DEUTSCHE DEMOKRATISCHE REPUBLIK

PATENTSCHRIFT

(12) **Wirtschaftspatent**

(19) **DD** (11) **224 618 A1**

Erteilt gemäß § 17 Absatz 1 Patentgesetz

4(51) **C 21 B 5/00**
C 21 B 7/24

AMT FÜR ERFINDUNGS- UND PATENTWESEN

In der vom Anmelder eingereichten Fassung veröffentlicht

(21) WP C 21 B / 262 460 1 (22) 30.04.84 (44) 10.07.85

(71) VEB Maxhütte Unterwellenborn, 6806 Unterwellenborn, DD
(72) Knauer, Rainer, Dipl.-Ing.; Grießbach, Gert, Dr. rer. nat.; Schubert, Hans-Joachim, Dipl.-Ing.; Beck, Wolf, Dipl.-Ing.; Richter, Manfred, Dipl.-Ing.; Wendler, Rolf, Dipl.-Math., DD

(54) Verfahren zum Ermitteln charakteristischer Betriebszustandsänderungen beim Hochofenprozeß

(57) Verfahren zum Ermitteln charakteristischer Betriebszustandsänderungen beim Hochofenprozeß, insbesondere aus der Erfassung und Analyse von Schwingungssignalen mit dem Ziel, Informationen über den Betriebszustand mit hoher Genauigkeit und Trennschärfe zwischen den Arten der Prozeßstörungen für eine automatisierte Prozeßführung bereitzustellen. Die Aufgabe besteht darin, sich anbahnende Prozeßstörungen, insbesondere im Durchgasungsverhalten des Hochofens, zu identifizieren und zu lokalisieren, für eine gezielte Regulierung des Prozeßablaufes. Dazu werden erfindungsgemäß durch fortlaufendes Erfassen und Auswerten von Schwingungssignalen vom Panzer des Ofenschachtes rekursiv und adaptiv Kenngrößen ermittelt, deren Abweichungen signalisiert und mit Normalbereichen verglichen werden und Informationen für die Regulierung des Hochofenprozesses bereitgestellt werden. Die Anwendung der Erfindung bezieht sich auf die Informationsgewinnung bei Schachtöfen- und anderen technologischen Prozessen, insbesondere in der Metallurgie.

ISSN 0433-6461

Seiten

Erfindungsansprüche:

1. Verfahren zum Ermitteln charakteristischer Betriebszustandsänderungen durch fortlaufendes Erfassen und Auswerten von Schwingungssignalen $\{x_t\}_{t=1,2,...}$ die in relevanten Frequenzbereichen Betriebszustände des Hochofens widerspiegeln, unter Nutzung von an sich bekannten Mehrkanalschwingungsmeßeinrichtungen und Rechengliedern, **gekennzeichnet dadurch** daß ausgehend von einer kontinuierlichen Fortbildung zweier Schwellwerte z_t^+ und z_t^- um die Schwingungssignale $\{x_t\}_{t=1,2,...}$ die einen vorgegebenen prozentualen Anteil α dieser Meßwerte einschließen und entsprechend derem Zufallscharakter als Quantilwerte der Wahrscheinlichkeitsverteilung rekursiv und adaptiv bestimmt werden wobei der prozentuale Anteil α und eine Adaptionsgeschwindigkeit c prozeßtypisch zur Nachführung der Schwellwerte z_t^+ und z_t^- ausgewählt werden und aus der zuletzt gewonnenen Anzahl n von Schwellwerten z_t^+ und z_t^- gleitend die Ermittlung der Kenngrößen A = Anzahl der Schwellwertüberschreitungen durch die Meßwerte D = Schwellwertabstand S = Synchronität zwischen den Schwingungssignalen aus N Meßkanälen Q = Verhältnis von Meßwertmittel und Schwellwertlage $\{T_k\}$ = Tendenzielle Änderung der jeweiligen Kenngrößen, erfolgt und eine weitere gleitende Ermittlung von Kenngrößen K_A aus einer Anzahl Z von zuletzt erfaßten Diagnosesignale $\{x_t\}_{t=1,2,...}$ basierend auf der adaptiven Bestimmung von Parametern eines Autoregressiven-Gleitmittel-Modellprozesses realisiert wird und Abweichungen aller Kenngrößen A, D, Q, S, $\{T_k\}$, K_A von aus Vorversuchen ermittelten Normalbereichen als Betriebszustandsänderung erkannt werden und zur Informationsgewinnung bei der Identifizierung und Lokalisierung von Prozeßstörungen insbesondere Durchgasungsstörungen, dienen
2. Verfahren nach Punkt 1, **gekennzeichnet dadurch,** daß durch die Verknüpfung der signalisierten Abweichungen der Kenngrößen aller relevanten, den Betriebszustand des Hochofens bestimmenden Meßgrößen und dem Vergleich mit komplexen Signalmustern eine Zuordnung der angezeigten Betriebszustandsänderungen zu Prozeßstörungen unter normal schwankenden Betriebsparametern und weiterer störender Einflußfaktoren am Hochofen vollautomatisch gesichert wird.
3. Verfahren nach Punkt 1 und 2, **gekennzeichnet dadurch,** daß in Abhängigkeit der automatisch signalisierten Schwankungen der Betriebsparameter, der prozentuale Anteil α und die Adaptionsgeschwindigkeit c verändert und nachgeführt werden und die Informationsgewinnung über Prozeßstörungen erhalten bleibt.
4. Verfahren nach Punkt 1 bis 3, **gekennzeichnet dadurch,** daß über eine Zuordnung der signalisierten Abweichungen aller - Kenngrößen auf Meßstellen am Ofenschacht die Lokalisierung der Betriebszustandsänderungen erfolgt und damit eine weitere vorausschauende Identifizierung der Art der Prozeßstörung erreicht wird, die eine gezielte technologische Einflußnahme und Regulierung des Hochofenprozesses ermöglicht.

Anwendungsgebiet der Erfindung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Ermitteln charakteristischer Betriebszustandsänderungen beim Hochofenprozeß, insbesondere aus der Erfassung und Analyse von Schwingungssignalen.

Charakteristik der bekannten technischen Lösungen

Für das Ermittein charakteristischer Betriebszustandsänderungen beim Hochofenprozeß, insbesondere aus der Erfassung und Analyse von Schwingungssignalen, sind Verfahren und Vorrichtungen bekannt, die durch Auswertung von Informationen aus Schwingungssignalen, die von mehreren Ebenen am Panzer des Ofenschachtes mit piezoelektrischen Beschleunigungsaufnehmern erfaßt werden, Betriebszustandsänderungen beim Hochofenprozeß registrieren und für die Prozeßführung zur Verfügung stellen.
Nach der in DE-AS 2124969 dargestellten Verfahrensweise werden aus der Erfassung und Verarbeitung von Schwingungssignalen Informationen für die Verfolgung spezifischer Prozeßstörungen im Ofenschacht, insbesondere für Vorgänge der Ansatzbildung und deren Lokalisierung bereitgestellt. Weitere Informationen über den Betriebszustand, die für eine geeignete Einordnung in die objektive und vorausschauende Prozeßführung erforderlich sind wie beispielsweise lokale Änderungen der Durchgasungsverhältnisse oder der Strömungsgeschwindigkeit, Veränderungen in der Struktur der Materialsäule (Möllersäule), ungleichmäßiges Absinken der Materialsäule, Veränderungen im Ofengang und des Wärmehaushaltes, wurden dabei nicht oder unzureichend berücksichtigt. Mit der in DD-PS 132613 beschriebenen Verfahrensweise wird ein Zuwachs an Informationen über die genannten Beispiele der Betriebszustände erreicht, insbesondere durch Nachführung der Übertragungseigenschaften der 12 Meßkanäle die die Schwingungssignale von 3 Ebenen des Ofenschachtes erfassen und adaptiv aufbereiten, wie beispielsweise durch Nachführung der Mittenfrequenzen der Bandpaßfrequenzfilter und der Zeitkonstante für die Mittelwertbildner nach der Effektivwertgleichrichtung der Schwingungssignale.
Die erreichten Ergebnisse mit den bekannten Verfahren der Informationsgewinnung aus Schwingungssignalen entsprechen nicht den Anforderungen an Genauigkeit und Aussagekraft für die Prozeßführung, da bei der Identifizierung und Lokalisierung von Betriebsänderungen die charakteristischen Merkmale aus dem zeitlichen Verlauf der aufbereiteten Schwingungssignale nicht eindeutig getrennt und relevanten Prozeßstörungen zugeordnet werden können.
Die Reproduzierbarkeit der ermittelten Betriebszustandsänderungen mit einer eindeutig identifizierten Trennung zwischen normalen und gestörten Prozeßmerkmalen ist damit für die erforderliche Einordnung in eine vorausschauende und automatisierte Prozeßführung nicht gewährleistet.

Ziel der Erfindung

Das Ziel der Erfindung besteht darin, Informationen über den Betriebszustand des Hochofens mit hoher Genauigkeit und Trennschärfe zwischen den Arten der Prozeßstörungen für eine automatisierte Prozeßführung bereitzustellen.

Darlegung des Wesens der Erfindung

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zum Ermitteln von charakteristischen Betriebszustandsänderungen beim Hochofenprozeß zu entwickeln, das es gestattet, sich anbahnende Prozeßstörungen, insbesondere im Durchgasungsverhalten des Hochofens, zu identifizieren und zu lokalisieren, für eine gezielte Regulierung des Prozeßablaufes.

Erfindungsgemäß werden die charakteristischen Betriebszustandsänderungen durch fortlaufende Erfassung und Auswerten einer Anzahl N ≥ 12 von Schwingungssignalen $\{x_t\}_{t=1,2,...}$, die in relevanten Frequenzbereichen Betriebszustände des Hochofens widerspiegeln, unter Nutzung von an sich bekannten Mehrkanal-Schwingungsmeßeinrichtungen und Rechengliedern dadurch ermittelt, daß ausgehend von einer kontinuierlichen Fortbildung zweier Schwellwerte z_t^+ und z_t^- um die den Betriebszustand des Hochofens bestimmenden Schwingungssignale $\{x_t\}_{t=1,2,...}$ die einen vorgegebenen prozentualen Anteil α dieser Meßwerte einschließen oder begrenzen und dem Zufallscharakter der Meßwerte entsprechend als Quantilwerte der Wahrscheinlichkeitsverteilung rekursiv und adaptiv bestimmt werden, wobei der Anteil α und eine Adaptionsgeschwindigkeit c prozeßtypisch zur Nachführung der Schwellwerte um die Schwingungssignale ausgewählt werden und aus der zuletzt gewonnenen Anzahl n von Schwellwerten z_t^+ und z_t^- gleitend die Ermittlung der Kenngrößen A = Anzahl der Schwellwertüberschreitungen durch die Meßwerte, D = Schwellwertabstand, Q = Verhältnis von Meßwertmittel und Schwellwertlage, S = Synchronität zwischen den Schwingungssignalen aus N Meßkanälen $\{x_k\}_{k=1,2,...,s}$ = tendenzielle Änderung der jeweiligen Kenngröße erfolgt und eine weitere gleitende Ermittlung eines Kenngrößenvektors K_A aus einer Anzahl Z von zuletzt erfaßten Schwingungssignalen $\{x_t\}$, basierend auf der adaptiven Bestimmung von Parametern eines Autoregressiven-Gleitmittel-Modellprozesses realisiert wird und Abweichungen aller Kenngrößen A, D, Q, S, $\{T_k\}$, K_A, von aus Vorversuchen ermittelten Normalbereichen als Betriebszustandsänderungen signalisiert werden und zur Informationsgewinnung bei der Identifizierung und Lokalisierung von Prozeßstörungen insbesondere Durchgasungsstörungen, dienen. Durch Verknüpfung der signalisierten Abweichungen der Kenngrößen aller relevanten den Betriebszustand des Hochofens bestimmenden Meßgrößen und dem Vergleich mit komplexen Signalmustern eine Zuordnung der angezeigten Betriebszustandsänderungen zu Prozeßstörungen unter normal schwankenden Betriebsparametern und weiter störender Einflußfaktoren am Hochofen vollautomatisch gesichert wird.
Weiterhin wird gewährleistet, daß in Abhängigkeit der automatisch signalisierten schwankenden Betriebsparameter der prozentuale Anteil α und die Adaptionsgeschwindigkeit c verändert und nachgeführt werden und die Informationsgewinnung über die Prozeßstörungen erhalten bleibt.
Mit der Zuordnung der signalisierten Abweichungen aller Kenngrößen auf Meßstellen am Ofenschacht erfolgt eine Lokalisierung der Betriebszustandsänderung, wodurch eine weitere vorausschauende Identifizierung der Art der Prozeßstörung erreicht wird und die gezielte technologische Einflußnahme und Regulierung des Hochofenprozesses ermöglicht wird.

Ausführungsbeispiel

Die Erfindung soll nachstehend an einem Ausführungsbeispiel erläutert werden.
Der erfinderischen Lösung wird zugrunde gelegt, daß beispielsweise vom Schacht eines Hochofens von 3 Ebenen mit je 4 Meßstellen, die am Panzer befestigt sind, mit piezoelektrischen Beschleunigungsaufnehmern Schwingungssignale einer Mehrkanalmeßeinrichtung mit Meßverstärker, Bandpaßfrequenzfilter, Effektivwertgleichrichter und Mittelwertbildner zugeführt werden wobei die Bandpaßfrequenzfilter beispielsweise mit Mittenfrequenz von 2 kHz bis 8 kHz so eingestellt sind, daß der registrierte zeitliche Verlauf der Schwingungssignale $\{x_t\}_{t=1,2,...}$ relevante Betriebszustandsänderungen beinhaltet.
Die bereitgestellten Schwingungssignale $\{x_t\}_{t=1,2,...}$ dienen der Ermittlung von charakteristischen Betriebszustandsänderungen zur Identifizierung und Lokalisierung von Prozeßstörungen, die mittels der nachfolgend dargestellten Verfahrensschritte der Meßwertauswertung über verschiedene Rechenglieder, vorzugsweise Module der Mikrorechentechnik, realisiert werden.
Dabei werden über adaptive, also sich den konkreten Bedingungen automatisch anpassende, Methoden der Zeitreihenanalyse Kenngrößen bestimmt, die charakteristische Veränderungen des zeitlichen Verlaufs der Schwingungssignale, hervorgerufen durch Veränderungen der Durchgasungsverhältnisse oder in der Struktur der Materialsäule, anzeigen. Diese Kenngrößen basieren auf der kontinuierlichen Fortbildung zweier Schwellwerte um die Schwingungssignale, die einen vorgegebenen prozentualen Anteil dieser Meßwerte einschließen, beziehungsweise auf der kontinuierlichen Bestimmung von Parametern eines Modellprozesses. Die Schwellwerte z_t^+ und z_t^- sind, dem Zufallscharakter der Signale entsprechend, Quantilwerte der vorliegenden Wahrscheinlichkeitsverteilung und werden rekursiv und adaptiv nach

$$z_{t+1}^+ = \begin{cases} z_t^+ + c\alpha & , \text{falls } x_t \geq z_t^+ \\ z_t^+ - c(1-\alpha) & , \text{falls } x_t < z_t^+ \end{cases}$$

$$z_{t+1}^- = \begin{cases} z_t^- + c(1-\alpha) & , \text{falls } x_t > z_t^- \\ z_t^- - c\alpha & , \text{falls } x_t \leq z_t^- \end{cases}$$

$$t = 1, 2, ...$$

bestimmt, wobei
z_t^+ den oberen Schwellwert zum Zeitpunkt t,
z_t^- den unteren Schwellwert zum Zeitpunkt t und
x_t^- den aktuellen Meßwert bezeichnet, c ist eine dem Anwendungsfall angepaßte Adaptionskonstante und α widerspiegelt den prozentualen Anteil der Meßwerte, den die Schwellwerte umfassen. Aus den n zuletzt gewonnenen Schwellwerten (n etwa 20) werden gleitend die Kenngrößen A = Anzahl der Schwellwertüberschreitungen durch die Meßwerte, D = Schwellwertabstand, Q = Verhältnis von Meßwertmittel und Schwellwertlage, S = Synchronität zwischen den Schwingungssignalen aus den beispielsweise 12 genannten Meßkanälen, und daraus abgeleitete Tendenzkenngrößen, über die entsprechenden Rechenglieder bestimmt.
Mit anderen Rechengliedern erfolgt parallel die Ermittlung eines Kenngrößenvektors K_A aus einer Anzahl Z von zuletzt erfaßten Diagnosesignalen $\{x_t\}_{t=1,2,...}$, basierend auf der Bestimmung von Parametern eines Autoregressiven-Gleitmittel-Modellprozesses der Form

$$Y_t + \sum_{r=1}^{p} a_r Y_{t-r} = X_t + \sum_{s=1}^{q} b_s X_{t-s}$$

wobei die zufällige Folge $\{Y_t\}$ die Diagnosesignale modelliert und (p, q) die Ordnung des Prozesses bezeichnet.
Die Parameter $\{a_r\}_{r=1,\ldots,p}$ und $\{b_s\}_{s=1,\ldots,p}$ werden nach

$$a_{r,t} = \begin{cases} 0 & t \leqslant r \\ a_{r,t-1} - v_t e_t v_{t-1} =: c_{r,t} & \text{falls } |c_{r,t}| < \binom{p}{r} \\ \operatorname{sgn} c_{r,t} \binom{p}{r} & \text{sonst} \end{cases}$$

$$b_{s,t} = \begin{cases} 0 & t \leqslant s \\ b_{s,t-1} - v_t e_t e_{t-s} =: d_{s,t} & \text{falls } |d_{s,t}| \leqslant \binom{q}{s} \\ \operatorname{sgn} d_{s,t} \binom{q}{s} & \text{sonst} \end{cases}$$

mit

$$e_t = \begin{cases} 0 & t < 1 \\ Y_t + \sum_{r=1}^{p} a_{r,t-1} Y_{t-r} + \sum_{s=1}^{q} b_{s,t-1} e_{t-s} & ,t \geqslant 1 \end{cases}$$

und $\{v_t\}_{t=1,2,\ldots}$ Zahlenfolge mit $\sum_{t=1}^{\infty} v_t = \infty$

$\sum_{t=1}^{\infty} v_t^2 < \infty$

adaptiv bestimmt und definieren ebenfalls einen Kenngrößenvektor K_A charakteristischer Zustandsänderungen.
Abweichungen aller dieser Kenngrößen von aus Vorversuchen vorgegebenen prozeßtypischen Normalbereichen werden über Triggerschaltungsanordnungen oder Rechenglieder als Grenzwertüberschreitung registriert, in einem Signalmuster verknüpft und als komplexe Zustandskenngröße dargestellt.
Da das Signalmuster auch die Abweichungen der Kenngrößen der anderen den Betriebszustand beschreibenden Meßgrößen, wie beispielsweise Windmenge, Winddruck, Sinkgeschwindigkeit der Materialsäule u. a. einbezieht, werden alle charakteristischen Betriebszustandsänderungen adaptiv ausgewertet und angezeigt.
Die Zuordnung der ermittelten Zustandsänderungen zur Identifizierung und Lokalisierung von Prozeßstörungen erfolgt über eine Vergleicherschaltungsanordnung mit vorgegebenen Signalmasken, so daß beispielsweise unterschiedliche Veränderungen, hervorgerufen durch Ansatzbildung, Kanalbildung, Hängeerscheinungen, Lösen von Ansätzen, lokale Materialverdichtungen, Änderungen der Struktur der Schüttsäule, ungleichmäßiger Ofengang, Veränderungen des Wärmehaushaltes, auf einem Monitor, bereits zum Zeitpunkt ihrer Entstehung, angezeigt werden, wobei normale Schwankungen der Betriebsparameter durch die genannte Nachführung der Kenngrößen der Schwingungssignale einbezogen werden.
Weiterhin werden bei Signalisierung der schwankenden Betriebsparameter des Hochofens aus dem Vergleich mit den vorgegebenen Signalmasken eine automatische Nachführung des prozentualen Anteils α und der Adaptionsgeschwindigkeit c realisiert, so daß die Bereitstellung aussagekräftiger Informationen über die Prozeßstörungen aus den signalisierten charakteristischen Betriebszustandsänderungen erhalten bleiben. Mit der Zuordnung der signalisierten Abweichungen aller Kenngrößen auf Meßstellen am Ofenschacht erfolgt eine Lokalisierung der Betriebszustandsänderung, wodurch eine weitere vorausschauende Identifizierung der Art der Prozeßstörung erreicht wird und die gezielte Einflußnahme und Regulierung des Hochofenprozesses ermöglicht wird. Beispielsweise erfolgen über Identifizierung der Prozeßstörung „Hängeerscheinung" im unteren Teil des Ofenschachtes vorbeugende Regulierungsmaßnahmen zum Absenken der Strömungsgeschwindigkeit durch Zusatz von Wasserdampf in den Heißwind und bei Identifizierung der gleichen Prozeßstörung im oberen Teil des Ofenschachtes das Stauchen der Möllersäule. In Anpassung an das vorhandene Niveau der technologischen Einflußnahme stellen damit die signalisierten Abweichungen der Kenngrößen Informationen für die weitere Automatisierung des Hochofenprozesses dar.
Das entwickelte Verfahren erschließt weitere Anwendungsmöglichkeiten bei der Informationsgewinnung und deren Automatisierung, insbesondere durch den Einsatz von Baugruppen der Mikroelektronik.