



(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(21) Anmeldenummer : **94810016.9**

(51) Int. Cl.⁵ : **B21C 31/00**

(22) Anmeldetag : **14.01.94**

(30) Priorität : **24.02.93 CH 561/93**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung :
21.09.94 Patentblatt 94/38

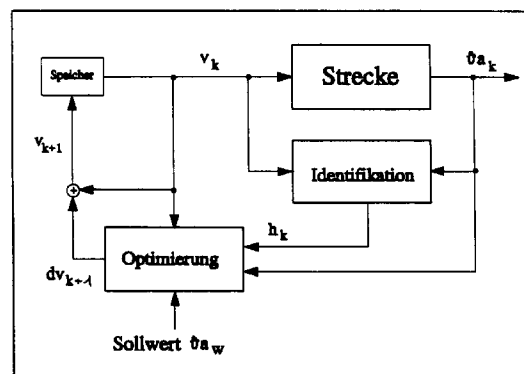
(84) Benannte Vertragsstaaten :
CH DE FR GB IT LI

(71) Anmelder : **ALUSUISSE-LONZA SERVICES Ltd.**
CH-8034 Zürich (CH)

(72) Erfinder : **Pandit, Madhukar**
Casimining 108
D-67663 Kaiserslautern (DE)
Erfinder : **Buchheit, Karlheinz**
Seyweilerstrasse 5
D-66440 Blieskastel (DE)

(54) **Temperaturregelung einer Strangpresse.**

(57) Vorliegendes Verfahren beschreibt die zyklische Regelung von Strangpressen und erlaubt damit die präzise Steuerung einer Strangpresse zur Erreichung eines maximalen Durchsatzes bei gleichzeitig optimaler Qualität der Strangpressprofile. Dazu wird die Pressgeschwindigkeit derart geregelt, dass die Strangaustrittstemperatur möglichst konstant und gleich einem vorgegebenen Sollwertverlauf ist. Dabei wird der Verlauf der Pressgeschwindigkeit und der Strangaustrittstemperatur für jeden Zyklus k erfasst, die Abhängigkeit der Strangaustrittstemperatur von der Pressgeschwindigkeit für den ganzen zeitlichen Verlauf während einem Zyklus k bestimmt, mit Hilfe dieser Abhängigkeit und dem zeitlichen Verlauf der Pressgeschwindigkeit während dem Zyklus k der Verlauf der Pressgeschwindigkeit für den nächsten Zyklus $k+1$ derart bestimmt, dass der Regelfehler und der Stellaufwand möglichst gering werden und nach Beendigung des Presszyklus $k+1$ die entsprechenden Verfahrensschritte in rekursiver Weise für jeden weiteren Presszyklus wiederholt werden bis der gesamte Pressvorgang beendet ist. Das Verfahren eignet sich besonders zur Herstellung von Strangpressprofilen mit kleinem und/oder wellenlängenabhängigem Emissionsgrad und/oder veränderlichen Oberflächencharakteristiken und insbesondere zur Herstellung von Strangpressprofilen aus Aluminium oder Aluminiumlegierungen.



Figur 2: Struktur des Regelsystems

Vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren für die Regelung von Strangpressen und die Verwendung des Verfahrens zur Herstellung von Strangpressprofilen.

Das Strangpressen ist ein bekanntes und vielseitig verwendbares Verfahren zum Herstellen von Profilen mittels Extrudieren von Werkstoffen, wie beispielsweise Metall, Glas oder Kunststoff durch eine Matrize, wobei die Matrizenöffnung einen beinahe beliebigen Querschnitt von kreisrund bis hin zu verwinkelten Mustern mit einem oder mehreren Hohlräumen aufweisen kann.

Eine Strangpressvorrichtung enthält im wesentlichen einen Aufnehmer mit einer zylinderförmigen Ausnehmung beliebigen Querschnittes, der das Pressgut, üblicherweise in Form eines zylinderförmigen Blockes, sowie einen mit einer Pressscheibe versehenen Stempel aufnehmen kann, wobei an der einen Öffnung der zylinderförmigen Ausnehmung des Aufnehmers eine Matrize angebracht werden kann.

Bei der Herstellung von Strangpressprofilen wird das Pressgut in die zylinderförmige Ausnehmung des Aufnehmers geführt und unter Anwendung eines über die Pressscheibe vermittelten hohen axialen Druckes an die Matrize gedrückt, so dass sich das Pressgut unter den gegebenen Temperaturen plastisch verformen kann und somit durch die Matrizenöffnung extrudiert wird.

Beim Strangpressen von kristallinen oder glasartigen Werkstoffen entspricht der Querschnitt der entstehenden Strangpressprofile im wesentlichen dem Querschnitt der Matrizenöffnung. Dies gilt jedoch nicht für das Strangpressen von Polymeren mit strukturviskosen (Abnahme der Viskosität mit zunehmender mechanischer Beanspruchung), entropie-elastischen (Strangaufweitung) und viskoelastischen (zeitabhängige Kopplung der Viskosität und Elastizität) Eigenschaften.

Die plastische Verformbarkeit des Pressgutes und damit die durch die Matrize extrudierte Pressgutmenge pro Zeiteinheit hängt neben der Materialzusammensetzung des Pressgutes und des angewendeten Druckes vorwiegend von der Prozesstemperatur ab. Um bei diesem Warmumformprozess eine möglichst hohe Ausstosseschwindigkeit zu erreichen, wird die Strangaustrittstemperatur möglichst hoch gehalten. Die maximal zulässige Strangaustrittstemperatur liegt einerseits unterhalb der Schmelztemperatur des Pressgutes und ist andererseits durch die Bedingung gegeben, dass sich der aus der Matrizenöffnung austretende Strang im heissen Zustand unter seinem Eigengewicht nicht verformen darf. Des weiteren hat die Strangaustrittstemperatur einen erheblichen Einfluss auf die stofflichen Eigenschaften der Strangpressprofile und damit auf die Produktequalität (Homogenität, mechanische Spannungen usw.). Deshalb besteht auch aus Gründen der Qualitätssicherung ein erhebliches Interesse, die Strangaustrittstemperatur definiert vorzugeben und während dem Prozess konstant zu halten. Ein solches Verfahren mit einer vordefinierten und konstant gehaltenen Strangaustrittstemperatur wird als isothermes Strangpressen bezeichnet.

Die Bilanz des Energie-Haushaltes ergibt sich aus der Differenz aller zugeführten Energie (mechanische Arbeit und Wärme) und der abgeführten Energie (plastische Verformung, Wärmeleitung). Dabei bezieht sich der für den Warmumformprozess wesentliche Energie-Haushalt auf den Teil des Pressgutblockes, der plastisch verformt wird. Die resultierende Temperatur der Profile beim Austritt aus der Matrize kann beispielsweise durch die Vorheiztemperatur der Pressgutblöcke oder Barren und die Prozessgeschwindigkeit gezielt beeinflusst werden.

Die praktische Realisierung des isothermen Strangpressens bedingt jedoch die vollständige Kenntnis und Beherrschung aller Prozessparameter und insbesondere sämtlicher thermischer Prozessgrößen, weswegen dieses Verfahren mit erheblichen, technologisch unzureichend gelösten Problemen verbunden ist. Solche Probleme können durch Anwendung bekannter Methoden der Regelungstechnik wie beispielsweise das simulierte bzw. geregelte isotherme Strangpressen verhindert werden.

Beim simulierten Strangpressen wird die Strangaustrittstemperatur mittels einem Simulationsmodell vorausberechnet, wobei die Pressgeschwindigkeit der regelungstechnisch relevante Prozessparameter darstellt. Der Strangpressprozess stellt jedoch ein kompliziertes thermomechanisches System mit vielen nicht leicht kontrollierbaren Parametern dar, so dass der Gesamtprozess des Strangpressens analytisch nicht vollständig und mit numerischen Methoden nur ungenau beschrieben werden kann. Deshalb eignet sich dieses Verfahren für die Regelung einer Strangpresse nicht.

Beim geregelten Strangpressen wird das Herstellen und Aufrechterhalten der als Regelgrösse bezeichneten Strangaustrittstemperatur mittels einem geschlossenen Regelkreis erreicht, der durch permanenten Vergleich von Soll- und Ist-Wert der Regelgrösse, die zur Korrektur notwendige Pressgeschwindigkeit als Stellgrösse berechnet. Zur Messung der Strangaustrittstemperatur werden dabei üblicherweise Strahlungspyrometer eingesetzt.

Die pyrometrische Temperaturmessung geschieht dabei unter Ausnutzung der Planck'schen Strahlungsgesetze, die jedoch nur für ideale schwarze Körper gelten. Kennt man die Gesamtenergie der ausgesandten Strahlung, so kann aus der Messung der Energie eines gewissen Spektralbereichs unter Zuhilfenahme der Planck'schen Strahlungsgesetze die Temperatur berechnet werden, die der Körper hätte, wenn er ein schwarzer Körper wäre. Da die meisten Körper nicht ideal schwarz sind, ist die wahre Temperatur höher als die auf

diese Weise errechnete. Um die Temperatur eines realen Körpers zu bestimmen, muss die Emissivität, d.h. das Strahlungsvermögen des betrachteten Körpers, bekannt sein. Die Emissivität eines opaken Körpers wird durch den Quotienten der emittierten Strahlung des Körpers und der Strahlung eines schwarzen Körpers mit derselben Temperatur definiert. Die Emissivität kann physikalisch durch einen auf die Planck'schen Strahlungsgesetze multiplikativ wirkenden Emissionsgrad ε beschrieben werden. Ein idealer schwarzer Körper hat den Emissionsgrad ε gleich eins.

Die kontaktlose, pyrometrische Temperaturmessung führt jedoch an Materialien mit kleinem und/oder wellenlängenabhängigem Emissionsgrad ($\varepsilon < 0,1$) und/oder veränderlichen Oberflächencharakteristiken, wie beispielsweise an Materialien aus Aluminium oder Aluminiumlegierungen oft zu einer ungenauen Temperaturbestimmung. Deshalb eignet sich das geregelte Strangpressen für solche Materialien nicht.

In der DE-OS 34 04 054 wird eine Strasse zum isothermen Pressen beschrieben, deren Steuersystem innerhalb eines Loses stets die gleiche Pressgeschwindigkeitskurve $v(t)$ gemäss der Beziehung

$$v(t) = v_1 + (v_0 - v_1) \exp(-At)$$

vorgibt, so dass das isotherme Pressverfahren innerhalb eines Loses ohne Rückkopplung zum tatsächlich gemessenen Temperaturverlauf geschieht. Dabei bedeuten v_0 und v_1 die Anfangspressgeschwindigkeit bzw. die Pressgeschwindigkeit in der stationären Stufe des Pressvorganges und A ein Parameter, der von den mechanischen Eigenschaften des Pressgutes (Rohling), wie beispielsweise der Streckgrenze, abhängt und zu Beginn des Loses aus gemessenen metallurgischen Werten bestimmt wird. Für die Berechnung von v_0 und v_1 wird ein stark vereinfachtes Modell der Strangpresse gemäss der Beziehung

$$\theta(t) = \theta_1 - (\theta_1 - \theta_2) \exp(-Bt)$$

zugrunde gelegt, wobei $\theta(t)$ die zeitabhängige Strangaustrittstemperatur, θ_1 die Temperatur des Pressteils in der stationären Stufe des Pressvorganges, θ_2 die Temperatur des Rohlings und B ein Parameter, der von den mechanischen Eigenschaften des Rohlings abhängt, bedeuten.

Ein Nachteil des in der DE-OS 34 04 054 beschriebenen Steuerungsverfahrens besteht in der fest vorgeschriebenen Struktur der Steuerfunktion, die sich aus einer Exponentialstruktur und einer konstanten Funktion zusammensetzt. Eine derartige Kurvenform ist zum Erzielen einer konstanten Profilaustrittstemperatur oft nicht geeignet. Zudem können Veränderungen des thermischen Haushaltes der Strangpresse, wie beispielsweise Veränderungen der Rezipiententemperatur, der Werkzeugtemperatur oder der Barrentemperatur, innerhalb eines Loses mit diesem Verfahren nicht berücksichtigt werden. Das durch die Beziehung von $\theta(t)$ definierte Modell der Strangpresse setzt sich aus einem Gleichantrieb und einer Exponentialfunktion zusammen und gibt den komplexen Wärmehaushalt einer Strangpresse nur stark vereinfacht wieder.

Aufgabe vorliegender Erfindung ist es, ein Verfahren zu schaffen, das obige Nachteile überwindet und die präzise Steuerung einer Strangpresse zur Erreichung eines maximalen Durchsatzes bei gleichzeitig optimaler Qualität der Strangpressprofile erlaubt.

Erfindungsgemäss wird dies dadurch erreicht, dass die Pressgeschwindigkeit $v(t)$ von Strangpressen derart geregelt wird, dass die Strangaustrittstemperatur $\theta_a(t)$ möglichst konstant und gleich einem vorgegebenen Sollwertverlauf $\theta_{a_w}(t)$ ist und

a) die Temperaturregelung zyklisch erfolgt;

b) der zeitliche Verlauf der Pressgeschwindigkeit $v_k(t)$ und der Strangaustrittstemperatur $\theta_{a_k}(t)$ während jedem Zyklus k erfasst wird;

c) die Abhängigkeit der Strangaustrittstemperatur $\theta_{a_k}(t)$ von der Pressgeschwindigkeit $v_k(t)$ während des ganzen Zyklus k bestimmt wird;

d) mit Hilfe dieser Abhängigkeit und dem zeitlichen Verlauf von $v_k(t)$ der Verlauf der Pressgeschwindigkeit $v_{k+1}(t)$ für den nächsten Zyklus $k+1$ derart bestimmt wird, dass der Regelfehler

$$(1) \quad e_{k+1}(t) = \theta_{a_w}(t) - \theta_{a_{k+1}}(t)$$

und der Stellaufwand

$$(2) \quad dv_{k+1}(t) = v_{k+1}(t) - v_k(t)$$

möglichst gering werden, wobei der Sollwertverlauf $\theta_{a_w}(t)$ für jeden Zyklus k definiert werden kann;

e) Stellgrössenbeschränkungen $v_{\min,k} < v_k(t) \leq v_{\max,k}$ berücksichtigt werden können;

f) die Pressgeschwindigkeit $v_{k+1}(t)$ vor Beginn des Presszyklus $k+1$ berechnet wird;

g) $v_{k+1}(t)$ während dem Presszyklus $k+1$ nicht verändert wird;

h) nach Beendigung des Presszyklus $k+1$ die Verfahrensschritte b) - g) in rekursiver Weise für jeden weiteren Presszyklus wiederholt werden bis der Pressvorgang beendet ist.

Mit dem erfindungsgemässen Verfahren wird ein Verfahren beschrieben, welches eine beliebige Form der Steuerfunktion zulässt. Um auf Veränderungen des thermischen Haushaltes der Strangpresse reagieren zu können, wird die Steuerkurve nach jedem Barren, d.h. nach jedem Zyklus, korrigiert.

Die Korrektur der Steuerkurve erfolgt erfindungsgemäss auf der Basis eines linearischen Modells für den momentanen Arbeitspunkt der Strangpresse. Die Parameter des linearisierten Modells werden nach jedem

Barren neu bestimmt.

Das erfindungsgemässe Verfahren ist somit in der Lage, Modellfehler durch die ständige Korrektur der Steuerkurve zu kompensieren und erlaubt auch eine korrektive Reaktion auf Veränderungen des thermischen Haushaltes der Strangpresse.

5 Die zyklische Regelung mit Adaption gemäss dem erfindungsgemässen Verfahren kann sich auf alle Betriebsfälle einer Strangpresse einstellen und führt damit zu einer deutlichen Steigerung der mittleren Pressgeschwindigkeit.

Das erfindungsgemässe Verfahren unterscheidet sich von den bekannten Festwertregelungen dadurch, dass nicht wie bei einem geschlossenen Regelkreis nur der lokale Arbeitspunkt, sondern stets der gesamte Zyklus optimiert wird. Wegen der Zyklizität, d.h. der repetitiven Natur des Regelprozesses, wird die Erfahrung aus einem Zyklus k für die Generierung der Pressgeschwindigkeitskurve $k+1$ verwendet, womit eine Rückkopplung von einem auf den anderen Zyklus vorhanden ist. Damit ist dieses Regelverfahren weniger störanfällig auf die pyrometrische Messung der Strangaustrittstemperatur und eignet sich bevorzugt für die Temperaturregelung von Strangpressen zur Herstellung von Strangpressprofilen mit kleinem und/oder wellenlängenabhängigem Emissionsgrad ($\varepsilon < 0,1$) und/oder veränderlichen Oberflächencharakteristiken und somit insbesondere für die Herstellung von Strangpressprofilen aus Aluminium oder Aluminiumlegierungen.

Beim Strangpressen von Aluminium oder dessen Legierungen wird das Pressgut in einem Ofen auf eine Temperatur von 400 bis 500 °C aufgeheizt und anschliessend in einen Aufnehmer oder Rezipienten geladen. Dieser ist einseitig von einer Matrize verschlossen, deren Öffnung oder Durchbruch dem Querschnitt des entstehenden Profilstranges entspricht. Von der der Matrize gegenüberliegenden Seite des Pressgutes wird mit einem Stempel unter Einwirkung eines hohen Druckes von mehr als 10 MN (Mega Newton) der Pressgutblock bis auf einen kleinen Rest durch die Matrize gedrückt. Nach Beendigung eines Zyklus wird ein neuer Block in den Rezipienten geladen und der Prozessvorgang kann wiederholt werden.

Zur Verdeutlichung des Strangpressprozesses zeigt Figur 1 die für den Pressbetrieb wesentlichen Komponenten einer Strangpresse sowie die während dem Prozess auftretenden Wärmeflüsse.

Unter regelungstechnischen Gesichtspunkten gilt für eine Strangpresse mit einem Strahlungs-pyrometer als Messgerät für die Regelgrösse folgendes Systemverhalten:

- Die Sollwertkurve der Strangaustrittstemperatur $\theta_{a,w}(t)$ ist vor Beginn eines Zyklus bekannt.
- Die Dauer eines Zyklus T_{Zyk} hat stets die gleiche Grössenordnung, wobei die Zyklusdauer T_{Zyk} je nach Maschinentyp, Werkzeug und Legierung zwischen 60 bis 1000 s variieren kann. Bei der Verwendung derselben Maschine, desselben Werkzeugs und derselben Legierung ist die Systemänderung während eines Zyklus jedoch im wesentlichen auf $\pm 20\%$ beschränkt.
- Das thermische Systemverhalten ist nur langsam zeitveränderlich und wird im wesentlichen durch den Rezipienten bestimmt, dessen thermische Zeitkonstante typischerweise zwischen 3 und 5 Stunden beträgt.
- Der Prozess ist nicht linear und mit analytischen Methoden kaum beschreibbar.
- Das Prozessverhalten ist determiniert, d.h. relevante Prozessparameter wie beispielsweise die Rezipienten-, Werkzeug- oder Blocktemperatur oder die geometrischen Abmessungen des Rezipienten bzw. Werkzeuges ändern sich nicht willkürlich; somit unterliegt der Prozess keinen stochastischen Parameterschwankungen und ist stets reproduzierbar.
- Jeder Zyklus hat denselben Anfangszustand.
- Die hier betrachtete Stellgrösse des Prozesses (Pressgeschwindigkeit) ist betragsmässig begrenzt und nicht beliebig schnell veränderbar.
- Die Erfassung der Regelgrösse (Strangaustrittstemperatur θ_a) ist mit erheblichen Fehlern, Messstörungen und mit einer Totzeit (verzögerte Reaktion) behaftet, weswegen eine offline-Verarbeitung der Messsignale vorteilhaft ist. Im Gegensatz zu einer online-Verarbeitung der Messwerte, bei der die Auswertung der gemessenen Grössen während dem Pressvorgang vorgenommen wird, geschieht die Verarbeitung der Messgrössen beim offline-Verfahren in der Nebenzeit zwischen zwei Presszyklen.

Die Struktur des erfindungsgemässen Verfahrens wird durch das in Figur 2 dargestellte Wirkungsschaltbild verdeutlicht, welches eine zyklische Regeleinrichtung darstellt, die das Herstellen und Aufrechterhalten einer möglichst konstanten und einem vorgegebenen Sollwertverlauf $\theta_{a,w}(t)$ entsprechenden Strangaustrittstemperatur $\theta_a(t)$ ermöglicht. Die Regeleinrichtung ist dabei der beeinflussende Teil und die Regelstrecke der beeinflusste Teil des Regelkreises. Nach Ablauf eines Presszyklus wird aus dem Verlauf der Pressgeschwindigkeit $v_k(t)$ und der Austrittstemperatur $\theta_{a,k}(t)$ die Stellgrösse berechnet. Dies geschieht durch Identifikation oder Berechnung einer Sprungantwort $h_k(t)$ der Regelstrecke, wobei $0 \leq t \leq T_{Zyk}$.

Unter Identifikation wird allgemein die Berechnung bzw. Abschätzung von Parametern eines vorgegebenen Gleichungssystems verstanden wie dies beispielsweise für die Bestimmung der Koeffizienten von Differentialgleichungen oder zur Berechnung von Stützstellen der nachfolgend vorgeschlagenen Sprungantwort

benützt wird. In einem Optimierungsverfahren wird dann aus der Sprungantwort $h_k(t)$ und dem Regelfehler $e_k(t)$ eine Korrekturkurve oder Korrekturtrajektorie dv_{k+1} berechnet und zur Bahnkurve $v_k(t)$ hinzuaddiert. Die so entstehende Kurve $v_{k+1}(t)$ wird in einem Speicher abgelegt, aus dem sie während dem nächsten Zyklus abgerufen werden kann.

Das erfindungsgemässe Verfahren erleichtert die Unterdrückung von Messstörungen, da im Gegensatz zu den bekannten Regelungen leistungsfähige, nichtkausale Filter eingesetzt werden können. Dabei ist der Ausgangswert $y(t_0)$ eines nichtkausalen Filters zu einem Zeitpunkt t_0 nicht nur - wie bei einem kausalen Filter - von Eingangswerten $x(t_0 - \Delta t)$ mit $\Delta t > 0$, sondern auch von Eingangswerten $x(t_0 + \Delta t)$ abhängig. Damit führt das erfindungsgemässe Verfahren trotz schwierigen Randbedingungen zu einem sicheren und bezüglich der Messwerte robusten Regelsystem.

Aufgrund der thermischen Trägheit der Strangpresse sind die Systemveränderungen, wie beispielsweise die Werkzeug-, Rezipienten-, Block- oder Stempeltemperatur aufeinanderfolgender Zyklen vernachlässigbar klein, wodurch die zyklische Regelung solchen Veränderungen schnell genug folgen kann, so dass ein optimaler Prozessverlauf gewährleistet ist. Zudem trägt die Identifikation der Regelstrecke zur Erhöhung der Konvergenzgeschwindigkeit bei, so dass bereits nach wenigen Zyklen der stationäre Presszustand erreicht wird.

Die Erfassung und Verarbeitung der Messgrössen geschieht üblicherweise mittels Datenerfassungsgeräten mit beschränkter Rechenkapazität, wie beispielsweise Mikrorechnern. Um den Rechenaufwand für die zyklische Regelung zu beschränken, werden deshalb die Zeitfunktionen (Strangaustrittstemperatur, Pressgeschwindigkeit) diskret abgetastet.

Eine Möglichkeit, das erfindungsgemässe Verfahren zweckmässig durchzuführen, besteht darin, dass

a) das kontinuierliche Zeitverhalten in diskrete Zeitintervalle T_A

$$(3) \quad t = i * T_A, i = 0, 1, 2, \dots$$

unterteilt wird;

b) finite Zustandsänderungen für die Pressgeschwindigkeit und die Strangaustrittstemperatur verwendet werden;

c) zur Begrenzung des Rechenaufwandes und zur Dämpfung des Regelsystems der Verlauf der Pressgeschwindigkeit nicht zu jedem beliebigen Zeitpunkt veränderbar ist, sondern abschnittsweise während einem Zeitintervall j von der Dauer $m * T_A$ konstant ist, wobei $j = 0, 1, 2, \dots, n-1, n$ und m eine natürliche Zahl ist, so dass für jeden Zyklus gilt: $i = 0, 1, 2, \dots, n * m - 1$;

d) der Pressgeschwindigkeitsverlauf nach Gleichung (4) durch Elementarfunktionen dargestellt wird

$$(4) \quad v_k(i * T_A) = \sum_{j=0}^{n-1} \Delta v_{k,j} * \sigma((i - j * m) * T_A)$$

wobei mit $\sigma(i * T_A)$ die Heaviside oder Einheitssprungfunktion

$$(5) \quad \sigma(i * T_A) = \begin{cases} 1 & \text{für } i \geq 0 \\ 0 & \text{sonst} \end{cases}$$

und

$$(6) \quad \Delta v_{k,j} = v_k(j * m * T_A) - v_k((j - 1) * m * T_A) \text{ mit } j = 0, 1, 2, \dots, n - 1$$

die Sprunghöhen des Pressgeschwindigkeitsverlaufes für den Zeitpunkt $j * m * T_A$ bezeichnen;

e) unter der Voraussetzung von Linearität und Zeitinvarianz, Annahmen, die in der Umgebung der Arbeitstrajektorien zulässig sind, die Strangaustrittstemperatur nach Gleichung (7) dargestellt wird:

$$(7) \quad \theta a_k(i * T_A) = \sum_{j=0}^{n-1} \Delta v_{k,j} * h_k((i - j * m) * T_A),$$

wobei $h(i * T_A)$ die Reaktion der Strangpresse auf einen Einheitssprung $\sigma(i * T_A)$ ist;

f) durch Invertierung von Gleichung (7) und nach Messung der Verläufe $\theta a_k(i * T_A)$ und $v_k(i * T_A)$ die Sprungantwort $h(i * T_A)$ identifiziert wird

$$(8) \quad h_k(i * T_A) = \frac{1}{\Delta v_{k,0}} * \left[\theta a_k(i * T_A) - \sum_{j=0}^1 \Delta v_{k,j} * h_k((i-j*m) * T_A) \right]$$

5

für $l*m \leq i < (l+1)*m$, wobei wegen der Kausalität des Systems

$$(9) \quad h_k(i * T_A) = 0 \text{ für } i < 0;$$

g) der Verlauf der Pressgeschwindigkeitskurve $v_{k+1}(i * T_A)$ aus dem rekursiven Regelgesetz (10) gebildet wird:

10

$$(10) \quad v_{k+1}(i * T_A) = v_k(i * T_A) + dv_{k+1}(i * T_A)$$

und

$$(11) \quad \theta a_{k+1}(i * T_A) = \theta a_k(i * T_A) + d\theta a_{k+1}(i * T_A)$$

gilt;

h) durch Minimierung der Gütefunktion Q

15

$$(12) \quad \text{Min}_{\Delta dv_{k+1,j}} \left\{ Q = \frac{\lambda}{n} * \sum_{j=0}^{n-1} (\Delta dv_{k+1,j})^2 + \frac{1}{n*m} * \sum_{i=0}^{n*m-1} [e_k(i * T_A) - d\theta a_{k+1}(i * T_A)]^2 \right\}$$

20

bezüglich der Stellgrössensprünge $\Delta dv_{k+1,j}$ der optimale Pressgeschwindigkeitsverlauf gefunden wird, wobei λ eine frei wählbare Gewichtung beschreibt und

$$(13) \quad e_k(i * T_A) = \theta a_w(i * T_A) - \theta a_k(i * T_A)$$

25

der gemessene Regelfehler aus dem gerade vergangenen Zyklus k und

$$(14) \quad d\theta a_{k+1}(i * T_A) = \sum_{j=0}^n \Delta dv_{k+1,j} * h_k((i-j*m) * T_A)$$

30

die durch Einwirkung von $\Delta dv_{k+1,j}$ vorausberechnete Änderung des Temperaturverlaufes $d\theta a_{k+1}(i * T_A)$ ist; und

i) Stellgrössenbeschränkungen von der Form

35

$$(15) \quad \sum_{r=0}^j \Delta v_{k,r} \leq v_{\max,j} \quad j=0,1,2,\dots,n-1$$

40

$$(16) \quad \sum_{r=0}^j \Delta v_{k,r} \leq v_{\min,j} \quad j=0,1,2,\dots,n-1$$

45

berücksichtigt werden können.

Eine schematische Darstellung des Pressgeschwindigkeitsverlaufes eines Presszyklus k findet sich in Figur 3. Der Zähler i stellt dabei den Index der diskreten Zeitintervalle T_A dar und j den Zählindex für die Stellgrösse $v(t)$, welche jeweils während mindestens der Dauer $m * T_A$ konstant ist, und die Änderung der Stellgrösse mit ΔV_j bezeichnet wird.

50

Unter der Voraussetzung von Zeitinvarianz gilt für ein System, das auf einen beliebigen Eingangsverlauf einer Systemgrösse $x(t)$ mit einem Ausgangsverlauf $y(t)$ reagiert, der Verlauf der Ausgangsgrösse

$$y^*(t) = y(t + \tau) \text{ für } x^*(t) = x(t + \tau).$$

55

Die Zeitinvarianz des hier betrachteten Systems ergibt sich aus der Konstanz der Parameter. Somit kann unter der Voraussetzung von Linearität und Zeitinvarianz in der Umgebung der Arbeitstrajektorien oder Bahnkurve $v_k(t)$ und $\theta_k(t)$, d.h. in der Umgebung

$$(17) \quad v_{k+1}(t) = v_k(t) + dv_{k+1}(t)$$

$$(18) \quad \theta_{k+1}(t) = \theta_k(t) + d\theta_{k+1}(t),$$

die Strangaustrittstemperatur durch Gleichung (7) dargestellt werden. Dies obwohl das Systemverhalten der Strangpresse im Prinzip nichtlinear ist; für kleine Änderungen der Stellgrösse $V_k(t)$ jedoch näherungsweise als linear betrachtet werden kann, so dass der Fehler des linearisierten Modells vernachlässigbar gering ist. Das durch Gleichung (7) beschriebene Systemverhalten ergibt durch Invertierung dieser Gleichung, d.h. durch Auflösung von Gleichung (7) nach $h_k(i \cdot T_A)$, das lineare Gleichungssystem (8), womit nach Messung der Verläufe $\theta_{a_k}(i \cdot T_A)$ und $v_k(i \cdot T_A)$ die Sprungantwort $h_k(i \cdot T_A)$ identifiziert werden kann. Der Wert l in Gleichung (8) kann auch durch $(n \cdot m - 1)$ ersetzt werden, da die Summanden für $j > l$ identisch Null sind. Wegen der Kausalität des Systems, d.h. das System reagiert gemäss Gleichung (9) auf eine Änderung der Pressgeschwindigkeit erst nachdem diese Änderung stattgefunden hat, kann der Verlauf der Pressgeschwindigkeitskurve $v_{k+1}(i \cdot T_A)$ bzw. der Strangaustrittstemperatur $\theta_{a_{k+1}}(i \cdot T_A)$ nach dem rekursiven Regelgesetz (10) bzw. (11) berechnet werden.

Die gesuchte Grösse ist somit der Stellwertverlauf $v_{k+1}(t)$ für den Presszyklus $k+1$, wobei der Verlauf $v_k(t)$ aus dem vorherigen Zyklus bekannt ist, so dass $dv_{k+1}(t)$ mittels der Gleichungen (4) und (10) gemäss Gleichung (19) dargestellt werden kann.

$$(19) \quad dv_{k+1}(i \cdot T_A) = \sum_{j=0}^{n-1} \Delta dv_{k+1,j} \cdot \sigma((i-j \cdot m) \cdot T_A)$$

Die gemittelten Veränderungen der Stell- und Regelgrössen werden somit durch die Gütefunktion Q gemäss Gleichung (12) beschrieben, welche entsprechend dem erfindungsgemässen Verfahren minimiert werden soll.

Typische Werte der Parameter für das erfindungsgemässe Verfahren liegen für T_{Zyk} zwischen 60 und 1000 s, für T_a zwischen 0,5 und 3 s, für m zwischen 10 und 20 und diejenigen für n zwischen 10 und 15. Der Wert für den Gewichtungsfaktor λ liegt typischerweise bei $0,05 \cdot m \cdot h((n \cdot m - 1) \cdot T_A)$, wobei $h((n \cdot m - 1) \cdot T_A)$ der stationäre Endwert der Streckensprungantwort bedeutet.

Wenn keine Pressgeschwindigkeitsbeschränkungen gelten, kann die Minimierung der Gütefunktion Q in Gleichung (12) mittels dem Gradienten-, dem konjugierten Gradienten-, dem Quasi-Newton-, dem Newton-Raphson- oder dem Newton-Verfahren durchgeführt werden.

Wenn hingegen Stellgrössenbeschränkungen für die Pressgeschwindigkeit gelten, kann die Minimierung der Gütefunktion Q in Gleichung (12) bevorzugt durch Verwendung des Kuhn-Tucker-Verfahrens durchgeführt werden.

Die Gütefunktion in Gleichung (12) kann in erfindungsgemässen Verfahren auch durch die Betragsgütefunktion (20) ersetzt werden:

$$(20) \quad Q = \lambda \cdot \sum_{j=0}^{n-1} |\Delta dv_{k+1,j}| + \sum_{i=0}^{n \cdot m - 1} |e_k(i \cdot T_A) - d\theta_{a_{k+1}}(i \cdot T_A)|$$

oder durch eine der beiden folgenden gewichteten Gütefunktionen:

$$(21) \quad Q = \sum_{j=0}^{n-1} \lambda_j \cdot (\Delta dv_{k+1,j})^2 + \sum_{i=0}^{n \cdot m - 1} \mu_i \cdot |e_k(i \cdot T_A) - d\theta_{a_{k+1}}(i \cdot T_A)|^2$$

$$(22) \quad Q = \sum_{j=0}^{n-1} \lambda_j \cdot |\Delta dv_{k+1,j}| + \sum_{i=0}^{n \cdot m - 1} \mu_i \cdot |e_k(i \cdot T_A) - d\theta_{a_{k+1}}(i \cdot T_A)|$$

wobei λ_j bzw. μ_i Gewichtungsfaktoren darstellen, die vorgängig für jedes Zeitintervall j definiert werden müssen.

Der Gewichtungsfaktor λ in Gleichung (20) weist typischerweise einen Wert in der Grössenordnung von $\lambda \approx 0,1 \cdot m \cdot h((n \cdot m - 1) \cdot T_A)$ auf. Die Werte der Gewichtungsfaktoren λ_j und μ_i in Gleichung (21) betragen typischerweise

$$\mu_1 \approx \frac{1}{n \cdot m} \cdot i$$

bzw. $\lambda_j \approx 0,05 \cdot \mu_{(j \cdot m)} \cdot h((n \cdot m - 1) \cdot T_A)$ und diejenigen für Gleichung (22), beispielsweise $\mu_i \approx \frac{1}{n \cdot m} \cdot i$ bzw. $\lambda_j \approx 0,1 \cdot \mu_{(j \cdot m)} \cdot h((n \cdot m - 1) \cdot T_A)$

Die direkte Berechnung der Sprungantwort nach Gleichung (8), kann zur Erreichung besser dämpfender Eigenschaften bei starken Messstörungen, durch ein Fehlerminimierungsverfahren ersetzt werden, wobei a) eine durch Gleichung (23) definierte Streckenimpulsantwort $g_k(i \cdot T_A)$, d.h. die Reaktion der Strecke auf einen Impuls nach Gleichung (24), eingeführt wird:

$$(23) \quad \theta_k(i \cdot T_A) = \sum_{r=0}^i v_k(r \cdot T_A) \cdot g_k((i-r) \cdot T_A)$$

$$(24) \quad \delta(i \cdot T_A) = \begin{cases} 1 & \text{für } i=0 \\ 0 & \text{sonst} \end{cases}$$

b) bei der Identifikation zur Begrenzung der Freiheitsgrade nur die ersten N-Werte berücksichtigt werden, so dass für $g_k(i \cdot T_A)$ gilt:

$$(25) \quad g_k(i \cdot T_A) = \begin{cases} \neq 0 & \text{für } 0 \leq i \leq N-1 \\ 0 & \text{sonst} \end{cases}$$

c) die bezüglich der Impulsantwort $g_k(i \cdot T_A)$ zu minimierende Gütefunktion F somit folgende Gestalt annimmt:

$$(26) \quad F = \sum_{i=0}^{n \cdot m - 1} \left[\theta a_k(i \cdot T_A) - \sum_{r=0}^i v_k(r \cdot T_A) \cdot g_k((i-r) \cdot T_A) \right]^2 + \sum_{s=0}^{N-1} [g_k(s \cdot T_A) - g_k((s-1) \cdot T_A)]^2$$

und
d) die Sprungantwort gemäss

$$(27) \quad h_k(i \cdot T_A) = \sum_{r=0}^i g_k(r \cdot T_A)$$

aus dem numerischen Integral der Impulsantwort hervorgeht.

Die Identifikation von Gleichung (23) ist in Gleichung (26) formuliert. Damit wird $g_k(i \cdot T_A)$ so bestimmt, dass der Modellfehler möglichst klein und die Kurve $g_k(i \cdot T_A)$ möglichst glatt wird. Die in Gleichung (26) formulierte Gütefunktion F dient somit zur Identifikation der Funktion $g_k(i \cdot T_A)$ und weist keinen Bezug zur Gütefunktion Q auf, wobei letztere unverändert erhalten bleibt.

Der Wert des Parameters N liegt typischerweise bei $N \approx 100-150$, wobei er jedoch maximal den Wert $n \cdot m$ -

1 annehmen kann.

Die Bestimmung der Sprungantwort kann auch über ein Fehlerminimierungsverfahren im Frequenzbereich (z-Bereich) gefunden werden, wobei

a) die Streckenübertragungsfunktion im z-Bereich gemäss Gleichung (28) gegeben ist

5

$$(28) \quad G_s(z) = \frac{\Theta(z)}{V(z)} = \frac{\sum_{r=1}^N b_r \cdot z^{(-r)}}{1 + \sum_{s=0}^N a_s \cdot z^{(-s)}},$$

15

wobei

$\Theta(z)$ und $V(z)$ die z-Transformierten der zeitdiskreten Funktionen $\theta(i \cdot T_A)$ bzw. $v(i \cdot T_A)$ sind und die Koeffizienten der Übertragungsfunktion a_s und b_r durch Minimierung des quadratischen Modellfehlers bestimmt werden;

20

b) die Rücktransformierte der z-Übertragungsfunktion $G_s(z)$ die Impulsantwort gemäss Gleichung (29) ergibt:

$$(29) \quad g_k(i \cdot T_A) = \Gamma^{-1} [G_{s,k}(z)]$$

und

c) die Sprungantwort hiermit nach Gleichung (27) bestimmt wird.

25

Dieses Verfahren dient zur Minimierung des Modellfehlers:

30

$$(30) \quad F = \sum_{i=0}^{n \cdot m - 1} [\theta a_k(i \cdot T_A) - \theta m_k(i \cdot T_A)]^2,$$

wobei $\theta m_k(i \cdot T_A)$ den Modellwert darstellt, so dass

35

$$(31) \quad \theta m_k(i \cdot T_A) + \sum_{s=1}^N a_s \cdot \theta m_k((i-s) \cdot T_A) = \sum_{r=1}^N b_r \cdot v_k((i-r) \cdot T_A)$$

40

und N die Modellordnung bezeichnet, welche für das erfindungsgemässe Verfahren typische Werte von $1 \leq N \leq 5$

annehmen kann. Die in Gleichung (28) mit a_s und b_r bezeichneten Grössen sind die Koeffizienten der Differenzengleichung (31). Die z-transformierten Funktionen $G_s(z)$, $\Theta(z)$ und $V(z)$ in Gleichung (28) sind durch die folgenden Gleichungen (32 - 34) definiert, wobei z die komplexe Frequenz darstellt.

45

$$(32) \quad G_s(z) = \sum_{i=0}^{n \cdot m - 1} g_k(i \cdot T_A) \cdot z^{-i}$$

50

$$(33) \quad \Theta(z) = \sum_{i=0}^{n \cdot m - 1} \theta(i \cdot T_A) \cdot z^{-i}$$

55

$$(34) \quad V(z) = \sum_{i=0}^{n \cdot m - 1} v(i \cdot T_A) \cdot z^{-i}$$

5

Die Rücktransformation bedeutet das Auffinden einer diskreten Funktion im Zeitbereich, die die entsprechende z-Funktion als z-Transformierte hat. Im erfindungsgemässen Verfahren bedeutet die Rücktransformation der z-Übertragungsfunktion $G_s(z)$ somit die Berechnung der Impulsantwort $g_k(i \cdot T_A)$, die gemäss Gleichung (23) definiert ist.

10

Die Messung des Verlaufes der Strangaustrittstemperatur und der Pressgeschwindigkeit sowie deren Auswertung für jeden Presszyklus k und die darauffolgende vorgängige Berechnung des Pressgeschwindigkeitsverlaufes für den nächsten Zyklus $k+1$ führt zum erfindungsgemässen Verfahren, welches gegenüber den bekannten Regelverfahren wesentlich weniger stör anfällig auf die pyrometrische Messung der Strangaustrittstemperatur ist.

15

Das vorliegende Verfahren erlaubt somit die Temperaturregelung von Strangpressen zur Herstellung von Strangpressprofilen mit kleinem und/oder wellenlängenabhängigem Emissionsgrad ($\varepsilon < 0,1$) und/oder veränderlichen Oberflächencharakteristiken. Bevorzugt wird das Verfahren zur Temperaturregelung von Strangpressen für die Herstellung von hochreflektierenden, metallischen Strangpressprofilen verwendet. Das Verfahren eignet sich damit insbesondere für die Herstellung von Strangpressprofilen aus Aluminium oder Aluminiumlegierungen.

20

Das erfindungsgemässe Verfahren erlaubt die präzise Steuerung einer Strangpresse und ermöglicht damit die Erreichung eines maximalen Durchsatzes bei gleichzeitig optimaler Qualität der Strangpressprofile und findet weiter überall dort Verwendung, wo die Verarbeitungs- oder Betriebstemperaturen des Messgutes kritisch sind.

25

Patentansprüche

30 1. Verfahren für die Regelung von Strangpressen, dadurch gekennzeichnet, dass die Pressgeschwindigkeit $v(t)$ derart geregelt wird, dass die Strangaustrittstemperatur $\theta_a(t)$ möglichst konstant und gleich einem vorgegebenen Sollwertverlauf $\theta_{a_w}(t)$ ist, und

35

a) die Temperaturregelung zyklisch erfolgt;

b) der zeitliche Verlauf der Pressgeschwindigkeit $v_k(t)$ und der Strangaustrittstemperatur $\theta_{a_k}(t)$ während jedem Zyklus k erfasst wird;

c) die Abhängigkeit der Strangaustrittstemperatur $\theta_{a_k}(t)$ von der Pressgeschwindigkeit $v_k(t)$ während des ganzen Zyklus k bestimmt wird;

d) mit Hilfe dieser Abhängigkeit und dem zeitlichen Verlauf von $v_k(t)$ der Verlauf der Pressgeschwindigkeit $v_{k+1}(t)$ für den nächsten Zyklus $k+1$ derart bestimmt wird, dass der Regelfehler

40

$$(1) \quad e_{k+1}(t) = \theta_{a_w}(t) - \theta_{a_{k+1}}(t)$$

und der Stellaufwand

$$(2) \quad dv_{k+1}(t) = v_{k+1}(t) - v_k(t)$$

möglichst gering werden, wobei der Sollwertverlauf $\theta_{a_w}(t)$ für jeden Zyklus k definiert werden kann;

e) Stellgrößenbeschränkungen $v_{\min,k} < v_k(t) \leq v_{\max,k}$ berücksichtigt werden können;

45

f) die Pressgeschwindigkeit $v_{k+1}(t)$ vor Beginn des Presszyklus $k+1$ berechnet wird;

g) $v_{k+1}(t)$ während dem Presszyklus $k+1$ nicht verändert wird;

h) nach Beendigung des Presszyklus $k+1$ die Verfahrensschritte b) - g) in rekursiver Weise für jeden weiteren Presszyklus wiederholt werden bis der Pressvorgang beendet ist.

50

2. Verfahren gemäss Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass

a) das kontinuierliche Zeitverhalten in diskrete Zeitintervalle T_A

$$(3) \quad t = i \cdot T_A, i = 0, 1, 2, \dots$$

unterteilt wird;

b) finite Zustandsänderungen für die Pressgeschwindigkeit und die Strangaustrittstemperatur verwendet werden;

55

c) zur Begrenzung des Rechenaufwandes und zur Dämpfung des Regelsystems der Verlauf der Pressgeschwindigkeit nicht zu jedem beliebigen Zeitpunkt veränderbar ist, sondern abschnittsweise während einem Zeitintervall j von der Dauer $m \cdot T_A$ konstant ist, wobei $j=0, 1, 2, \dots, n-1, n$ und m eine natürliche Zahl

ist, so dass für jeden Zyklus gilt: $i=0,1,2,\dots,n*m-1$;

d) der Pressgeschwindigkeitsverlauf nach Gleichung (4) durch Elementarfunktionen dargestellt wird

$$(4) \quad v_k(i * T_A) = \sum_{j=0}^{n-1} \Delta v_{k,j} * \sigma((i-j*m)*T_A)$$

wobei mit $\sigma(i*T_A)$ die Heaviside oder Einheitssprungfunktion

10

$$(5) \quad \sigma(i*T_A) = \begin{cases} 1 & \text{für } i \geq 0 \\ 0 & \text{sonst} \end{cases}$$

15

und

$$(6) \quad \Delta v_{k,j} = v_k(j * m * T_A) - v_k((j * m - 1) * T_A) \text{ mit } j = 0, 1, 2, \dots, n-1$$

die Sprunghöhen des Pressgeschwindigkeitsverlaufes für den Zeitpunkt $j*m*T_A$ bezeichnen;

20

e) unter der Voraussetzung von Linearität und Zeitinvarianz, Annahme, die in der Umgebung der Arbeitstrajektorien zulässig sind, die Strangaustrittstemperatur nach Gleichung (7) dargestellt wird:

$$(7) \quad \theta a_k(i*T_A) = \sum_{j=0}^{n-1} \Delta v_{k,j} * h_k((i-j*m)*T_A),$$

25

wobei $h(i*T_A)$ die Reaktion der Strangpresse auf einen Einheitssprung $\sigma(i*T_A)$ ist;

f) durch Invertierung von Gleichung (7) und nach Messung der Verläufe $\theta a_k(i*T_A)$ und $v_k(i*T_A)$ die Sprungantwort $h(i*T_A)$ identifiziert wird

30

$$(8) \quad h_k(i*T_A) = \frac{1}{\Delta v_{k,0}} * \left[\theta a_k(i*T_A) - \sum_{j=0}^{i/m} \Delta v_{k,j} * h_k((i-j*m)*T_A) \right]$$

35

für $i*m \leq i < (i+1)*m$, wobei wegen der Kausalität des Systems

$$(9) \quad h_k(i*T_A) = 0 \text{ für } i < 0;$$

40

g) der Verlauf der Pressgeschwindigkeitskurve $v_{k+1}(i*T_A)$ aus dem rekursiven Regelgesetz (10) gebildet wird:

$$(10) \quad v_{k+1}(i*T_A) = v_k(i*T_A) + dv_{k+1}(i*T_A)$$

und

$$(11) \quad a_{k+1}(i*T_A) = \theta a_k(i*T_A) + d\theta a_{k+1}(i*T_A)$$

45

gilt;

h) durch Minimierung der Gütefunktion Q

$$(12) \quad \text{Min}_{\Delta dv_{k+1,j}} \left\{ Q = \frac{\lambda}{n} * \sum_{j=0}^{n-1} (\Delta dv_{k+1,j})^2 + \frac{1}{n*m} \sum_{i=0}^{n*m-1} [e_k(i*T_A) - d\theta a_{k+1}(i*T_A)]^2 \right\}$$

50

bezüglich der Stellgrössensprünge $\Delta dv_{k+1,j}$ der optimale Pressgeschwindigkeitsverlauf gefunden wird, wobei λ eine frei wählbare Gewichtung beschreibt und

55

$$(13) \quad e_k(i*T_A) = \theta a_w(i*T_A) - \theta a_k(i*T_A)$$

der gemessene Regelfehler aus dem gerade vergangenen Zyklus k und

$$(14) \quad d\theta_{a_{k+1}}(i^*T_A) = \sum_{j=0}^n \Delta dv_{k+1,j} * h_k((i-j^*m)^*T_A)$$

5

die durch Einwirkung von $\Delta dv_{k+1,j}$ vorausberechnete Änderung des Temperaturverlaufes $d\theta_{a_{k+1}}(i^*T_A)$ ist;

und

i) Stellgrössenbeschränkungen von der Form

10

$$(15) \quad \sum_{r=0}^j \Delta v_{k,r} \leq v_{\max,j} \quad j=0,1,2,\dots,n-1$$

15

$$(16) \quad \sum_{r=0}^j \Delta v_{k,r} \leq v_{\min,j} \quad j=0,1,2,\dots,n-1$$

20

berücksichtigt werden können.

3. Verfahren gemäss Anspruch 2, wobei für die Pressgeschwindigkeit keine Stellgrössenbeschränkung gilt, dadurch gekennzeichnet, dass zur Minimierung der Gütefunktion Q das Gradienten-, das konjugierte Gradienten-, das Quasi-Newton-, das Newton-Raphson- oder das Newton-Verfahren verwendet wird.

25

4. Verfahren gemäss Anspruch 2, wobei für die Pressgeschwindigkeit Stellgrössenbeschränkungen gemäss den Gleichungen (15, 16) gelten, dadurch gekennzeichnet, dass zur Minimierung der Gütefunktion Q das Kuhn-Tucker-Verfahren verwendet wird.

30

5. Verfahren gemäss Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass die quadratische Gütefunktion gemäss Gleichung (12) durch die Betragsgütefunktion

35

$$(20) \quad Q = \lambda^* \sum_{j=0}^{n-1} |\Delta dv_{k+1,j}| + \sum_{i=0}^{n^*m-1} |e_k(i^*T_A) - d\theta_{a_{k+1}}(i^*T_A)|$$

ersetzt wird.

40

6. Verfahren gemäss Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass die quadratische Gütefunktion gemäss Gleichung (12) durch eine der nachstehend gewichteten Gütefunktionen

45

$$(21) \quad Q = \sum_{j=0}^{n-1} \lambda_j * (\Delta dv_{k+1,j})^2 + \sum_{i=0}^{n^*m-1} \mu_i * |e_k(i^*T_A) - d\theta_{a_{k+1}}(i^*T_A)|^2$$

50

$$(22) \quad Q = \sum_{j=0}^{n-1} \lambda_j * |\Delta dv_{k+1,j}| + \sum_{i=0}^{n^*m-1} \mu_i * |e_k(i^*T_A) - d\theta_{a_{k+1}}(i^*T_A)|$$

55

ersetzt wird, wobei λ_j bzw. μ_i Gewichtungsfaktoren darstellen, die vorgängig für jedes Zeitintervall j definiert werden müssen.

7. Verfahren gemäss Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass die direkte Berechnung der Sprungantwort

nach Gleichung (8), zur Erreichung besser dämpfender Eigenschaften bei starken Messstörungen, durch ein Fehlerminimierungsverfahren ersetzt wird, wobei

a) eine durch Gleichung (23) definierte Streckenimpulsantwort $g_k(i \cdot T_A)$, d.h. die Reaktion der Strecke auf einen Impuls nach Gleichung (24), eingeführt wird:

$$(23) \quad \theta_k(i \cdot T_A) = \sum_{r=0}^i v_k(r \cdot T_A) * g_k((i-r) \cdot T_A)$$

$$(24) \quad \delta(i \cdot T_A) = \begin{cases} 1 & \text{für } i=0 \\ 0 & \text{sonst} \end{cases}$$

b) bei der Identifikation zur Begrenzung der Freiheitsgrade nur die ersten N-Werte berücksichtigt werden, so dass für $g_k(i \cdot T_A)$ gilt:

$$(25) \quad g_k(i \cdot T_A) = \begin{cases} \neq 0 & \text{für } 0 \leq i \leq N-1 \\ 0 & \text{sonst} \end{cases}$$

c) die bezüglich der Impulsantwort $g_k(i \cdot T_A)$ zu minimierende Gütefunktion F somit folgende Gestalt annimmt:

$$(26) \quad F = \sum_{i=0}^{n \cdot m - 1} \left[\theta_{a_k}(i \cdot T_A) - \sum_{r=0}^i v_k(r \cdot T_A) * g_k((i-r) \cdot T_A) \right]^2 + \sum_{s=0}^{N-1} [g_k(s \cdot T_A) - g_k((s-1) \cdot T_A)]^2$$

und

d) die Sprungantwort gemäss

$$(27) \quad h_k(i \cdot T_A) = \sum_{r=0}^i g_k(r \cdot T_A)$$

aus dem numerischen Integral der Impulsantwort hervorgeht.

8. Verfahren gemäss Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass die Bestimmung der Sprungantwort über ein Fehlerminimierungsverfahren im Frequenzbereich (z-Bereich) gefunden wird, wobei

a) die Streckenübertragungsfunktion im z-Bereich gemäss Gleichung (28) gegeben ist

$$(28) \quad G_s(z) = \frac{\Theta(z)}{V(z)} = \frac{\sum_{r=1}^N b_r * z^{(-r)}}{1 + \sum_{s=0}^N a_s * z^{(-s)}}$$

wobei

$\Theta(z)$ und $V(z)$ die z-Transformierten der zeitdiskreten Funktionen $\theta(i \cdot T_A)$ bzw. $v(i \cdot T_A)$ sind und die Koeffizienten der Übertragungsfunktion a_s und b_r durch Minimierung des quadratischen Modellfehlers bestimmt werden;

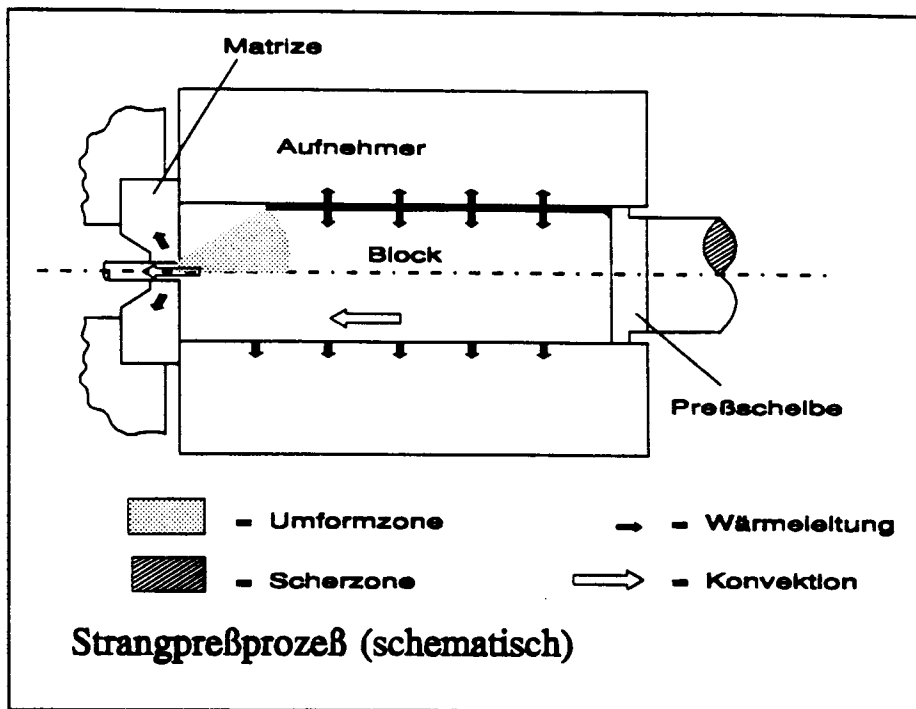
b) die Rücktransformierte der z-Übertragungsfunktion $G_s(z)$ die Impulsantwort gemäss Gleichung (29) ergibt:

$$(29) \quad g_k(i \cdot T_A) = \Gamma^{-1} [G_{s,k}(z)]$$

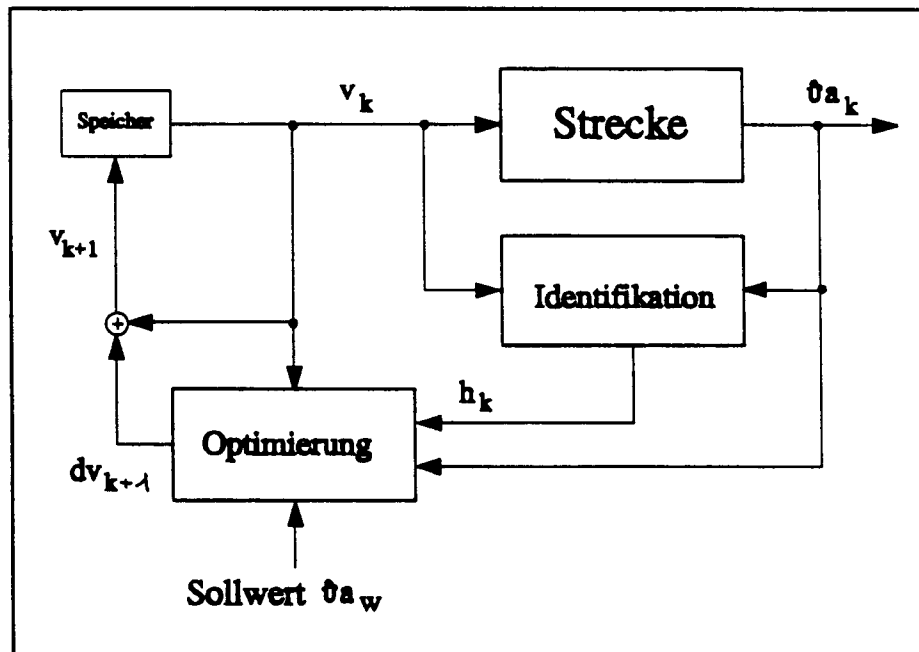
und

c) die Sprungantwort hiermit nach Gleichung (27) bestimmt wird.

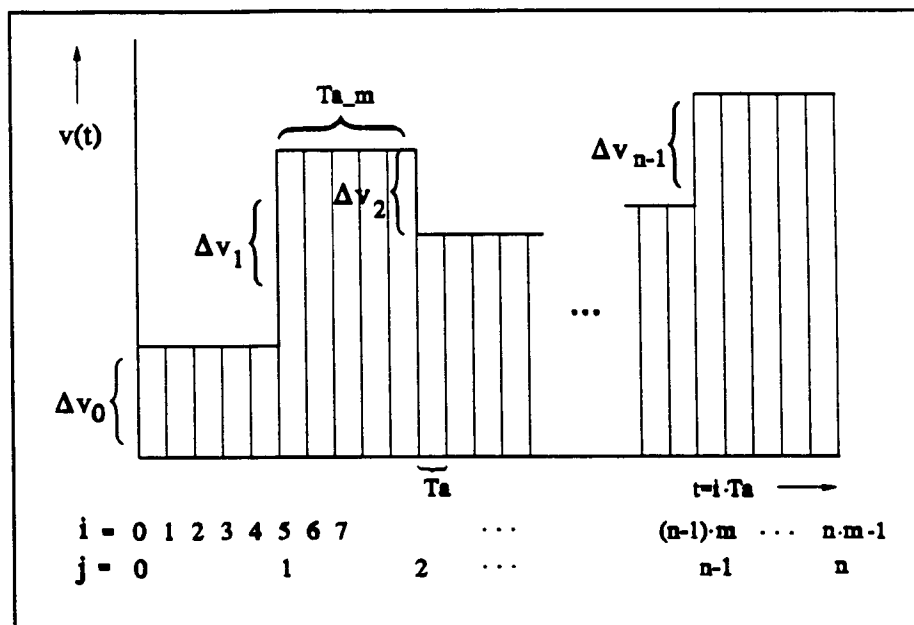
9. Verwendung des Verfahrens nach den Ansprüchen 1 bis 8 zur Herstellung von Strangpressprofilen, bevorzugt für Strangpressprofile mit kleinem und/oder wellenlängenabhängigem Emissionsgrad ($\varepsilon < 0,1$) und/oder veränderlichen Oberflächencharakteristiken und insbesondere zur Herstellung von Strangpressprofilen aus Aluminium oder Aluminiumlegierungen.



Figur 1: Wärmeflüsse beim direkten Strangpressen



Figur 2: Struktur des Regelsystems



Figur 3: Schematische Darstellung eines Preßgeschwindigkeitsverlaufes



Europäisches
Patentamt

EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung
EP 94 81 0016

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (Int.Cl.5)
D,X	DE-A-34 04 054 (URAL'SKIJ ELEKTROMECHANISKIJ INSTITUT INZENEROV ZELEZNODORZNOGO TRANS.)	1	B21C31/00
D,A	* Seite 13, Zeile 34 - Seite 16, Zeile 10 *	2	

A	DE-A-22 60 218 (VEREINIGTE METALLWERKE RANSHOFEN-BERNDORF AG) * Seite 3, Absatz 2; Ansprüche 1,2 *	1	

A	DE-A-14 02 787 (SCHLOEMANN AG) * Seite 8, Absatz 2; Anspruch; Abbildungen 1,2 *	1	

A	GB-A-1 431 884 (CHADWICK) * Anspruch 1 *	1	RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (Int.Cl.5) B21C

A	US-A-3 670 542 (KEMPPINEN) * Spalte 3, Zeile 13 - Zeile 54; Anspruch 1 *	1	

A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 13, no. 519 (M-895) (3867) 20. November 1989 & JP-A-01 210 119 (SUMITOMO METAL IND LTD) 23. August 1989 * Zusammenfassung *	1	

Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort DEN HAAG		Abschlußdatum der Recherche 28. Juni 1994	Prüfer Barrow, J
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : nichtschriftliche Offenbarung P : Zwischenliteratur T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument I : aus andern Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument			

EPO FORM 1503 01.82 (P4/C03)