

(19)



Europäisches Patentamt

European Patent Office

Office européen des brevets



(11)

EP 0 953 384 A2

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:
03.11.1999 Patentblatt 1999/44

(51) Int. Cl.⁶: **B21B 37/40**

(21) Anmeldenummer: 99107735.5

(22) Anmeldetag: 19.04.1999

(84) Benannte Vertragsstaaten:
**AT BE CH CY DE DK ES FI FR GB GR IE IT LI LU
MC NL PT SE**
Benannte Erstreckungsstaaten:
AL LT LV MK RO SI

(30) Priorität: 29.04.1998 AT 71598

(71) Anmelder:
**VOEST-ALPINE INDUSTRIEANLAGENBAU
GMBH
4020 Linz (AT)**

(72) Erfinder:
• **Pichler, Rudolf Dipl.-Ing.
4112 Rottenegg (AT)**
• **Holy, Franz Dipl.-Ing.
4175 Herzogsdorf (AT)**
• **Tichy, Sonja Dipl.-Ing.
4040 Linz (AT)**
• **Seilinger, Alois Dipl.-Ing.
4040 Linz (AT)**

(74) Vertreter:
**Rieberer, Stefan, Dipl.-Ing.
c/o VA TECH Patente GmbH,
Serravagasse 10
1140 Wien (AT)**

(54) **Verfahren zur Verbesserung der Kontur gewalzten Materials und zur Erhöhung der gewalzten Materiallänge**

(57) Es wird ein Verfahren zur Verbesserung der Kontur gewalzten Materials und zur Erhöhung der gewalzten Materiallänge bei einem Walzprogramm bzw. zur freieren Gestaltung desselben hinsichtlich der Breitenabfolge der Bänder mittels axialer Verschiebung von Arbeitswalzen von zumindest einem Walzgerüst in Warm- oder Kaltwalzanlagen in Abhängigkeit eines Qualitätskriteriums in Form einer mathematischen Funktion, welches optimiert wird, gezeigt, wobei für mindestens ein Walzgerüst je ein Qualitätskriterium erstellt wird, das zumindest auf einen Teilabschnitt des Walzprogramms, der mehrere Walzvorgänge umfaßt, angewendet wird, und dass aufgrund der Optimierung des Qualitätskriteriums die jeweiligen Walzenverschiebungen für alle Walzvorgänge des betrachteten Teilabschnitts vorherbestimmt werden.

EP 0 953 384 A2

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Verbesserung der Kontur gewalzten Materials und zur Erhöhung der gewalzten Materiallänge bei einem Walzprogramm bzw. zur freieren Gestaltung desselben hinsichtlich der Breitenabfolge der Bänder mittels axialer Verschiebung von Arbeitswalzen von zumindest einem Walzgerüst in Warmlager Kaltwalzanlagen in Abhängigkeit eines Qualitätskriteriums in Form einer mathematischen Funktion, welches optimiert wird.

[0002] Beim Walzen, insbesondere beim Warmwalzen, ist die Kontur der Arbeitswalzen innerhalb eines Walzprogramms, welches die Walzvorgänge zwischen zwei Arbeitswalzenwechsel umfasst, ständigen Änderungen unterworfen. So verschleiben die Arbeitswalzen am Rand des Walzgutes besonders stark. Diesen Änderungen in der Kontur wird durch axiale Verschiebung der Arbeitswalzen Rechnung getragen.

[0003] Zum Stand der Technik gehört die sogenannte zyklische Verschiebung (cyclical shift), siehe beispielsweise EP 0 276 743 B1, bei der a priori ein bestimmter Verschiebeweg der Arbeitswalzen festgesetzt wird, sodass die Abnutzung der Walzen und die thermische Walzenballigkeit gleichmäßiger in Axialrichtung verteilt werden. Dieses Verfahren reicht jedoch nicht aus, um eine hinreichend glatte Walzenkontur zu erreichen.

[0004] Aus der EP 0 219 844 B1 ist ein Verfahren zum Einstellen des Profils von Walzgut durch axiales Verstellen der Lagen einer oberen und unteren Arbeitswalze in entgegengesetzten Richtungen bekannt. Dabei erfolgt während des Walzens eine Bestimmung des Profils jeder Arbeitswalze und daraus des Spalts zwischen den Arbeitswalzen als Funktion der Größe einer relativen Verstellung der Walzenlagen, um anschließend jene Größe der Verstellung der Walzenlagen zu ermitteln, die für den Spalt innerhalb des Kontaktbereichs zwischen Werkstück und Arbeitswalzen eine möglichst glatte Konfiguration in axialer Richtung hervorruft. Bei diesem Dokument wird jeweils nur die folgende Verschiebeposition berechnet.

[0005] Aus dem Artikel "Schedule-Free Rolling Strategies Based on Contour Control for Flexible Hot Strip Mill Concepts", K. Eckelsbach, G. Kneppel, D. Rosenthal, H. Wolters, SMS Schloemann-Siemag AG, Düsseldorf and Hilchenbach/Germany, ISIDM '97 Conference Proceedings, Seiten 163-171, geht hervor, dass bei der Konturüberwachung in Warmbandwalzwerken ein Prozessmodell herangezogen wird, aus dem geeignete Verschiebepositionen der Arbeitswalzen abgeleitet werden. Die dabei auftretenden Anomalien der Konturen, allerdings des Warmbandes, werden durch ein Qualitätskriterium beschrieben, welches mathematisch behandelt werden kann, wobei eine Bestimmung der Verschiebeposition jeweils von einem Band zum nächsten erfolgt (Seite 168).

[0006] Die EP 0 618 020 A1 zeigt ein Verfahren zum Erreichen einer vorgegebenen Zielkontur eines Walz-

bandes, wobei zur Erreichung dieser Zielkontur bei mindestens zwei Walzgerüsten einer Warmbandstraße bzw. bei mindestens zwei Stichen in einem Reversiergerüst verschiedene Stellglieder eingesetzt werden können. Bei einer von der Zielkontur abweichenden Bandprofilform werden die mechanischen Stellglieder so zum Einsatz gebracht, dass sich eine minimale Abweichung der errechneten Bandform von der Zielkontur ergibt. Die Optimierung der Bandkontur ist hierbei jeweils für ein Band geoffenbart.

[0007] Die DE 37 12 043 A1 zeigt eine Regelvorrichtung, bei der aufgrund einer Analyse des aktuellen Bandprofils u. a. eine optimale axiale Verschiebung axial verschiebbarer Walzen zur Erzielung eines spannungsfreien Warmbandes nachgeführt wird. Die DE 40 40 360 A1 zeigt ein Regelkonzept für jenes Band, das aktuell bearbeitet wird, wobei aufgrund von Messgrößen gewisse Modellgleichungen und Stellglieder adaptiert werden.

[0008] Auch bei den beiden letztgenannten Veröffentlichungen werden nie mehrere Bänder im Voraus berücksichtigt.

[0009] Die DE 44 21 005 A1 beschreibt eine Stichplanoptimierung mittels Prozessmodellen, die als Ergebnis die Anzahl der Stiche, die Walzkräfte bei den einzelnen Stichen usw. liefert. Die Bestimmung von axialen Verschiebepositionen der Arbeitswalzen ist jedoch nicht Gegenstand der Stichplanoptimierung.

[0010] Die Aufgabe der vorliegenden Erfindung besteht in der Entwicklung eines Verfahrens, das die Erhöhung der gewalzten Materiallänge bei einem Walzprogramm, also zwischen zwei Arbeitswalzenwechsel, sowie die freiere Gestaltung von Walzplänen (SFR-"Schedule Free Rolling"), insbesondere ein alternierendes Zu- und Abnehmen der Breite der Walzgutstücke, erlaubt und eine entsprechende Kontur des Walzgutes dadurch erzielt wird, dass für jedes Walzgutstück des Walzprogramms über die ganze Breite des Walzgutstücks eine möglichst glatte Kontur der Arbeitswalzen bzw. des dadurch gebildeten Walzspalts erreicht wird. Insbesondere sollen im Verlauf des gesamten Walzprogramms für Bänder möglichst geringe Konturdefekte (z.B. "High Spots" - örtliche Erhöhungen des Bandes - aufgrund lokal übermäßig verschlissener Arbeitswalzen) auftreten.

[0011] Die Erfindung ist dadurch gekennzeichnet, dass für mindestens ein Walzgerüst je ein Qualitätskriterium erstellt wird, das zumindest auf einen Teilabschnitt des Walzprogramms, der mehrere Walzvorgänge umfasst, angewendet wird, und dass aufgrund der Optimierung des Qualitätskriteriums die jeweiligen Walzenverschiebungen für alle Walzvorgänge des betrachteten Teilabschnitts vorherbestimmt werden.

[0012] Dies hat den Vorteil, dass für jedes Walzgerüst nicht nur eine möglichst günstige Verschiebeposition der Arbeitswalzen, im folgenden kurz Walzen, für den nächsten Walzvorgang ermittelt wird, sondern dass

mehrere oder alle nachfolgenden Walzvorgänge berücksichtigt werden, sodass durch die Walzenverschiebungen für die ersten Walzvorgänge und den damit verbundenen Folgen, wie z.B. Abnutzung der Walzen, die Möglichkeiten der Walzenverschiebung für die folgenden Walzvorgänge nicht eingeschränkt werden. Erst durch die vorliegende Erfindung ist es möglich, durch gleichzeitige Berücksichtigung mehrerer bzw. aller Walzgutstücke bzw. Walzvorgänge eines Walzprogramms die Möglichkeiten der Walzenverschiebung in bezug auf die Verbesserung der Kontur der Walzen und damit des Walzgutes bestmöglich zu nutzen. Schließlich ermöglicht die Erfindung durch die Vorherbestimmung der Verschiebepositionen der Walzen eine Optimierung der Abnutzung der Walzen, sodass deren Lebensdauer verlängert wird, was gleichbedeutend mit einer Erhöhung der gewalzten Materiallänge für ein Walzprogramm ist.

[0013] Unter einem Walzvorgang versteht man hier jenen Vorgang, bei dem ein Walzgutstück in einem Walzgerüst zwischen den Walzen bearbeitet wird.

[0014] Eine Ausführung der Erfindung besteht darin, dass das Qualitätskriterium eine Gesamt-Zielfunktion ist, die durch Summierung von einzelnen Zielfunktionen gebildet wird, wobei für jeden Walzvorgang eines Walzgutstücks des betrachteten Teilabschnitts des Walzprogramms zumindest je eine Zielfunktion erstellt wird.

Durch die Gesamt-Zielfunktion können für das Qualitätskriterium mehrere bzw. alle Walzgutstücke berücksichtigt werden. Es wird also nicht sequentiell die Güte einzelner Walzgutstücke, wie Bänder, bewertet und optimiert, sondern immer die Güte des gesamten Walzprogramms oder eines Teilabschnitts des Walzprogramms. Dabei ist es zumeist ausreichend, für jeden Walzvorgang je eine Zielfunktion zu erstellen, die die Eigenschaften der Walzen entweder vor, während oder nach dem Walzvorgang bewertet. Es kann jedoch von Vorteil sein, besonders bei langen Walzgutstücken, die Eigenschaften der Walzen für ein Walzgutstück bei einem Walzvorgang mehrmals zu bewerten, also beispielsweise einmal vor dem Walzvorgang, einmal während des Walzvorgangs und einmal nach dem Walzvorgang, da sich die Eigenschaften der Walzen, wie die thermische Walzenballigkeit, während eines längeren Walzvorganges ändern.

[0015] Von Vorteil ist, dass die Zielfunktion aus den jeweiligen Walzenkonturen oder aus der dadurch gebildeten Walzspaltkontur erstellt wird.

Dadurch ist sichergestellt, dass die Zielfunktion aufgrund der ursächlich auf die Kontur des Walzgutes einwirkenden Eigenschaft der Walzen, nämlich der Walzenkonturen erstellt wird. Die Zielfunktion wird beispielsweise nach jedem ein Walzgutstück betreffenden Walzvorgang - unter Berücksichtigung der Walzenverschiebung - aufgrund der aktuellen Walzenkonturen zumindest über die Breite des Walzgutstücks erstellt und enthält beispielsweise Summen bzw. Integrale über quadrierte Ableitungen bzw. Differenzenquotienten

oder über quadratische Abweichungen der Walzenkonturen von einer Zielkontur, einem Mittelwert oder einer regressierten Kontur.

[0016] Dabei können die Walzenkonturen aus Modellen bestimmt werden.

Im Modell kann festgelegt werden, welche Einflüsse auf die Walzen berücksichtigt werden. Unter Walzenkontur ist hierbei jene Kontur zu verstehen, die sich unter Berücksichtigung von allen unten angeführten Einflüssen oder Teilmengen davon ergibt. Wird z.B. lediglich der Walzenverschleiß berücksichtigt, so betrachtet man nur die Verschleißkonturen der beiden Walzen ohne Durchbiegung, Abplattung und thermische Walzenballigkeit. Die Güte dieser Walzenkonturen über die Breite des Walzgutstücks und somit die Güte der Verschiebestrategie wird durch die Zielfunktion beschrieben, welche dann unter Einhaltung gewisser Restriktionen maximiert bzw. bei Bewertung der Anomalien der Walzen minimiert wird.

Als Modell kann auch ein Prozessmodell dienen, bei dem die Eigenschaften des Walzgutes, wie Spannungsverteilung oder Materialfluss, einbezogen werden.

[0017] Ein weiteres Merkmal der Erfindung besteht darin, dass bei den Walzenkonturen oder der Walzspaltkontur zumindest einer der folgenden Einflüsse berücksichtigt wird: der Walzenverschleiß, der jeweilige Walzenschliff, die thermische Walzenballigkeit, die Walzenverformung aufgrund von Walzkraft und Walzenbiegung, die variablen Walzenverschiebungen, die basierend auf speziellen Verfahren zur Profil- und Planheitsregelung (z.B. mittels CVC-Verfahren) ermittelt werden.

[0018] Dadurch ist sichergestellt, dass in der Zielfunktion die realen Bedingungen am Walzgerüst entsprechend berücksichtigt werden.

[0019] Weiters kann vorgesehen werden, dass die Zielfunktion über die gesamte Breite der Arbeitswalzen bestimmt wird.

Dies ist besonders bei der Betrachtung eines Teilabschnitts des Walzprogrammes wichtig, da der weitere Verlauf des Walzprogrammes unberücksichtigt bleibt und auch für den Fall schmalerer oder breiterer folgender Walzgutstücke eine entsprechend glatte Kontur der Walzen gegeben sein muss. Wird also die Optimierung sequentiell über Teilabschnitte des Walzprogramms durchgeführt, so kann die Bewertung der Walzenkonturen oder der Walzspaltkontur beispielsweise nach jedem Walzvorgang über die gesamte Breite der Walzen bzw. des Walzspalts erfolgen (nicht nur über den Walzgutbereich), da der weitere Verlauf des Walzprogramms nach dem gerade betrachteten Teilabschnitt bei der aktuellen Optimierung nicht berücksichtigt wird.

[0020] Eine andere Möglichkeit besteht darin, dass die Zielfunktion über die Kontaktbreite der Arbeitswalzen mit dem jeweiligen Walzgutstück gebildet wird.

Die Walzenkonturen bzw. die Walzspaltkontur wird deshalb nur über die Bandbreite bewertet, weil nur dieser Teil für die Güte des aktuellen Walzgutstücks relevant

ist und beispielsweise bei Optimierung des gesamten Walzprogramms alle Walzgutstücke berücksichtigt werden.

[0021] Die Erfindung sieht vor, dass die Zielfunktion aufgrund von numerisch bezüglich Walzengitterpunkten dargestellten Walzenkonturen oder der daraus resultierenden Walzspaltkontur erstellt wird.

Dies stellt eine im allgemeinen im Vergleich zu analytischen Darstellungen einfachere, für die Optimierung weniger zeitaufwendige Grundlage für Erstellung der Zielfunktion dar. Einige Einflüsse werden vorzugsweise numerisch berücksichtigt, wie die thermischen Walzenballigkeit, für die durch numerische Lösung der Wärmeleitungsgleichung die Temperaturverteilung in der Walze bestimmt wird.

[0022] Es sind folgende Möglichkeiten, sowohl einzeln als auch in Form von vorzugsweise gewichteten Kombinationen (je zwei oder drei Möglichkeiten) davon, vorgesehen:

- dass die Zielfunktion die Summe über die vorzugsweise gewichteten Quadrate der ersten und zweiten Differenzenquotienten in den Walzengitterpunkten der Walzenkonturen oder der Walzspaltkontur enthält.
Durch diese Klasse von Zielfunktionen, die im folgenden Z1 genannt werden, sollen möglichst flache Walzenkonturen ohne starke Steigungen und spitze Kerben erreicht werden.
- dass die Zielfunktion die Summe der quadratischen Abweichungen der Walzenkonturen oder der Walzspaltkontur in den Walzengitterpunkten vom Mittelwert oder der Regressionkurve enthält.
Diese Klasse der Zielfunktionen wird im folgenden Z2 genannt.
- dass die Zielfunktion die Summe der quadratischen Abweichungen der Walzenkonturen oder der Walzspaltkontur in den Walzengitterpunkten von einer vorgegebenen Zielkontur enthält.
Diese Klasse der Zielfunktionen wird im folgenden Z3 genannt.

[0023] Weiters kann vorgesehen werden, dass die Zielfunktion aufgrund von analytisch dargestellten Walzenkonturen oder der daraus resultierenden Walzspaltkontur erstellt wird.

Dies hat den Vorteil einer besonders exakten Darstellung der Walzenkonturen, wobei folgende Möglichkeiten, sowohl einzeln als auch in Form von vorzugsweise gewichteten Kombinationen (je zwei oder drei Möglichkeiten) davon, vorgesehen sind:

- dass die Zielfunktion das Integral über die vorzugsweise gewichteten quadrierten ersten und zweiten Ableitungen der Walzenkonturen oder der Walzspaltkontur enthält.
Durch diese Klasse der Zielfunktionen, im folgenden Z1 genannt, sollen möglichst flache Walzen-

konturen ohne starke Steigungen und spitze Kerben erreicht werden.

- dass die Zielfunktion das Integral über die quadratischen Abweichungen der Walzenkonturen oder der Walzspaltkontur vom Mittelwert oder der Regressionskurve enthält. Diese Zielfunktion gehört der Klasse Z2 an.
- dass die Zielfunktion das Integral über die quadratischen Abweichungen der Walzenkonturen oder der Walzspaltkontur von einer vorgegebenen Zielkontur enthält.
Diese Zielfunktion gehört der Klasse Z3 an.

[0024] Ein weiteres Merkmal der Erfindung besteht darin, dass die Gesamt-Zielfunktion einer mathematischen Optimierung unterworfen wird.

Auf diese Weise können die geeigneten Verschiebungen der Walzen für die Walzvorgänge des betrachteten Teilabschnitts des Walzprogramms bzw. für das gesamte Walzprogramm einfach und rechnergestützt berechnet werden.

[0025] Vorteilhafterweise erfolgt die mathematische Optimierung nach einem Verfahren aus der nichtlinearen Optimierung, z.B. nach einem SQP-Verfahren (Sequential Quadratic Programming), oder einem genetischen Algorithmus (Genetic Programming) oder einer Kombination davon.

Ein SQP-Verfahren ist besonders geeignet für die Lösung von Problemen mit Nebenbedingungen.

[0026] Dabei wird vorzugsweise der genetische Algorithmus zur Ermittlung von Anfangswerten der Walzenverschiebung verwendet.

[0027] Vorgesehen ist weiters, dass bei der mathematischen Optimierung vom Walzprogramm oder der Walzanlage abhängige Restriktionen, z.B. Grenzwerte für die Verschiebung der Walzen, berücksichtigt werden.

Bei der Bestimmung der Verschiebepositionen sind nun für jedes Walzgutstück bzw. jeden Walzvorgang, z.B. für jedes Band, gewisse Restriktionen zu betrachten wie z. B.

- maximale und minimale physikalisch mögliche oder gewünschte Verschiebeposition der Walzen,
- maximaler Verschiebeweg zwischen zwei aufeinanderfolgenden Walzgutstücken bzw. Walzvorgängen (Stichen),
- maximale Abweichung der Verschiebeposition von einem vorgegebenen Positionssollwert für jedes Walzgutstück bzw. jeden Walzvorgang (Stich), falls dies z.B. aus Gründen der Profil- und Planheitsregelung erforderlich ist.

[0028] Die Restriktionen können in Abhängigkeit vom Walzprogramm und vom Walzenschliff auch für jedes Walzgutstück individuell festgelegt werden (z. B. kann der maximale Verschiebeweg zwischen zwei Bändern entsprechend der Walzpause zwischen diesen oder der

Walzgutdicke oder der Stichdauer gewählt werden).

Man erhält somit ein nichtlineares, restringiertes Optimierungsproblem, welches vorteilhaft mittels SQP-Verfahren gelöst werden kann.

[0029] Das Merkmal, dass für die mathematische Optimierung die Verschiebepositionen der Walzen für alle Walzvorgänge des betrachteten Teilabschnitts des Walzprogramms als Optimierungsvariablen verwendet werden, ermöglicht eine sehr flexible Gestaltung der Verschiebepositionen.

[0030] Eine andere Ausführung besteht darin, dass der mathematischen Optimierung eine Verschiebefunktion zugrunde gelegt wird, deren freie Variablen bei der mathematischen Optimierung bestimmt werden.

Durch diese Parametrisierung kann die Anzahl an zu optimierenden Variablen und damit die Dimension des Optimierungsproblems verringert und die mathematische Optimierung dadurch weiter vereinfacht und beschleunigt werden. Beispiele für geeignete festgelegte Verschiebefunktionen, deren freie Parameter durch Optimierung bestimmt werden, sind:

- Verschiebung nach einem Fourierpolynom, wobei die Fourierkoeffizienten durch Optimierung bestimmt werden,
- Verschiebung nach einer kubischen Splinefunktion, wobei die Funktionswerte an den Stützstellen die Optimierungsvariablen darstellen.

[0031] Für ein beliebig vorgegebenes Walzprogramm wird somit durch Optimierung der Verschiebepositionen bzw. der Verschiebefunktion unter Berücksichtigung von Walzenverschleiß, thermischer Walzenballigkeit und Walzenverformung durch Walzkraft und Walzenbiegung eine optimale Verschiebestrategie der Walzen bestimmt, sodass im Verlauf des gesamten Walzprogramms möglichst geringe Konturdefekte auftreten.

[0032] Bei sehr langen Walzgutstücken besteht die Möglichkeit, für einen Walzvorgang für jede Arbeitswalze mehrere Verschiebepositionen der Walzen zu ermitteln. Die entsprechende Verschiebung der Walzen erfolgt dann während des Walzvorgangs von einer für die jeweilige Walze durch Optimierung der Verschiebepositionen bzw. der Verschiebefunktion ermittelten Position zur nächsten.

[0033] Durch das Merkmal, dass die Verschiebung der beiden Walzen eines Walzgerüsts in Abhängigkeit voneinander wie z.B. jeweils um den gleichen Betrag, aber in unterschiedlicher Richtung erfolgt, wird eine weitere Vereinfachung in der mathematischen Optimierung bedingt.

[0034] Wenn andererseits die Verschiebung der beiden Walzen eines Walzgerüsts unabhängig voneinander erfolgt, wird eine größere Flexibilität in der Verschiebung der Arbeitswalzen ermöglicht.

[0035] Wird das Qualitätskriterium auf das ganze Walzprogramm angewendet, kann eine besonders wirkungsvolle Optimierung der Verschiebepositionen unter

Einbeziehung aller Walzgutstücke erreicht werden.

[0036] Erfolgt die Optimierung off-line vor Beginn des Walzprogramms, müssen im allgemeinen keine stark restriktiven Rechenzeitvorgaben berücksichtigt werden.

[0037] Wird die Optimierung on-line während des Walzprogramms durchgeführt, können auf diese Weise die aktuellen Walzenkonturen berücksichtigt werden, was die Güte der berechneten Verschiebepositionen erhöht.

[0038] Dies geschieht vorteilhafterweise dadurch, dass die Optimierung on-line während des Walzprogramms wiederholt nach einem oder mehreren Walzgutstücken durchgeführt wird, indem das Qualitätskriterium on-line während des Walzprogramms wiederholt nach einem oder mehreren Walzgutstücken erstellt und optimiert wird.

[0039] Das erfindungsgemäße Verfahren wird anhand der Figuren noch näher erläutert. Es werden drei Walzprogramme herangezogen, die jeweils eine typische Breitenverteilung aufweisen.

Fig. 1, a bis d, zeigt Ergebnisse eines Walzprogramms für Bänder mit sogenanntem Sargprofil ("coffin shape").

Fig. 2, a bis d, zeigt Ergebnisse eines Free-Schedule-Walzprogramms, bei dem die Breitenverteilung der Bänder stark variiert wird.

Fig. 3, a bis d, zeigt Ergebnisse eines Walzprogramms für Bänder mit gleicher Breite ("equal width").

[0040] Die jeweilige Fig. a zeigt ein Diagramm der Differenz aus maximalem und minimalem Summenverschleiß der oberen und unteren Arbeitswalze über die jeweilige Bandbreite. Dabei ist auf der senkrechten Achse jeweils die Differenz aus maximalem und minimalem Summenverschleiß beider Walzen in Mikrometer über die jeweilige Bandbreite dargestellt, auf der horizontalen Achse ist die jeweilige Bandnummer für alle Bänder des Walzprogramms angegeben. Der Verschleiß wird radial zur Walze ausgehend von der Kontur der neu geschliffenen Walze gemessen und bezieht sich auf den Radius. Eine geringe Differenz ist ein Zeichen für eine glatte Kontur der Walze.

[0041] Die jeweilige Fig. b zeigt ein Diagramm der Leerwalzspaltkontur des Walzspalts, der von den beiden Arbeitswalzen gebildet wird, nach Beendigung des Walzprogramms. Dabei ist auf der senkrechten Achse die Abweichung der Walzspaltkontur von derjenigen der neuen Walzen in Mikrometer dargestellt, die horizontale Achse entspricht der Walzenlängsachse. Der Verschleiß wird radial zu den Walzen ausgehend von der Kontur der neu geschliffenen Walzen gemessen.

[0042] Die jeweilige Fig. c zeigt ein Diagramm der Verschiebepositionen einer Walze. Dabei sind auf der senkrechten Achse die Verschiebepositionen im Millimeter der unteren Walze für jedes Band des Walzprogramms dargestellt, auf der horizontalen Achse ist die

jeweilige Bandnummer für alle Bänder des Walzprogramms angegeben. Die Ausgangsstellung der Walze entspricht der Verschiebeposition 0 mm.

[0043] Die jeweilige Fig. d zeigt die Breitenverteilung der Bänder. Auf der senkrechten Achse ist die jeweilige Bandbreite in Millimeter für die auf der horizontalen Achse aufgetragenen Bänder angegeben.

[0044] Jedes Walzprogramm umfasst jeweils 105 Bänder als Walzgutstücke. Die Verschiebeposition der oberen Walze ist aus Symmetriegründen stets spiegelbildlich zu jener der unteren Walze bezüglich der Gerüstmitte, d.h. der Betrag der Verschiebung der Walzen gegenüber ihrer unverschobenen Ausgangsposition ist identisch, das Vorzeichen jedoch unterschiedlich.

[0045] Es wurden bei jedem Walzprogramm zwei verschiedene Verfahren zur Verschiebung der Walzen verwendet. Zum Vergleich wurden die Ergebnisse des Verfahrens ohne Walzenverschiebung strichliert dargestellt.

[0046] Bei einem Verfahren, dessen Ergebnis als dicke durchgezogene Kurve dargestellt ist, wurden die Walzen entsprechend dem Stand der Technik einer zyklischen Verschiebung unterworfen. Beim anderen Verfahren, dessen Ergebnis als dünne durchgezogene Kurve dargestellt ist, wurden die Walzen erfindungsgemäß entsprechend dem Ergebnis der Optimierung der aus Zielfunktionen Z2 durch Addition gebildeten Gesamt-Zielfunktion verschoben, wobei Z2 hier durch die Summe der quadratischen Abweichungen der Walzspaltkontur von der Regressionsgeraden über die Walzspaltkontur gebildet wurde.

[0047] Für die Optimierung der Walzspaltkontur wurde hier nur der Walzenverschleiß als Einfluss auf die Walzspaltkontur berücksichtigt. Außerdem wurde für jedes Band die Walzspaltkontur für jeden Walzvorgang nur einmal bewertet, nämlich nach dem Walzvorgang. Die Bewertung der Walzspaltkontur oder der Walzenkonturen kann auch vor oder während des jeweiligen Walzvorgangs erfolgen. Weiters kann es von Vorteil sein, besonders bei langen Bändern, die Walzspaltkontur oder die Walzenkonturen für ein Band bei einem Walzvorgang mehrmals zu bewerten, also beispielsweise einmal vor dem Walzvorgang, einmal während des Walzvorgangs und einmal nach dem Walzvorgang, da sich die Eigenschaften der Walzen, wie die thermische Walzenballigkeit, während eines längeren Walzvorganges und somit die Walzenkonturen ändern.

[0048] Bei sehr langen Walzgutstücken besteht darüber hinaus die Möglichkeit, für einen Walzvorgang mehrere Verschiebepositionen der Walzen zu ermitteln. Die entsprechende Verschiebung der Walzen erfolgt dann während des Walzvorgangs.

[0049] Aus den Fig. 1a, 2a, und 3a ist ersichtlich, dass durch das erfindungsgemäße Verfahren (dünne durchgezogene Kurve) eine durchwegs geringere Verschleißdifferenz und somit glattere Walzspaltkontur über die Breite des jeweiligen Bandes vorliegt als beim Verfah-

ren mit zyklischer Verschiebung oder beim Verfahren ohne Verschiebung. Vor allem kann auch gegen Ende des Walzprogramms, siehe Fig. 1a und 3a, über die jeweilige Bandbreite noch eine glatte Walzspaltkontur und somit eine glatte Bandkontur sichergestellt werden, was eine Erhöhung der zu walzenden Walzgutstücke erlaubt und damit eine Erhöhung der gewalzten Materialmenge bedingt.

[0050] Die in den Fig. 1b, 2b, und 3b dargestellte Leerwalzspaltkontur nach 105 gewalzten Bändern zeigt, dass das erfindungsgemäße Verfahren einen mit dem Verfahren mit zyklischer Verschiebung vergleichbaren Verschleiß der Walzen aufweist, jedoch durch die optimierte Verschiebung, wie in den jeweiligen Fig. a ersichtlich, bessere Ergebnisse liefert.

[0051] In den Fig. 1c, 2c und 3c entspricht dem Verfahren ohne Verschiebung der Walzen eine waagrechte Linie durch den Ursprung. Das Verfahren mit zyklischer Verschiebung ist auf sich periodisch wiederholende Verschiebungen beschränkt. Das erfindungsgemäße Verfahren weicht als Folge der erfindungsgemäßen Optimierung deutlich vom Verfahren mit zyklischer Verschiebung ab.

[0052] Die Erfindung kann sowohl im Conti- als auch Reversierbetrieb und für ein- und mehrgerüstige Straßen eingesetzt werden. Die Arbeitswalzen können dabei einen beliebigen Schliff aufweisen, das Verfahren gilt also insbesondere auch für zylindrische oder konventionell parabolisch geschliffene Walzen oder Walzen mit CVC-Schliff.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Verbesserung der Kontur gewalzten Materials und zur Erhöhung der gewalzten Materiallänge bei einem Walzprogramm bzw. zur freieren Gestaltung desselben hinsichtlich der Breitenabfolge der Bänder mittels axialer Verschiebung von Arbeitswalzen von zumindest einem Walzgerüst in Warm- oder Kaltwalzanlagen in Abhängigkeit eines Qualitätskriteriums in Form einer mathematischen Funktion, welches optimiert wird, **dadurch gekennzeichnet, dass** für mindestens ein Walzgerüst je ein Qualitätskriterium erstellt wird, welches zumindest auf einen Teilabschnitt des Walzprogramms, der mehrere Walzvorgänge umfasst, angewendet wird, und dass aufgrund der Optimierung des Qualitätskriteriums die jeweiligen Walzenverschiebungen für alle Walzvorgänge des betrachteten Teilabschnitts vorherbestimmt werden.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Qualitätskriterium eine Gesamt-Zielfunktion ist, die durch Summierung von einzelnen Zielfunktionen gebildet wird, wobei für jeden Walzvorgang eines Walzgutstückes des betrachteten Teilabschnitts des Walzprogramms

zumindest je eine Zielfunktion erstellt wird.

3. Verfahren nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Zielfunktion aus den jeweiligen Walzenkonturen oder aus der dadurch gebildeten Walzspaltkontur erstellt wird. 5
4. Verfahren nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Walzenkonturen aus Modellen bestimmt werden. 10
5. Verfahren nach Anspruch 3 oder 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** bei den Walzenkonturen oder der Walzspaltkontur zumindest einer der folgenden Einflüsse berücksichtigt wird: der Walzenverschleiß, der jeweilige Walzenschliff, die thermische Walzenballigkeit, die Walzenverformung aufgrund von Walzkraft und Walzenbiegung, die variablen Walzenverschiebungen, die basierend auf speziellen Verfahren zur Profil- und Planheitsregelung (z.B. mittels CVC-Verfahren) ermittelt werden. 15
6. Verfahren nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Zielfunktion über die gesamte Breite der Arbeitswalzen gebildet wird. 20
7. Verfahren nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Zielfunktion über die Kontaktbreite der Arbeitswalzen mit dem jeweiligen Walzgutstück gebildet wird. 30
8. Verfahren nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Zielfunktion aufgrund von numerisch bezüglich Walzengitterpunkten dargestellten Walzenkonturen oder der daraus resultierenden Walzspaltkontur erstellt wird. 35
9. Verfahren nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Zielfunktion aufgrund von analytisch dargestellten Walzenkonturen oder der daraus resultierenden Walzspaltkontur erstellt wird. 40
10. Verfahren nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Gesamt-Zielfunktion einer mathematischen Optimierung unterworfen wird. 45
11. Verfahren nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** die mathematische Optimierung nach einem Verfahren aus der nichtlinearen Optimierung, z.B. einem SQP-Verfahren, oder einem genetischen Algorithmus oder einer Kombination davon erfolgt. 50
12. Verfahren nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** bei der mathematischen Optimierung vom Walzprogramm oder der Walzanlage abhängige Restriktionen, z.B. Grenzwerte für die

Verschiebung der Walzen, berücksichtigt werden.

13. Verfahren nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** für die mathematische Optimierung die Verschiebepositionen der Walzen für alle Walzvorgänge des betrachteten Teilabschnitts des Walzprogramms als Optimierungsvariablen verwendet werden.
14. Verfahren nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** der mathematischen Optimierung eine Verschiebefunktion zugrunde gelegt wird, deren freie Variablen bei der mathematischen Optimierung bestimmt werden.
15. Verfahren nach Anspruch 2 oder 13, **dadurch gekennzeichnet, dass** vorzugsweise für lange Walzgutstücke für einen Walzvorgang für jede Arbeitwalze mehrere Verschiebepositionen ermittelt werden, wobei die entsprechende Verschiebung während des Walzvorgangs von einer ermittelten Position zur nächsten erfolgt.
16. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Qualitätskriterium auf das ganze Walzprogramm angewendet wird.

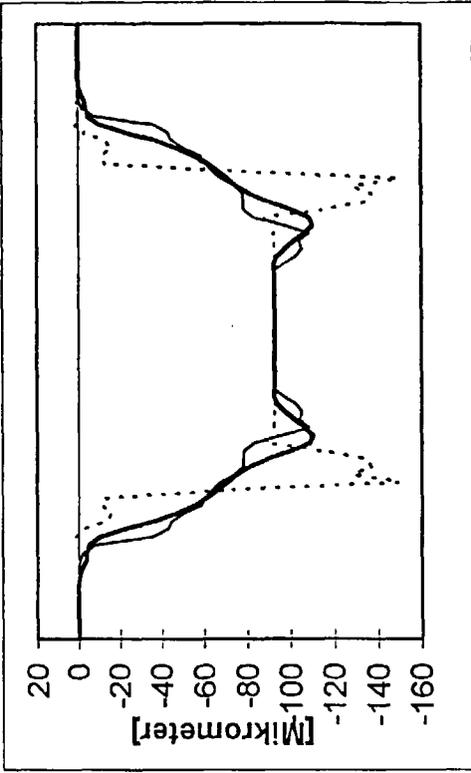


Fig. 1a

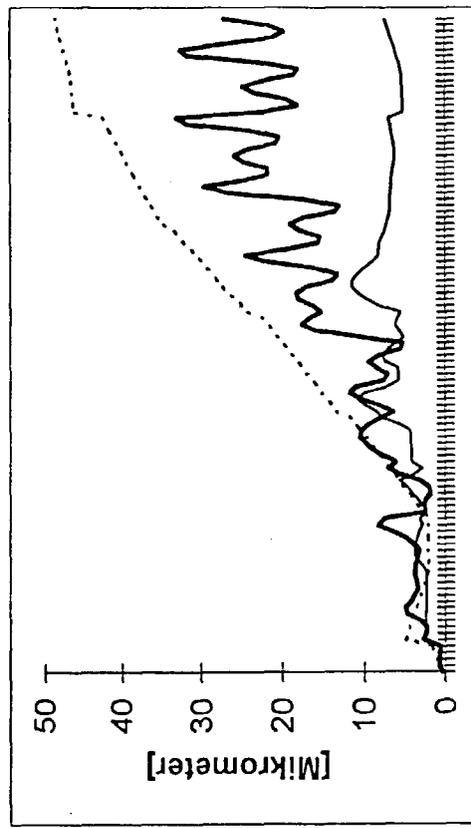


Fig. 1b

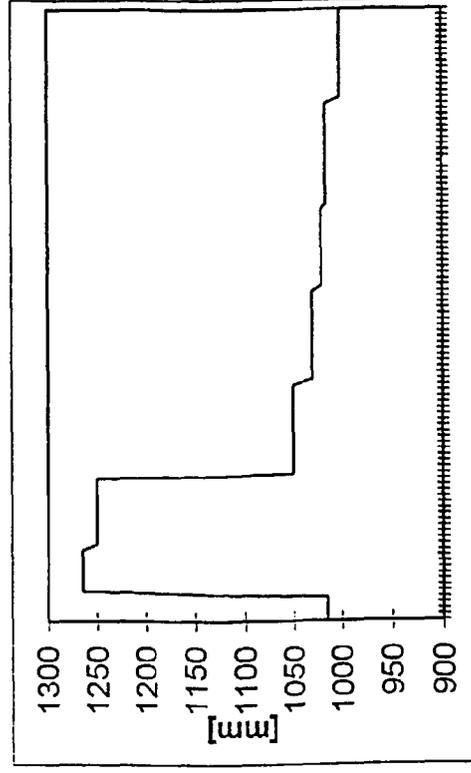


Fig. 1c

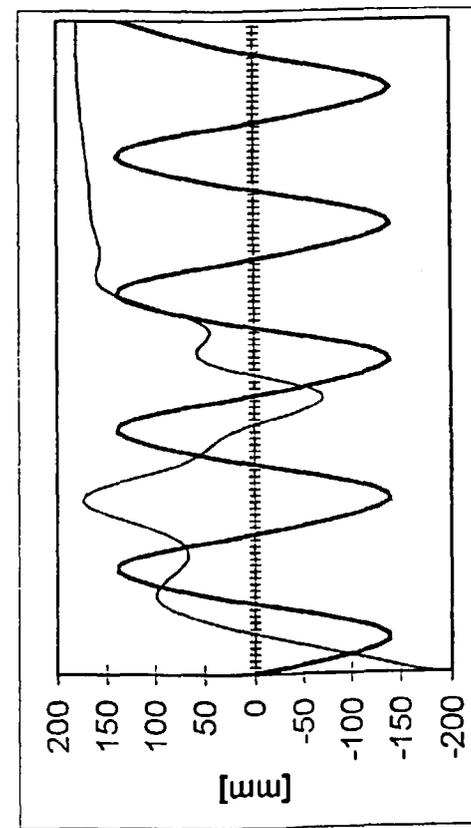


Fig. 1d

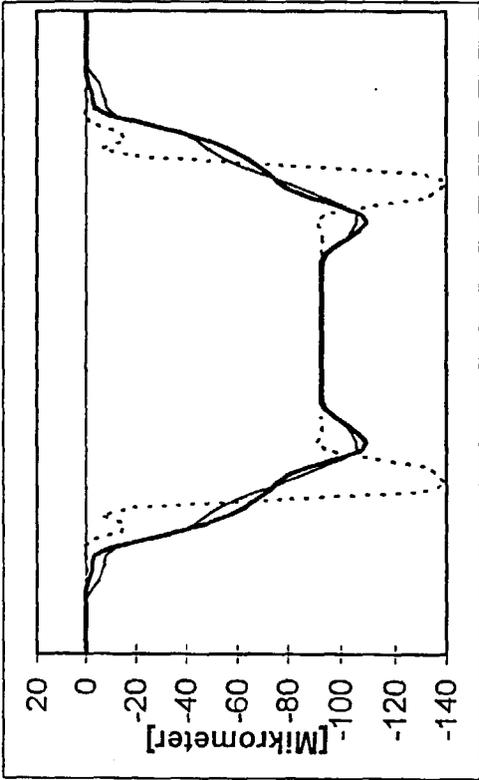


Fig. 2b

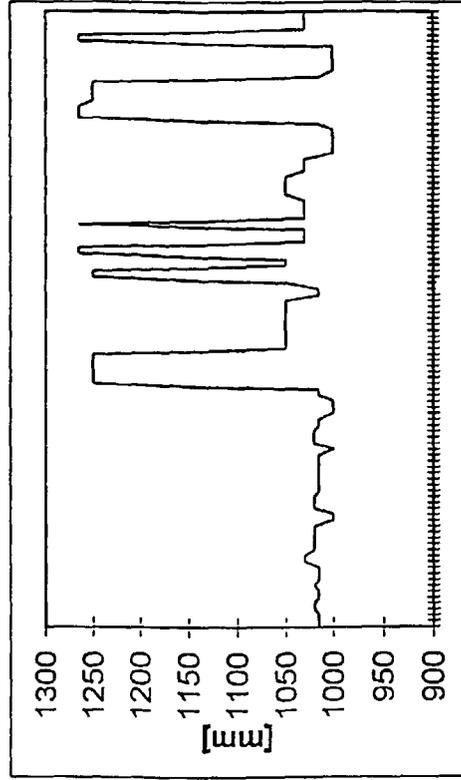


Fig. 2d

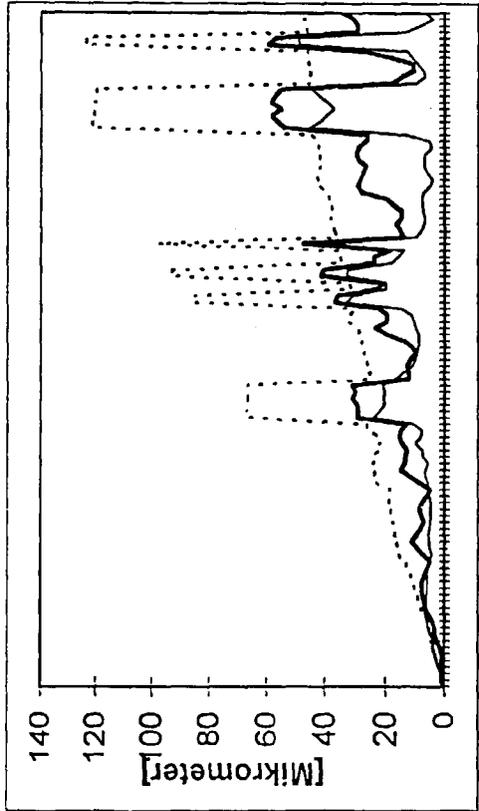


Fig. 2a

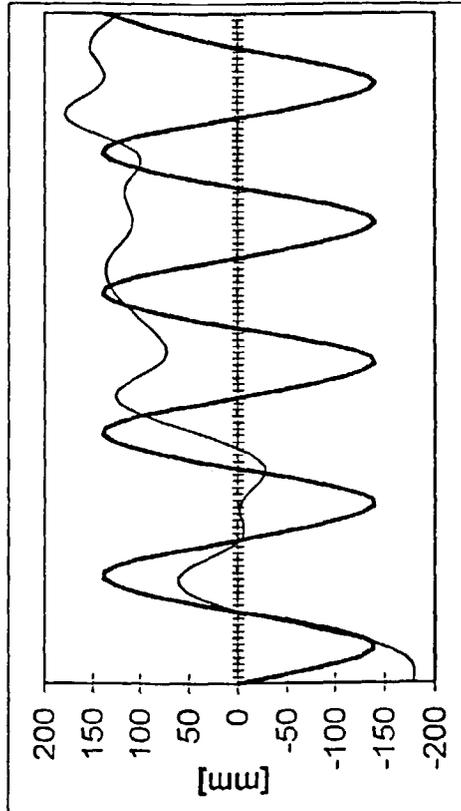


Fig. 2c

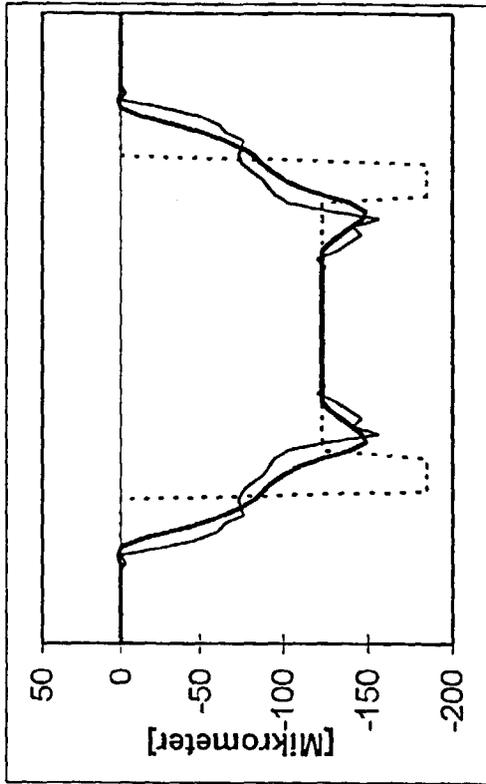


Fig. 3b

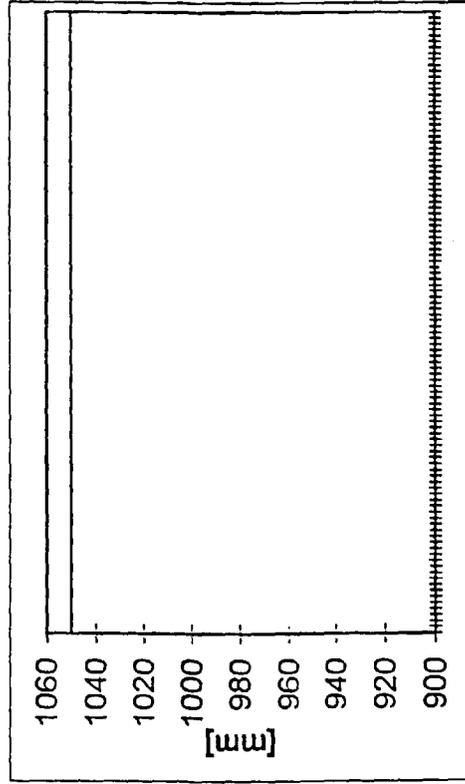


Fig. 3d

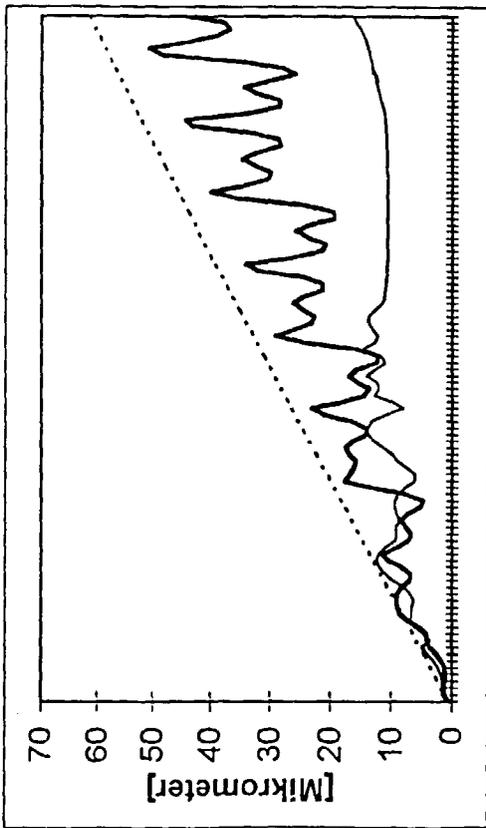


Fig. 3a

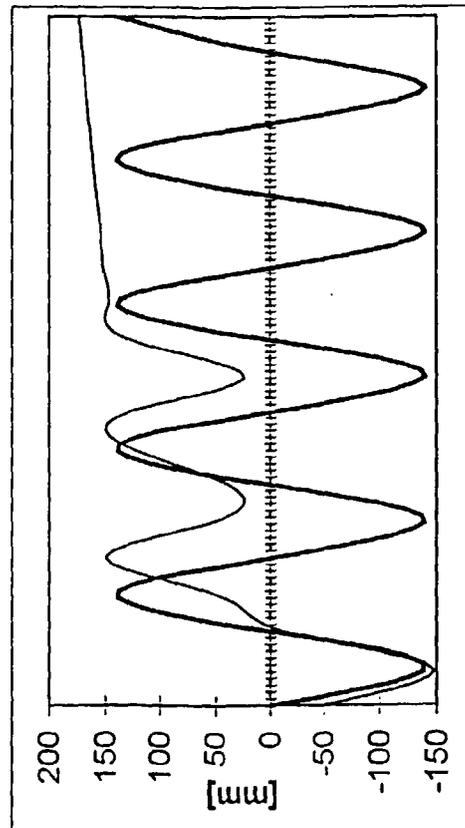


Fig. 3c