anzugeben, durch das eine Abstimmung der einzelnen walzrelevanten Parameter ermöglicht wird, so dass
30 eine Vorhersage der Reibungszahl im Walzspalt und der Veränderung der Oberfläche des Walzgutes durch das Nachwalzen (Dressieren) und darauf basierend eine Voreinstellung der Walzparameter ermöglicht wird.

Die gestellte Aufgabe wird für eine mehrgerüstige Dressierstraße mit den kennzeichnenden Merkmalen des Anspruchs 1 dadurch gelöst, dass unter Zuhilfenahme eines tribologischen Modells zur mathematischen Beschreibung der
35

5 Reibungsverhältnisse im Walzspalt die Veränderung der Rauheit des Walz-
gutes im Walzprozess einer ein- oder mehrgerüstigen, vorzugsweise zweigerüsti-
gen Dressierstraße in einer Optimierungsrechnung mit Variation der Walzpara-
meter unter Berücksichtigung der vorhandenen Maschinengrenze berechnet
und die erhaltenen Ergebnisse zur Voreinstellung zumindest eines Teils der zur
10 Berechnung herangezogenen Walzparameter verwendet werden.

Zur optimierenden Berechnung ist es zweckmäßig, das tribologische Modell aus
miteinander verknüpften Teilmodellen aufzubauen, so dass zunächst getrennt
voneinander verschiedene Parameter berechnet und dann die erhaltenen Er-
15 gebnisse miteinander verknüpft werden. So lassen sich beispielsweise in Ab-
hängigkeit von den Walzspaltkoordinaten die Reibungszahl μ , der Traganteil T
und daraus das Walzdruckgebirge (Druckverteilung im Walzspalt) berechnen.
In diesen Berechnungen werden walzrelevante Parameter mit einbezogen und
optimierend variiert, wobei insbesondere die für eine zweigerüstige Dressier-
20 straße zur Verfügung stehenden Parameter

- Verteilung der Einzeldressiergrade
- Zwischengerüstzug
- Haspelzüge
- 25 - resultierende Walzkraft
- Walzgeschwindigkeit

berücksichtigt werden müssen. Als Zielgröße ist dabei vorzusehen, dass die
Berechnung so vorgenommen wird, dass das Walzgut in allen Walzgeschwin-
30 digkeiten hinter dem letzten Gerüst eine konstante Rauheit hat. Als zweite Ziel-
größe wird die Berechnung so vorgenommen, dass der Gesamtdressiergrad
(Summe der Dressiergrade der einzelnen Gerüste) konstant gehalten wird.

Zur Veranschaulichung des Prinzips der Erfindung sind nachfolgend einige Zu-
35 sammenhänge graphisch dargestellt.

5 Es zeigen:

- Fig. 1 einen schematischen Vertikalteilschnitt durch einen Walzspalt,
- Fig. 2 Verlauf der Reibungszahl μ im Walzspalt,
- Fig. 3 Verlauf des Traganteils T im Walzspalt,
- 10 Fig. 4 Normaldruckverlauf P im Walzspalt,
- Fig. 5 Walzkraft K als Funktion der Walzgeschwindigkeit v ,
- Fig. 6 Zwischengerüstzug Z als Funktion der Walzgeschwindigkeit v ,
- Fig. 7 Dressiergrad D als Funktion der Walzgeschwindigkeit v ,
- Fig. 8 Bandrauheit R_a als Funktion der Walzgeschwindigkeit v .

15

In den Figuren 1 bis 4 ist das typische Zusammenspiel der Teilmodelle dargestellt, die für ein gesamtes tribologisches Modell des Walzspalts erforderlich sind.

- 20 In Figur 1 ist ein Vertikalteilschnitt durch einen Walzspalt 1 gezeigt, in dem zwischen oberer Arbeitswalze 2 und unterer Arbeitswalze (nicht dargestellt) sich das Walzband 3 befindet. Die Walzrichtung verläuft in der gezeigten Darstellung entsprechend der Pfeilrichtung 4 von links nach rechts. Zur Unterstützung des Walzvorgangs sind die Oberflächen der Arbeitswalzen 2 und des Walzbandes
- 25 mit einer Emulsion 5 benetzt, die sich infolge des Druckerhöhung im Zwickel zwischen Walzband 3 und der Arbeitswalze 2 mit Öl anreichert. Diese mit Öl angereicherte Emulsion 6 wird nun im Walzverlauf gemeinsam mit dem Walzband 3 durch den Walzspalt 1 von links nach rechts mitgeführt.

- 30 Bei Verwendung von Walzöl oder Nassdressiermittel entfällt dieser Anreicherungsprozess. Dann wird das Schmiermittel als solches durch den Walzspalt gezogen.

- Zum besseren Verständnis der nachfolgenden Betrachtungen sind die relevanten Größen als Funktion der Walzspaltkoordinate WSK aufgetragen, und zwar
- 35

- 5 ausgehend von einem Wert -10 mm (Bereich des Einlaufs) über +/- 0 mm bis zu +4 mm (Bereich der Trennung von Arbeitswalze und Walzband).

Die Figuren 2 bis 4, in denen die Entwicklung der Reibungszahl μ (Fig. 2), die Entwicklung des Traganteils T der Oberflächenrauheiten (Fig. 3) und die Entwicklung des Normaldrucks P im Walzspalt (Fig. 4) als Funktion dieser Walzspaltkoordinate WSK dargestellt sind, sind so unterhalb der Walzspaltdarstellung der Figur 1 angeordnet, dass die Walzspaltkoordinaten WSK einander entsprechen.

- 15 Im Zusammenschau der Figuren 1 bis 4 sind nun folgende Merkmale bei folgenden Walzspaltkoordinaten WSK ablesbar:

Beim Einlauf bildet sich ein Einlaufkeil, wodurch ein Druckanstieg 7 des Schmiermittels (mit Öl angereicherte Suspensionen 6) aufgrund hydrodynamischer Effekte erfolgt (etwa ab Walzspaltkoordinate WSK -10 mm bis etwa -8 mm), der so lange anhält, bis die ebene Fließspannung abzüglich der Rückzugsspannung erreicht wird und das Band plastisch wird. Mit der Dicke der an diesem Punkt 8 eingezogenen Schmierfilmschicht lässt sich der Traganteil T (siehe Fig. 3) – das ist das Verhältnis zwischen mikroskopischer Kontaktfläche der Rauheitsspitzen vom Band 3 und Arbeitswalze 2 zu der makroskopischen Kontaktfläche – am Einlauf in einem Teilmodell berechnen. Dieses Teilmodell beschreibt die Entwicklung der Oberflächenrauheit (etwa ab Punkt 8) bei einer Walzspaltkoordinate WSK von etwa -8 mm bis etwa Punkt 9 bei einer Walzspaltkoordinate WSK von etwa +2 mm) und den damit verbundenen Anstieg des Traganteils T beim Durchgang durch den Walzspalt 1.

Mit Hilfe des Traganteils T als Funktion der Walzspaltkoordinate WSK (siehe Fig. 3) kann die zugehörige Reibungszahl μ als Funktion der Walzspaltkoordinate WSK (siehe Fig. 2) und dann mit Hilfe der elastisch-plastischen

- 5 Streifentheorie des Walzdruckgebirge (siehe Entwicklung des Normaldrucks P , Fig. 4) berechnet werden.

Bei der Streifentheorie wird das sich im Walzspalt befindliche Walzgut in vertikale Streifen unterteilt. Es wird angenommen, dass der auf einen solchen Streifen wirkende Walzdruck P unverändert in vertikaler Richtung durch den Streifen durchgeht. Da die Dicke des Bandes beim Kaltwalzen klein gegenüber der Länge des Walzspalts ist, ist diese Annahme gerechtfertigt. Durch Ansetzen des statischen Gleichgewichts am Streifen lässt sich die Veränderung des Walzdrucks P mit der Walzspaltkoordinate als Funktion der lokalen Reibsituation und der lokalen Festigkeit des Materials ableiten. Das hier verwendete Modell wurde durch Berücksichtigung des elastisch-plastischen Materialverhaltens und der elastischen Abplattung der Arbeitswalzen in Abhängigkeit von der Walzdruckverteilung erweitert. Dies ist insbesondere im Hinblick auf Dressierwalzanwendungen erforderlich.

20 Ein tribologisches Modell dieser Art wird nie in der Lage sein, die Reibung exakt vorherzusagen, eine Adaption wird auch weiterhin erforderlich sein. Trotzdem hat das Stützen auf physikalische Grundmodelle den Vorteil, dass eine Veränderung der Einflussgrößen auch eine physikalisch sinnvolle Antwort des Modells hervorbringt. Damit ist auch eine Extrapolierbarkeit auf nicht adaptierte Parameterkombinationen in gewissem Umfang möglich.

Eine beispielhafte Veranschaulichung der Verwendung eines derartigen mathematischen tribologischen Modells mit den erhaltenen Ergebnissen einer Beispielrechnung für eine zweigerüstige Dressierstraße ist in den folgenden Figuren 5 bis 8 dargestellt.

Die Einstellungen der Beispielsrechnung wurden in Abhängigkeit von der Walzgeschwindigkeit v so vorgenommen, dass das Band in allen Geschwindigkeiten hinter Gerüst 2 eine konstante Rauheit hat. Gleichzeitig wurde auch der Ge-

- 5 samtdressiergrad (Summe der Dressiergrade D von Gerüst 1 (G1) und Gerüst 2 (G2)) konstant gehalten.

Aufgrund der Dressiergrade D in den beiden Walzgerüsten G1, G2 (siehe Fig. 7), dem Zwischengerüstzug Z (siehe Fig. 6) und den resultierenden Walzkräften
10 K (siehe Fig. 5) ergeben sich die in Fig. 8 aufgetragenen Bandrauheitswerte Ra. Die erhaltenen Ergebnisse können nun zur Voreinstellung des Dressierprozesses mit herangezogen werden.

5

Patentansprüche

10

1. Verfahren zur gezielten Einstellung der Oberflächenstruktur von Walzgut beim Kaltnachwalzen in Dressier-Walzgerüsten, wobei eine teilweise Übertragung der Oberflächenstruktur der Arbeitswalzen (2) auf das Walzgut (3) erfolgt,

15

dadurch gekennzeichnet,

20

dass unter Zuhilfenahme eines tribologischen Modells zur mathematischen Beschreibung der Reibungsverhältnisse im Walzspalt (1) die Veränderung der Rauheit des Walzgutes (3) im Walzprozess einer ein- oder mehrgerüstigen, vorzugsweise zweigerüstigen Dressierstraße in einer Optimierungsrechnung mit Variation der Walzparameter unter Berücksichtigung der vorhandenen Maschinengrenzen berechnet und die erhaltenen Ergebnisse zur Voreinstellung zumindest eines Teils der zur Berechnung herangezogenen Walzparameter verwendet werden.

25

2. Verfahren nach Anspruch 1,

dadurch gekennzeichnet,

dass das tribologische Modell aus miteinander verknüpften Teilmodellen besteht, durch die u. a folgende Berechnungen durchgeführt werden:

30

- * Verknüpfung des Traganteils (T) mit der Reibungszahl (μ) (Reibmodell)
- * Anstieg des Traganteils (T) beim Durchgang durch den Walzspalt (1) –Entwicklung der Oberflächenrauheit (Ra) als Funktion der Walzspalt-kordinate (WSK)
- * Berechnung des Walzdruckgebirges (Entwicklung des Normaldrucks P) als Funktion der Walzspaltkordinate (WSK).

35

- 5 3. Verfahren nach Anspruch 2,
 dadurch gekennzeichnet,
 dass zur Einstellung eines konstanten Dressiergrades (D) bei konstanter
 Oberflächengüte (konstante Bandrauheit Ra) zusätzlich insbesondere die
 Walzparameter:
- 10 * Verteilung der Einzeldressiergrade (D)
 * Zwischengerüstzug (Z)
 * Haspelzüge
 * resultierende Walzkraft (K)
 * Walzgeschwindigkeit (Anfahr- und Abbremsphase) (v)
- 15 zur Berechnung der Voreinstellung im mathematischen tribologischen Mo-
 dell berücksichtigt werden.
4. Verfahren nach Anspruch 1, 2 oder 3,
 dadurch gekennzeichnet,
- 20 dass die Berechnung des tribologischen Modells so vorgenommen wird
 (Berechnung der Walzparameter in Abhängigkeit von der Walzgeschwin-
 digkeit v), dass das Walzgut (3) in allen Walzgeschwindigkeiten (v) hinter
 dem letzten Gerüst eine konstante Rauheit (Ra) hat.
- 25 5. Verfahren nach Anspruch 1, 2, 3 oder 4,
 dadurch gekennzeichnet,
 dass die Berechnung des tribologischen Modells so vorgenommen wird,
 dass der Gesamtdressiergrad (Summe der Dressiergrade D der einzelnen
 Gerüste) konstant gehalten wird.

1/2

FIG.1

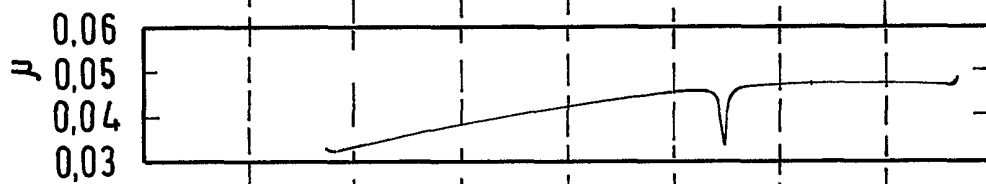
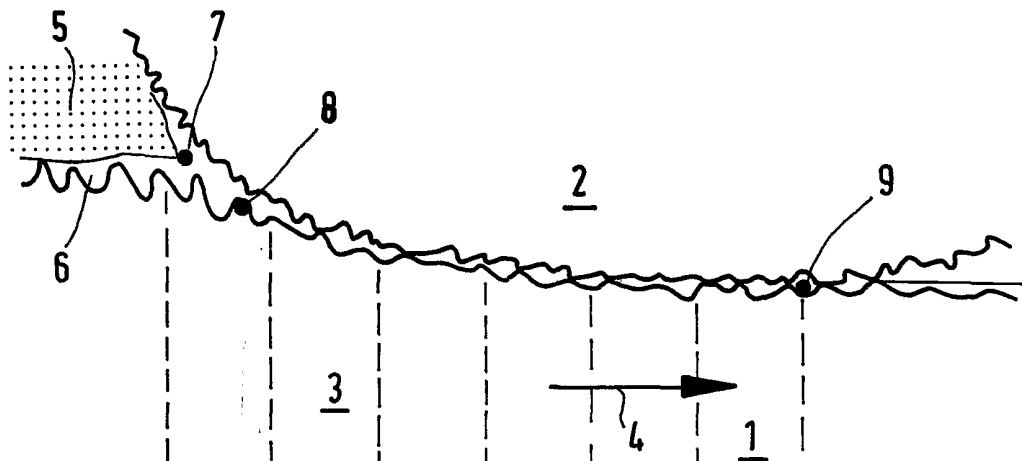


FIG.2

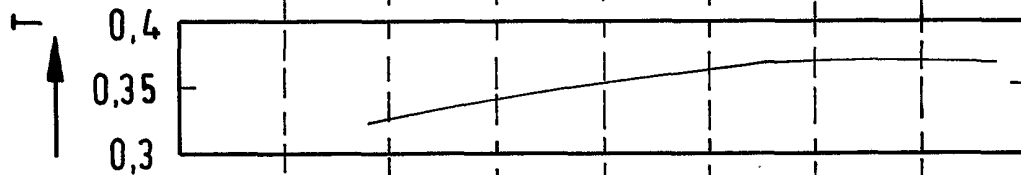


FIG.3

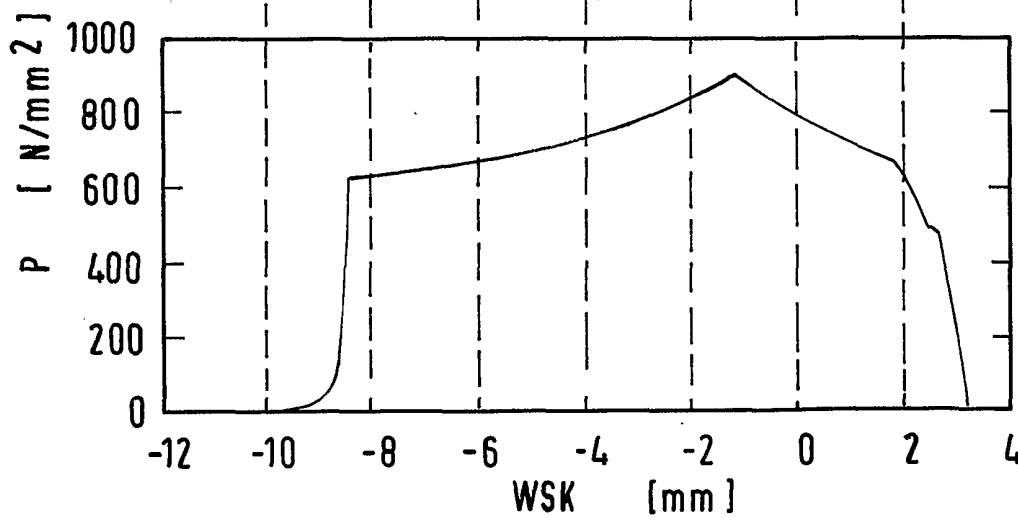


FIG.4

2/2

FIG.5

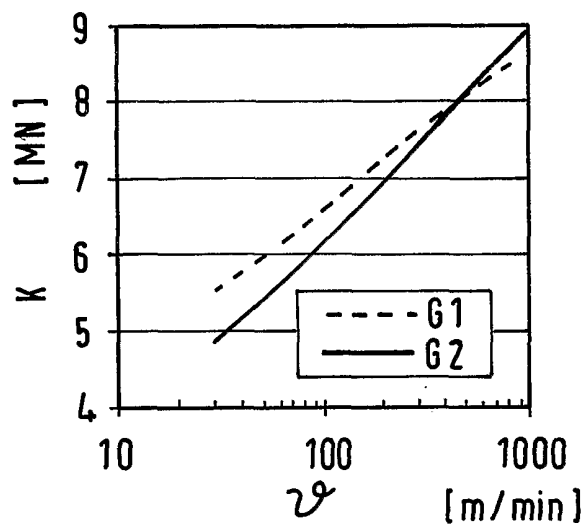


FIG.6

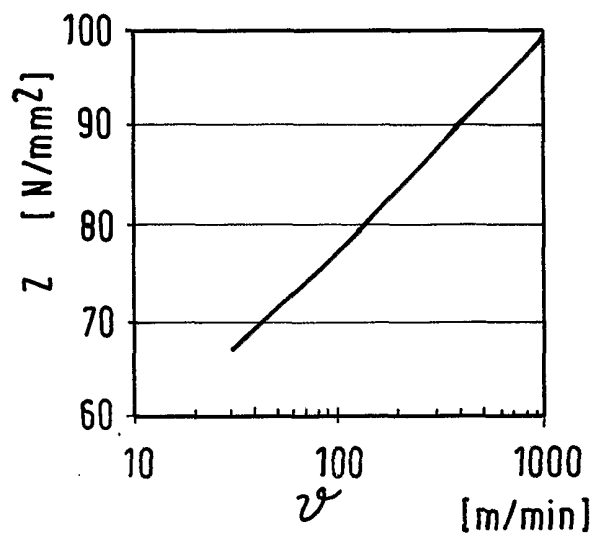


FIG.7

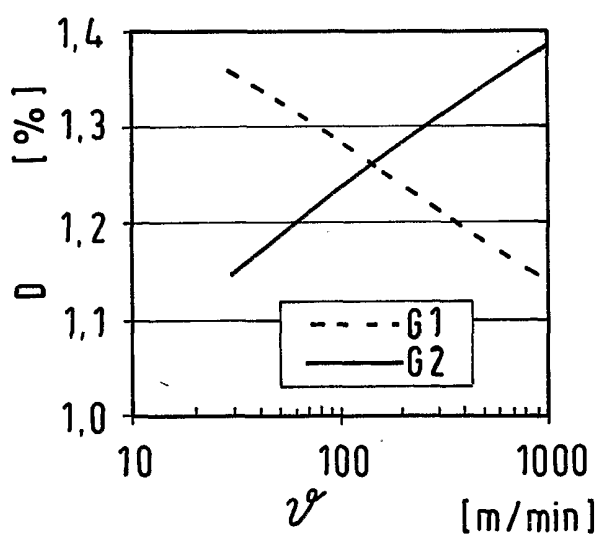


FIG.8

