



Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets



Veröffentlichungsnummer: **0 572 780 A2**

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

Anmeldenummer: **93105667.5**

Int. Cl.⁵: **C23G 5/06**

Anmeldetag: **06.04.93**

Priorität: **06.04.92 DE 4211457**

Veröffentlichungstag der Anmeldung:
08.12.93 Patentblatt 93/49

Benannte Vertragsstaaten:
BE DE FR GB IT SE

Anmelder: **EBG GESELLSCHAFT FÜR
ELEKTROMAGNETISCHE WERKSTOFFE MBH
Castroper Strasse 228
D-44791 Bochum(DE)**

Erfinder: **Behringer, Jürgen, Dr. Dipl.-Ing.
Am Alten Stadtpark 43
W-4630 Bochum 1(DE)
Erfinder: **Syllwasschy, Wolfgang, Dipl.-Ing.
Paracelsusweg 1
W-4630 Bochum 1(DE)****

Vertreter: **Cohausz & Florack Patentanwälte
Schumannstrasse 97
D-40237 Düsseldorf (DE)**

Verfahren und Vorrichtung zur Reinigung von Metallbandoberflächen durch Gasspülung in wasserstoffreichen Atmosphären.

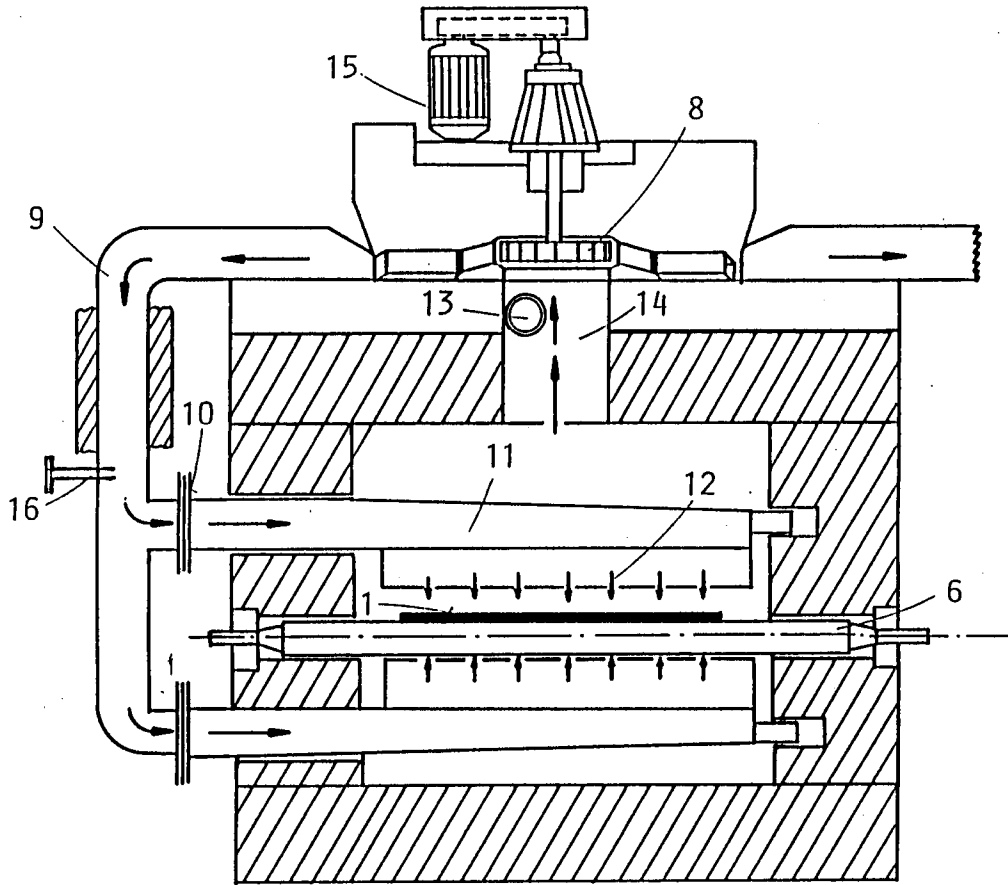
Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zur thermischen Reinigung von Metallbandoberflächen beim Aufheizen in kontinuierlichen Glühlinien, insbesondere zur Entfernung von ölhaltigen Belägen, unter Verzicht auf alkalische und saure Reinigungslösungen, Chlorkohlenwasserstoffe, Ätzalkalien und dergleichen. Der Ölfilm wird durch Aufblasen eines heißen Wasserstoff/Stickstoff-Gasgemischs zum Verdampfen gebracht, und die Öldämpfe werden durch stöchiometrisch adäquate Wasserdampfeinspeisung zu CO und CO₂ umgesetzt, so daß die bei dem vorhandenen hohen Kohlenstoffpotential ansonsten unvermeidliche Aufkohlung des kohlenstoffarmen Glühguts vermieden wird. Mittels Umwälzgebläse und auf die Bandoberfläche gerichtete Düsen wird eine Prallströmung erzeugt, unter der der Dampfdruck des Ölfilms proportional zur Aufheizgeschwindigkeit wächst und die verdampfenden Kohlenwasserstoffverbindungen nach dem heterogenen und homogenen Wassergasgleichgewicht mit dem eingespeisten Wasserdampf reagieren. Hierbei wird der Umstand genutzt, daß die Schutzgastemperatur schon sehr hoch, die Temperatur des einlaufenden Bandes hingegen noch vergleichsweise niedrig ist. Dadurch und aufgrund der kurzen Verweilzeit des Bandes im Reinigungsteil werden Oxidationsreaktionen an der Bandoberfläche und Diffusionsvorgänge im Bandwerkstoff noch nicht wirksam. Zusätzlich schützt der abdampfende Ölfilm, dessen Siedemaximum erst kurz vor Verlassen des Reinigungsteils erreicht ist. Die Siedekurve und die Verteilung der Abdampftrate über der Temperatur sind bekannt, so daß Banderwärmung, Schutzgasdurchsatz und -umwälzung auf das Siedeverhalten des Ölrückstandes abgestimmt werden können.

Auf die Vorbehandlung des Bandes in Tri-Dampf- oder elektrolytischen Entfettungsanlagen oder andere Vorkehrungen gegen eine Aufkohlung des Glühguts kann verzichtet werden; mit einer entsprechenden Schutzgasumwälzung ist sichergestellt, daß Kohlenstoffaufwachungen im Ofenraum unterbleiben.

Das Verfahren stellt auf niedrigste Umweltbelastung ab und ist für die kontinuierliche Wärmebehandlung von dünnen Bandquerschnitten aus Eisenwerkstoffen wie Fein- und Feinstblech, kohlenstoffarme kornorientierte und nichtkornorientierte Elektrobleche, Edelstahlbleche, Band aus Eisen-Nickel-Legierungen und aus Nichteisenmetallen wie Titan-, Kupfer-, Zink- und Aluminiumlegierungen dann besonders geeignet, wenn vor der Glühung Reste von Fertigungshilfsstoffen wie Öl und Emulsion entfernt werden müssen. Nach dem Abdampfen des Ölfilms werden durch den Gasstrahl Pigmente wie Metallabrieb und Staub von der Bandoberfläche abgeblasen, auf diese Weise wird der Pickelbildung auf den Ofentragrollen und Kratzerbildung auf der Bandunterseite entgegengewirkt.

EP 0 572 780 A2

Figure 5



Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Reinigung von Metallbandoberflächen, insbesondere zur Entfernung von ölhaltigen Belägen bei der Erwärmung des Bandes in kontinuierlichen Glühlinien, und mit den weiteren, im Patentanspruch 1 genannten gattungsbestimmenden Merkmalen.

Zum Beispiel befindet sich auf kaltgewalztem Feinblech in der Regel ein hauchdünner, fettiger Belag von etwa 0,1 bis 1 µm Dicke aus Rückständen der Walzemulsion oder des Walzöls, vermischt mit einem geringen Anteil Eisenabrieb in einer Belegungsdichte zwischen 5 und 50 mg Fe pro m² Oberfläche, und anderen Feststoffen - überwiegend Eisenoxide, aber auch Oxide der Legierungselemente. Eine typische Zusammensetzung der Rückstände nach dem Walzen kann wie folgt angegeben werden:

	Belag in g/m ²	Anteil in %
Ölrückstand	0,387	89,3
Feststoffe	0,0463	10,7
davon Eisen	0,0138	3,185

Auch der Ölrückstand kann gelöstes Eisen enthalten, gefunden werden - abhängig von der Alkalität des Öls - 0,05 bis 0,5 %.

Wird vor dem Walzen auf das frisch gebeizte Band ein Einfettöl mit Rostschutzfunktion aufgetragen und enthält dieses Öl verseifbare Bestandteile und polare Substanzen, so finden sich Reste des Ölfilms aufgrund seiner Verankerung mit der Bandoberfläche selbst nach dem Walzen wieder, wobei die verseifbaren Bestandteile im Öl dominieren und die freien Fettsäuren im Vergleich zum Frischöl etwa auf das doppelte angereichert sind.

Im Druck- und Temperaturfeld des Walzspaltes können die bei Wasserüberschuß aus der Walzemulsion zu Fettsäuren hydrolysierten Esterverbindungen mit dem Metallhydroxid auf der Bandoberfläche Metallseifen (Carboxylate) bilden. Dieser Prozeß setzt erst bei Bandtemperaturen über 100 °C ein; zur Metallseifenbildung neigen Eisen und Mangan, nicht aber Kupfer und Nickel. Auf Edelstahlbändern (Chrom/Nickel/Eisen) läßt sich Metallseifenbildung ebenfalls nicht nachweisen.

Carboxylate destillieren bei der nachfolgenden Wärmebehandlung des kaltgewalzten Bandes nur sehr schwer ab und hinterlassen dunkle Schattierungen. Nach heutigem Kenntnisstand sind sie der Hauptverursacher der Kohlenstoffrückstände auf dem Band. Bei der Erwärmung des Bandes verdampfen zwischen 100 und 300 °C zunächst die leichtflüchtigen paraffinischen Mineralölbestandteile; ihre thermische Stabilität nimmt mit der Kettenlänge stark ab. Dann folgen naphthenische und aromatische Kohlenwasserstoffe, bei etwa 400 °C sind nur noch die höher siedenden Ester nachweisbar.

Der Oberflächenzustand von kaltgewalztem Band vor und nach Glühbehandlung sowie vor und nach Reinigung ist in der Fachliteratur umfassend beschrieben worden. Hinreichend belegt ist auch, daß die Menge an Feststoff mit der Ölmenge auf dem Band ansteigt, ferner, daß die Menge an Metallpigmenten auf geglühtem Band mit der Restkohlenstoffmenge zunimmt. Die beim Aufheizen abdampfenden Ölrückstände können unter Rußabscheidung im Ofenraum, vorzugsweise an den Ofenwänden im Einlaufteil aber auch an den Strahlrohren, kondensieren. Polymorpher Kohlenstoff (Ruß und Graphit) begünstigt den Aufbau von Pickeln auf den Ofentragrollen. Pickel hinterlassen auf der Bandunterseite Beschädigungen in Form von Eindrücken und Kratzern und führen mithin zu Qualitätsabwertungen und Ausschuß. Eine andere negative Begleiterscheinung ist die Aufkohlung der Bandoberfläche, die insbesondere bei Werkstoffen mit niedrigsten Kohlenstoffgehalten wie zum Beispiel legiertes Elektroblech, mit Blick auf die Alterungsanfälligkeit derartiger Werkstoffe unbedingt vermieden werden muß.

Kontinuierlichen Glühlinien sind zur Beseitigung der ölhaltigen Rückstände auf der Bandoberfläche notwendigerweise Bandreinigungsanlagen vorgeschaltete Bekannt sind Verfahren wie die Spritzreinigung mit stark alkalischen Reinigungslösungen, die Dampf- oder Spritzentfettung mittels Trichlorethylen, die verschiedenen elektrolytischen Reinigungsverfahren und kombinierte Verfahren, die in der Dampfphase und Flüssigphase arbeiten. Dabei sind in fast allen Anlagen eine oder mehrere Bürsteinrichtungen installiert. Andererseits kann die Aufspritzleistung so erhöht werden, daß die Reinigung ausschließlich durch den hohen Druck bewirkt wird.

Alkalische Reinigungslösungen enthalten organische Lösemittel wie Trichlorethylen oder Perchlorethylen, und anorganische Lösemittel wie Soda, Ätzalkalien, sowie Komplexbildner, Silikate, Pyrophosphate, Tripolyphosphate, und oberflächenaktive Substanzen, meist schaumarme biologisch abbaubare Tenside.

Die Wahl des Reinigungsverfahrens richtet sich nach dem gewünschten Oberflächenzustand des Bandes vor dessen Weiterverarbeitung, zum Beispiel danach, ob es nach der Reinigung lackiert, feuerverzinkt, verchromt oder in anderer Weise oberflächenveredelt werden soll, oder ob es einer Glühbehandlung unterzogen wird, in deren Ergebnis bestimmte Werkstoffeigenschaften erwartet werden - wie im Fall des

Elektroblechs zum Beispiel geringste Ummagnetisierungsverluste und hohe Polarisation bei minimaler Alterung.

Kritisch bei allen Verfahren, ob Tauch-, Spritz-, Bürst- oder elektrolytischen Verfahren, ist die Aufbereitung der mit dem öligen Rückstand angereicherten Lösemittel. Zunächst muß der Rückstand in aufwendigen Verfahrensschritten vom Lösemittel getrennt werden. Erst dann kann dieser einer entsprechenden Entsorgung zugeführt werden.

Neben den Entsorgungsproblemen und den hohen Betriebskosten von Bandreinigungsanlagen ist von Nachteil, daß nicht in jedem Fall eine ausreichende Entfettung der Bandoberfläche und restlose Entfernung der mechanisch haftenden Abriehteilchen gelingt. So ist bekannt, daß man mit Trichlorethylen zwar eine ausgezeichnete Entfettung erreicht, die Entfernung der an der Oberfläche haftenden Feststoffpartikel aber unzulänglich ist. Umgekehrt entfernen Spritzanlagen mit Bürsteinrichtungen vorwiegend Feststoffpartikel, entfetten aber nicht vollständig, wodurch zum Beispiel der Entkohlungsprozeß in der nachfolgenden Wärmebehandlung beeinträchtigt wird.

Auch andere Verfahren arbeiten nicht zuverlässiger; bei der elektrolytischen Reinigung stört die Adsorption von Silikaten auf der Bandoberfläche, selbst mit mehrmaliger Reinigung läßt sich kein günstigeres Ergebnis erzielen.

Diese Erfahrungen zwingen häufig zum Einsatz kombinierter Reinigungsverfahren mit entsprechend höheren Anlagen-, Betriebs- und Wartungskosten. Aber selbst hiermit ist die restlose Entfernung von Fertigungshilfsstoffen und Abrieb auf Metallbandoberflächen nicht immer zu verwirklichen, meist bleibt die Effizienz des Verfahrens hinter den Erwartungen zurück. Gemessen an der Ausgangsbelegungsdichte gilt eine Reinigung schon als überdurchschnittlich, wenn die Restbelegung eine Quote unter zehn Prozent erreicht.

Besonders saubere Oberflächen werden bei Glühung in reiner Wasserstoffatmosphäre erzielt. Stellvertretend für die zahlreichen Publikationen, die die Vorteile der Haubenglühung unter Wasserstoff beschreiben, sei hier auf Hubert, G. und R. Maaß: Zeitschrift "Gas wärme international". Band 38 (1989), Heft 9, Seiten 515 bis 522, verwiesen. Es wurde erkannt, daß Wasserstoff auf das Siedeverhalten eines Walzöls insofern Einfluß nimmt, als die Siedemaxima zu niedrigeren Temperaturen verschoben werden.

Ein Verfahren zum Glühen von dünnem Stahlblech unter 0,5 mm Dicke mit Ölrückständen in mindestens 20 % Wasserstoff enthaltender Schutzgasatmosphäre ist in der Europäischen Patentanmeldung 0405092 A 1 (1990) beschrieben. Danach läßt sich eine gute Reinigungsqualität dann erzielen, wenn beim Aufheizen des Coils eine Temperatur von 450 °C erst nach einer Zeit von 5 Stunden oder länger überschritten wird.

Ein anderes Verfahren zur Glühung von kaltgewalztem Stahlblech in nichtoxidierender Stickstoff/Wasserstoff-Schutzgasatmosphäre ist aus JP-Patent 63255326 (1988) bekannt. Die aus der thermischen Spaltung der Öldämpfe stammenden Kohlenstoffverbindungen CO, CO₂, CH₄, C₂H₄, C₂H₆, C₃H₃ und C₃H₆ werden durch katalytische Behandlung des Schutzgases entfernt.

Schließlich wird in der Europäischen Patentanmeldung 0416758 A 1 (1990) ein Verfahren zur thermischen Entfettung von Aluminiumblech und Aluminiumteilen vorgestellt, das ohne Lösemittel auskommt, indem die zu entfettenden Teile bei einer Temperatur zwischen 300 und 400 °C über eine Dauer von 10 bis 30 Minuten einer reaktiven Atmosphäre, vorzugsweise Luft oder Sauerstoff, ausgesetzt werden. Die organischen Verunreinigungen auf dem Blech sollen mit der Gasatmosphäre reagieren, ohne die darunterliegende Oxidhaut anzugreifen, um die Lötbarkeit nicht zu beeinträchtigen. Gestützt auf die analytische Untersuchung der nach verschiedenen Reinigungsverfahren vorgefundenen Oberflächenbeläge wird geschlossen, daß die thermische Entfettung an Luft eine gangbare Alternative zur Entfettung unter Vakuum oder mittels Lösemitteldämpfen darstellt. Außer der globalen Feststellung, daß die Glühparameter auf den Öltyp und die reaktiven Komponenten der Gasatmosphäre zuzuschneiden sind, vergleiche Seite 3 der Patentschrift, Zeilen 35 und 36, fehlt jeglicher Hinweis, auf welche Weise das geschehen soll, wie zum Beispiel Gastemperatur und Glühguttemperatur, Siedeverlauf und Glühzeit miteinander abzustimmen sind, um ein vollständiges Abdampfen des Ölbelags und quantitativ die Umsetzung der Öldämpfe mit der oxidierenden Atmosphäre sicherzustellen. Die fehlende Vorschrift erklärt den mit über 30 % ausgewiesenen verhältnismäßig hohen Kohlenstoffanteil im Rückstand nach beendeter thermischer Entfettung, vergleiche Seite 5 der Patentschrift, Tabelle III (A1-8 bis A1-10), Spalten 7 und 14.

Allen diesen Verfahren ist gemeinsam, daß für das Abdampfen ölhaltiger Beläge auf dem Glühgut genügend Zeit zur Verfügung steht, d.h. die Glühdauer ist für den Abdampfvorgang keine kritische Größe. Bei kontinuierlichen Glühlinien hingegen ist man an vergleichsweise kurze Zeiten gebunden, die sich aus der Länge des Aufheizteils und der maximalen Bandgeschwindigkeit ergeben. Diese Zeiten liegen im Sekundenbereich und erfordern zusätzliche Maßnahmen, um ein vollständiges Abdampfen des Ölrückstandes zu erreichen.

Die Glühung von Metallband in kontinuierlichen Glühlinien unterscheidet sich vom stationären Glühprozeß in Haubenöfen insbesondere dadurch, daß beim Durchsatz von ungereinigtem Band geeignete Maßnahmen ergriffen werden müssen, um die ansonsten unvermeidlichen Kohlenstoffablagerungen im Ofenraum zu unterbinden. Um das bei der Erwärmung des Bandes im Ofen abdampfende Öl in CO und CO₂ umzusetzen, muß eine gegenüber Kohlenstoff oxidierende Atmosphäre eingestellt werden. Damit ist andererseits aber die Gefahr gegeben, daß auch die Metalloberfläche oxidiert wird und im ungünstigsten Fall sogar die Oberflächenschichten erfaßt werden. Diesbezüglich sensible Werkstoffe wie vakuumentgaste, ultrareine Elektroblechgüten mit niedrigsten Kohlenstoff- und Sauerstoffgehalten, können jedoch nur unter Gasatmosphären geglüht werden, die gegenüber der Metalloberfläche und den Legierungselementen reduzierend wirken.

In der Patentschrift FR-A-2308436 wird ein Verfahren zur Entfernung von Ölresten auf der Innenwand von Kupferrohr beschrieben. Dieses besteht darin, daß das Rohr während der Glühung auf eine Temperatur aufgeheizt wird, die ausreicht, den für die Verdampfung der Ölreste erforderlichen Dampfdruck zu erzeugen. Die entstandenen Öldämpfe werden durch Spülgasdurchsatz entfernt.

In den Patentschriften EP 0 069 009 B1 und EP 0 157 708 B1 sind Verfahren zur kontinuierlichen Entfettung kaltgewalzter Metallbänder (vor dem Galvanisieren) beschrieben, die das nicht oxidierende Potential einer Flamme nutzen, bzw. durch zusätzliche Injektion von Luft oder oxidierendem Abgas stöchiometrische oder sogar leicht oxidierende Verhältnisse erzeugen, vergl. hierzu R. Wang: "New process for continuous hot-dip strip galvanizing. Galvanizing Into the Next Century" - First International Conference on Galvanizing in South Africa, 3-6 November, 1986. Publisher: Council for Scientific and Industrial Research, PO Box 395, Pretoria 0001, South Africa, Vol. 8801-72-0049, 13 pages, zum anderen R. Wang: "Direct-fired heating in continuous hot-dip galvanizing lines", Verlag Stahleisen mbH, Düsseldorf (1990), Seiten 75-87, ISBN 3-514-00416-1.

Diese Verfahren sind in wesentlichen Merkmalen nicht geeignet, das technische Problem zu lösen, das darin besteht, daß nicht nur die ölhaltigen Rückstände vom Band entfernt werden müssen, sondern daß auch eine Rückkohlung des Bandes durch sich ablagernden Kohlenstoff, wie sie bei unterstöchiometrischer Umsetzung der Öldämpfe unvermeidlich eintreten würde, aber selbst bei leicht oxidierenden Bedingungen in den angegebenen Temperaturbereichen eintreten kann, verhindert werden muß. Der Nachteil obiger Verfahren kann nur durch eine technische Lösung beseitigt werden, mit der sichergestellt ist, daß für die Umsetzung der Öldämpfe sowohl bei ihrer Entstehung unmittelbar über der Bandoberfläche als auch bei ihrer Vermischung mit der Gasatmosphäre immer mindestens soviel reaktiver Sauerstoff zur Verfügung steht, wie für die restlose Oxidation des Kohlenstoffs aus den Ölrückständen gebraucht wird.

Unterstöchiometrische Verhältnisse in bezug auf die Kohlenstoffumsetzung zu CO und CO₂, wie sie sich aus den für die Verfahren angegebenen Band- und Gastemperaturbereiche und auch den vorgeschriebenen Schwankungsbreiten des Wasserstoff- und Wasserdampfangebots (H₂ zwischen 2 und 30 %, H₂O zwischen 5 und 30 %) sowie den daraus resultierenden Partialdruckverhältnissen

$$p_{\text{H}_2\text{O}}/p_{\text{H}_2}$$

bzw.

$$p_{\text{CO}_2}/p_{\text{CO}}$$

ergeben, sind schädlich.

Es hat sich zusätzlich gezeigt, daß ein gehobeneren Qualitätsansprüchen genügendes, sauberes Band nur zu erzielen ist (sofern auf eine Vorreinigung verzichtet werden soll), wenn mit entsprechenden technischen Mitteln für einen intensiven Austausch des Reaktionsgases auf der Bandoberfläche und für ausreichende Durchwirbelung der Gasatmosphäre gesorgt wird.

Ein solches technisches Mittel bietet sich erfindungsgemäß mit der Prallströmung, die durch Gebläse, Pumpen und dergleichen, und Schlitz- oder Runddüsen erzeugt wird. Diese ist dadurch gekennzeichnet, daß ein aus einer Düse mit hoher Ausströmgeschwindigkeit austretender Gasstrahl senkrecht oder mit zur Normalen geringfügig geneigten Strahlachse auf die Bandoberfläche auftrifft. Der auf das Band prallende turbulente Freistrahler wird beim Auftreffen in eine wandparallele Strömung umgelenkt. Wegen der hohen

Gasgeschwindigkeiten können mit der Prallströmung wesentlich höhere Wärmeübergänge als mit einem am Wärmegut entlang strömenden Gas erzielt werden. Die Charakteristika der Prallströmung sind in der Fachliteratur hinlänglich beschrieben worden; als Beispiel hierfür sei angeführt R. Gardon, J.C. Akfirat: "The rate of turbulence in determining the heat-transfer characteristics of impinging jets", Int. Journal Heat Mass

5 Transfer, Vol. 8 (1965), pp. 1261-1272.

Ein entscheidender Nachteil der in den vorgenannten Patenten beschriebenen Verfahren besteht darin, daß es keinerlei Hinweis für die Bemessung des Schutzgasdurchsatzes in Abhängigkeit von Band- und Gastemperatur sowie der Gaszusammensetzung gibt, so daß ein wirtschaftliches Arbeiten in Frage gestellt ist. Insbesondere fehlt der Bezug zum Abdampfverhalten der Ölrückstände auf dem Band.

10 Aus der Differentiation der Siedekurve nach der Zeit erhält man bekanntlich den Verlauf der Abdampfrate, das ist der pro Zeiteinheit abdampfende Masseanteil des Öls, über der Temperatur. Bei bestimmten, den Öltyp kennzeichnenden Siedetemperaturen können ein Maximum oder mehrere Maxima der Abdampfrate auftreten. Das führt auf den Gedanken, das Schutzgasangebot und das Oxidationspotential des Gases auf das Abdampfverhalten des Ölrückstandes bei den kennzeichnenden Siedetemperaturen abzustimmen. Im

15 Fachschrifttum und in den angezogenen Patenten wird hiervon nichts erwähnt.
Schließlich ist zu beachten, daß das in den Reinigungsteil einlaufende Band einer gegenüber Kohlenstoff, aber auch gegenüber Eisen oxidierenden Atmosphäre ausgesetzt ist. Die negativen Auswirkungen bleiben aber tolerierbar gering, sofern das Band nur kurze Zeit im Reinigungsteil verweilt und die Bandoberfläche möglichst lange von dem noch nicht vollständig abgedampften Ölfilm geschützt wird -

20 entsprechende Temperaturführung vorausgesetzt. Unter diesen Bedingungen erlangt die Oxidation reaktionskinetisch noch keine Bedeutung.
Wesentliche Vorbedingung für die Anwendbarkeit eines solchen Verfahrens und die erforderliche Prozeßsicherheit ist die Kenntnis der technologischen Grundlagen und der Prozeßparameter in ihrer wechselseitigen Abhängigkeit, beispielsweise des Temperaturgradienten unter dem Gasstrahl in seinem

25 Einfluß auf den Dampfdruck des Ölbelages auf der Bandoberfläche. Konkretes technologisches Wissen für die Ausgestaltung des Verfahrens ist der einschlägigen Fach- und Patentreliteratur nicht zu entnehmen.
Insgesamt vermitteln die angezogenen Patentschriften und das einschlägige Fachschrifttum keine Lehre, die den Fachmann in die Lage versetzt, die vorstehend beschriebenen Reinigungsverfahren ohne weiteres oder nach naheliegenden Änderungen auf den kontinuierlichen Glühprozeß zu übertragen. Daher

30 ist es Aufgabe der Erfindung, ein die besonderen Bedingungen des kontinuierlichen Glühens von Metallband berücksichtigendes Reinigungsverfahren anzugeben, mit dem ölhaltige Beläge auf der Bandoberfläche in der prozeßbedingt zur Verfügung stehenden Zeitspanne, also innerhalb weniger Sekunden, unter Verzicht auf organische und anorganische Lösemittel zuverlässig und ohne störende Nebenwirkungen wie Kohlenstoffablagerungen im Ofenraum und Aufkohlung oder Oxidation des Glühguts, entfernt werden

35 können. Die Kosten für das Betreiben vorgeschalteter Reinigungsanlagen unter Verwendung flüchtiger oder ätzender Lösemittel wie Trichlorethylen oder Soda, und die damit verbundene Umweltbelastung sowie die toxikologische Gefährdung der an der Anlage und in deren Umgebung arbeitenden Personen sollen entfallen.
Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch ein in den kontinuierlichen Glühprozeß integriertes Reinigungsverfahren mit den im kennzeichnenden Teil der Ansprüche 1 und 2 genannten Merkmalen gelöst. Hierbei wirkt sich besonders als Vorteil aus, daß das Band im Bereich der Prallströmung durch Überlagerung von Wärmestrahlung und Konvektion eine schnelle Aufheizung auf eine Temperatur (T_1) erfährt, die dem Siedeende des Ölrückstandes entspricht, womit sich in Verbindung mit dem proportional zur Aufheiz-

40 geschwindigkeit (\dot{T}) ansteigenden Dampfdruck (p_D) die thermischen Bedingungen für ein vollständiges

45 Abdampfen selbst polar haftender Ölkompontenten einstellen lassen. Gleichzeitig erzeugen die auf das Band gerichteten Düsen einen Abblaseffekt, wobei es sich als ein zusätzlicher Vorteil erweist, daß die Druckenergie (p_g) des Gasstrahls über die Ausströmgeschwindigkeit (u_d) und mithin über den regulierbaren Gebläse-

50 druck (p_1) an den Grad der Oberflächenverschmutzung angepaßt werden kann.
Der Vorteil, mit der Aufheizung der Bandoberfläche unter dem Gasstrahl auf den Abdampfvorgang

Einfluß nehmen zu können, gründet sich darauf, daß Bandtemperatur (T_1) und Abdampfquote (Φ) des Ölrückstandes über die Siedekurve verknüpft sind, und auf die Beobachtung, daß die Abdampfquote (ϕ) über der Temperatur (T) normalverteilt ist:

55

$$\Phi_g = \varphi_s \int_{T_0}^{T_1} \exp \{ -\varphi_s^2 \pi (T - T_s)^2 \} dT$$

EP 0 572 780 A2

Die Temperatur (T_1) des Bandes unter dem Gasstrahl errechnet sich bei gegebener Temperatur (T_0), mit der das Band in den Bereich der Prallströmung eintritt, und gegebener Schutzgastemperatur (T_g), als Funktion des Wärmeübergangskoeffizienten (α_d), der halben Breite (R) der vom auftreffenden Gasstrahl erfaßten Fläche, sowie der Dichte (ρ), Dicke (h), Geschwindigkeit (u) und Wärmekapazität (c) des Bandes gemäß:

$$T_1 = T_g - (T_g - T_0) \exp \left\{ - \frac{4 \alpha_d \cdot R}{\rho \cdot h \cdot u \cdot c} \right\}$$

Letzteres stellt die Lösung einer Differentialgleichung dar, die sich aus der ortsfesten Betrachtung des Wärmeüberganges und des Wärmetransportes an einem Streifenelement des mit der Geschwindigkeit (u) unter dem Gasstrahl bewegten Bandes ableitet. Sie gilt unter der Voraussetzung, daß der Wärmeentzug infolge Verdampfung des Ölfilms und die Wärmeleitung in Bandlaufrichtung vernachlässigt werden können; Bedingungen, die für den Fall eines sehr dünnen Ölfilms und für dünne Bänder mit vergleichsweise großen Breiten zutreffen. Diese Bedingungen sind für das Glühgut in kontinuierlichen Glühlinien im allgemeinen erfüllt: Ölfilmdicke zu Banddicke etwa 10^{-3} , Banddicke zu Bandbreite etwa $5 \cdot 10^{-3}$ bis $5 \cdot 10^{-4}$.

Es hat sich gezeigt, daß die Temperaturberechnung nach obiger Gleichung besonders vorteilhaft für Bänder im Dickenbereich unter 3 mm angewendet werden kann; die Temperaturabweichung zwischen Bandoberfläche und Mitte des Bandquerschnitts liegt im Bereich von Zehntel Kelvin.

Es ist sicherzustellen, daß das Band im Reinigungsteil die Temperatur (T_e) erreicht, denn der Ölrückstand soll innerhalb der Temperaturgrenzen (T_a) und (T_e) vollständig abdampfen. Diese Forderung ist dann erfüllt, wenn die Abdampfquote (Φ) einen Zahlenwert nahe oder gleich eins annimmt:

$$\Phi = \varphi_s \int_{T_a}^{T_e} \exp \left\{ - \varphi_s^2 \pi (T - T_s)^2 \right\} dT = 1$$

Ein gutes Reinigungsergebnis stellt sich vor allem dann ein, wenn die Siedetemperatur (T_s), die das Maximum des pro Kelvin Temperaturerhöhung abdampfenden Masseanteils des Ölrückstandes (φ_s) kennzeichnet, unter dem Gasstrahl, d.h. nach Eintritt des Bandes in den Bereich der Prallströmung, erreicht und vor Verlassen dieses Bereiches soweit überschritten wird, daß der Abdampfvorgang beendet ist.

Die Düsenreihen sind innerhalb des Reinigungsteils positioniert, folglich gilt $T_0 > T_a$ und $T_1 < T_e$. Mit einem empirisch ermittelten, stoffspezifischen Zahlenwert des Ölrückstandes (γ) wird die Temperatur (T_1) definiert, bei der das Siedeende eintritt:

$$T_1 = T_s + T' = T_s + \frac{1}{\gamma^2} T_s$$

$$T_1 = T_s \cdot \left(1 + \frac{1}{\gamma^2} \right)$$

Für die Steuerung des Abdampf- und Abblasvorganges lassen sich vorteilhaft die folgenden Zusammenhänge nutzen:

$$p_D = \dot{i}$$

5

$$\dot{i} = \frac{u}{2R} (T_1 - T_0)$$

$$= \frac{u}{2R} [T_s (1 + \frac{1}{\gamma^2}) - T_0]$$

10

$$= \frac{u}{2R} (T_g - T_0) \cdot \left[1 - \exp \left\{ - \frac{4 \alpha_d \cdot R}{\rho \cdot h \cdot c \cdot u} \right\} \right]$$

15

$$p_g = \frac{\rho_g}{2} \cdot u_d^2$$

Die Druckenergie des Gasstrahls wächst mit dem Quadrat der Ausströmgeschwindigkeit (u_d). Von Vorteil ist, daß nach den Gesetzen der Prallströmung zugleich auch der mittlere Wärmeübergangskoeffizient (α_d) und mithin die Bandtemperatur (T_1) ansteigt, gemäß:

20

$$\alpha_d = k_0 \cdot \frac{(c_g \cdot \rho_g)^{k_1} \cdot \lambda^{1-k_1} \cdot d^{2k_2-1}}{\sqrt{k_2 - k_1}} \cdot \left[\frac{u_d}{\sqrt{\frac{8R \cdot u}{\pi}}} \right]^{k_2}$$

25

Somit wirkt sich die Änderung des Gebläsedrucks sowohl auf die Abdampfquote wie auf den Ablaseffekt aus.

30

Die in vorgenannten Gleichungen benutzten Symbole - Buchstaben und Indizes - haben die folgende Bedeutung:

- Φ_g ist der im Reinigungsteil unter dem Gasstrahl bei Temperaturerhöhung von T_0 auf T_1 abdampfende Masseanteil des Ölrückstandes;
- 35 ϕ_s ist die maximale Abdampfquote des Ölrückstandes pro Kelvin Temperaturzunahme;
- T ist die unter dem Gasstrahl von T_0 auf T_1 ansteigende Bandtemperatur;
- T_s ist die Siedetemperatur, bei der das Maximum ϕ_s des pro Kelvin Temperaturerhöhung abdampfenden Masseanteils auftritt;
- 40 T_a, T_e sind die Anfangstemperatur bzw. Endtemperatur des Bandes im Reinigungsteil;
- γ ist ein stoffspezifischer Zahlenwert des Ölrückstandes, aus dem sich die Temperatur errechnet, bei der der Abdampfvorgang beendet ist;
- p_D ist die Dampfdruckänderung des Ölrückstandes;
- \dot{T} ist der Anstieg der Bandtemperatur pro Zeiteinheit unter dem Gasstrahl;
- u ist die Bandgeschwindigkeit unter dem Gasstrahl;
- 45 R ist die halbe Breite der vom Gasstrahl auf dem Band erfaßten Fläche;
- α_d ist der mittlere effektive Wärmeübergangskoeffizient in dem vom Gasstrahl erfaßten Bereich der Bandoberfläche;
- ρ ist die Dichte des Bandwerkstoffes;
- ρ_g ist die Dichte des Gasgemisches bei der Gastemperatur T_g ;
- 50 p_g ist die Druckenergie des Gasstrahls;
- c ist die spezifische Wärmekapazität des Bandwerkstoffes;
- c_g ist die spezifische Wärmekapazität des Gasgemisches bei der Gastemperatur T_g ;
- λ_g ist die Wärmeleitfähigkeit des Gasgemisches bei der Temperatur T_g ;
- ν_g ist die kinematische Viskosität des Gasgemisches bei der Temperatur T_g ;
- 55 d ist der Düsendurchmesser;
- k_0 ist eine Konstante, die sich aus der mittleren Nusseltzahl, der Prandtlzahl, der Reynoldszahl und dem Quotienten aus der vom Gasstrahl erfaßten Bandoberfläche und der Düsenquerschnittsfläche errechnet, gemäß:

$$k_0 = \frac{Nu}{\rho_r k_1} \left[\frac{1}{Re} \sqrt{\frac{8R \cdot u}{d^2 \pi}} \right]^{k_2}$$

5

k_1, k_2 sind die dazugehörigen Exponenten, für die praktische Rechnung ist $k_1 = 0,42$ und $k_2 = 0,707$ einzusetzen.

Vorteilhaft für die Wärmeübertragung und Bandsauberkeit ist bekanntlich die Verwendung von wasserstoffangereichertem Schutzgas. Diesem wird erfindungsgemäß mindestens soviel Wasserdampf zugesetzt, wie nach dem Massenwirkungsgesetz bei Einstellung des heterogenen und homogenen Wassergasgleichgewichtes für die Umsetzung des Kohlenstoffs aus dem Ölrückstand erforderlich ist. Für ein Schutzgas gegebener Wasserstoff/Stickstoff-Zusammensetzung und Temperatur (T_g) errechnet sich das Oxidationspotential (μ_{ox}) gegenüber Kohlenstoff aus den Gleichgewichtskonstanten der Wassergasreaktionen und den Partialdrücken oder Volumenanteilen Wasserstoff und Wasserdampf:

15

$$K_1 = \frac{u_{CO} \cdot (u_{H_2} + u_{CO})}{u_{H_2O} \cdot u_{CO}} = \frac{u_{CO} \cdot u'_{H_2}}{u'_{H_2O}}$$

20

$$K_2 = \frac{(u_{CO} - u_{CO_2}) (u'_{H_2O} - u_{CO_2})}{u_{CO_2} \cdot (u'_{H_2} + u_{CO_2})} = \frac{u'_{CO} \cdot u''_{H_2O}}{u_{CO_2} \cdot u''_{H_2}}$$

25

$$\mu_{Ox} = \frac{M_C}{V_m} (u_{CO} - u_{CO_2})$$

30

Die Gleichgewichtskonstanten der Wassergasreaktionen können dem einschlägigen Fachschrifttum entnommen werden, siehe zum Beispiel D'ANS-LAX, Taschenbuch für Chemiker und Physiker, Springer-Verlag (1967), Band 1, S. 895, oder W. GUMZ, Kurzes Handbuch d. Brennstoff- u. Feuerungstechnik, Springer-Verlag (1962). Mit bekannten Schutzgasvolumenanteilen Wasserstoff und Wasserdampf lassen sich die Volumenanteile CO und CO₂ wie folgt berechnen:

40

$$u_{CO} = \sqrt{\left[\frac{u_{H_2} + K_1}{2} \right]^2 + u_{H_2O} \cdot K_1} - \frac{u_{H_2} + K_1}{2}$$

45

$$u_{CO_2} = \sqrt{\left[\frac{u'_{H_2} \cdot K_2 + u'_{H_2O} + u_{CO}}{2(K_2 - 1)} \right]^2 + \frac{u_{CO} \cdot u'_{H_2O}}{K_2 - 1}} - \frac{u'_{H_2} \cdot K_2 + u'_{H_2O} + u_{CO}}{2(K_2 - 1)}$$

50

Bei bekanntem Kohlenstoffbelag auf dem Band, der für praktische Zwecke hinreichend genau mit der Masse des Ölbelages auf dem Band gleichgesetzt werden kann, läßt sich eine Gleichgewichtsbedingung formulieren, aus der für einen gegebenen Kohlenstoffbelag multipliziert mit der Abdampfquote entweder das erforderliche Mindestoxidationspotential bei gegebenem Gasangebot der Düse (\dot{V}_d) ermittelt werden kann, oder, bei gegebenem Oxidationspotential des Schutzgases das Mindestgasangebot der Düse:

55

$$\dot{V}_d \cdot \mu_{Ox} \geq m_C \cdot 2R \cdot u \cdot \Phi$$

In diese Bedingung ist definitionsgemäß die Abdampfquote (Φ), das ist der im Reinigungsteil von der Anfangstemperatur (T_a) bis zur Endtemperatur (T_e) des Bandes insgesamt abdampfende Masseanteil des Ölrückstandes, einzusetzen.

In der Praxis ist es von Vorteil, den Prozeß so zu führen, daß der Quotient (ζ) aus dem Gasangebot der Düse (\dot{V}_d) multipliziert mit dem Oxidationspotential des Gasstrahls (μ_{ox}) einerseits, und dem Produkt aus dem vom Gasstrahl auf der Bandoberfläche erfaßten Kohlenstoffbelag (\dot{m}_C) mit der Abdampfquote (Φ), andererseits, den Zahlenwert eins erreicht und überschreitet:

$$\zeta = \frac{\dot{V}_d \cdot \mu_{ox}}{\dot{m}_C \cdot \Phi} \geq 1$$

$$\dot{m}_C = m_C \cdot 2R \cdot u$$

Die in vorgenannten Gleichungen benutzten Symbole - Buchstaben und Indizes - haben die folgende Bedeutung:

K_1, K_2 sind die Konstanten des heterogenen bzw. homogenen Massenwirkungsgesetzes bei der Schutzgastemperatur T_g ;

$$u_{H_2}, u_{CO}, u_{H_2O}, u_{CO_2}, u'_{H_2}, u'_{H_2O}, u'_{CO}, u''_{H_2}, u''_{H_2O}$$

sind die Schutzgasvolumenanteile bei heterogenem bzw. homogenem Wassergasgleichgewicht;

M_C ist die Molmasse des Kohlenstoffs, 0,012011 kg/mol;

V_m^e ist das Standardmolvolumen der Gase, 0,02241384 m³/mol;

μ_{ox} ist das Oxidationspotential der Schutzgaszusammensetzung gegenüber Kohlenstoff;

\dot{V}_d ist der Gasvolumenstrom durch die Düse;

m_C ist der Kohlenstoffbelag auf dem Band pro Flächeneinheit.

Ein weiterer Vorteil des erfindungsgemäßen Verfahrens besteht darin, daß die Schutzgastemperatur und mithin die Temperatur des Gasstrahls sehr viel höher liegt als die Temperatur des in den Reinigungsteil einlaufenden Bandes. Mit fortschreitender Banderwärmung verringert sich zwar der Temperaturunterschied, die Bandtemperatur bleibt aber am Auslauf des Reinigungsteils noch deutlich, bis zu mehreren hundert Kelvin, unter der Schutzgastemperatur.

Sind die Ölrückstände erst einmal in Öldampf umgewandelt, wird die Umsetzung zu CO und CO₂ in der heißen Gasatmosphäre sehr schnell ablaufen, denn die Reaktionsgeschwindigkeiten sind im oberen Temperaturbereich sehr hoch. Auf der anderen Seite erlangen Oxidationsreaktionen an der Bandoberfläche und Diffusionsvorgänge im Bandwerkstoff aufgrund der noch niedrigen Bandtemperatur und kurzen Verweildauer des Bandes im Reinigungsteil reaktionskinetisch kaum Bedeutung. Zusätzliche Sicherheit bietet die Maßnahme, das Band im Reinigungsteil über die Verteilung der Strahlheizrohre oder elektrischen Heizelemente und die Positionierung der Düsenreihen so zu erwärmen, daß die Siedetemperatur (T_s) des Ölrückstandes erst kurz vor Verlassen des Reinigungsteils erreicht ist, so daß der noch nicht vollständig abgedampfte Ölfilm die Bandoberfläche möglichst lange vor Oxidation schützt. Somit bleibt diese der oxidierenden Atmosphäre nur über sehr kurze Dauer ausgesetzt. Nach Verlassen des Reinigungsteils durch die Auslaufschleuse gelangt das Band in eine gegenüber Eisen, Mangan, Silicium und Aluminium reduzierende Atmosphäre.

Um eine Kohlenstoffabscheidung zu verhindern, wie sie in ruhender oder nur wenig bewegter Ofenatmosphäre selbst bei Einspeisung von Wasserdampf an den kälteren Stellen des Ofenraumes, vor allem im Bereich des Banderinlaufs, aber auch an den Strahlheizrohren zu beobachten ist, wird das Schutzgas umgewälzt und so für hinreichenden Temperatureausgleich gesorgt. Dieser ist erfindungsgemäß dann gewährleistet, wenn das Gasangebot der zugeschalteten Düsen den für die Umsetzung der Öldämpfe zu CO und CO₂ erforderlichen Schutzgasdurchsatz um ein Mehrfaches, mindestens aber um das Zweifache, übersteigt:

$$\sum_{i=1}^n \dot{V}_{di} \geq 2 \dot{V}_g$$

5 Hierbei ist der Schutzgasdurchsatz (\dot{V}_g) als Funktion des zeitlich umzusetzenden Kohlenstoffbelages, der Abdampfquote (Φ) und des Oxidationspotentials des Schutzgases (μ_{ox}) wie folgt definiert:

$$10 \quad \dot{V}_g = \frac{2 m_c \cdot b \cdot u \cdot \Phi}{\mu_{ox}}$$

15 Die in vorgenannten Gleichungen benutzten Symbole - Buchstaben und Indizes - haben die folgende Bedeutung:

- \dot{V}_g ist der Schutzgasdurchsatz im Reinigungsteil pro Zeiteinheit;
- n ist die Zahl der Zugeschalteten Düsen;
- b ist die Bandbreite;
- 20 Φ ist der im Reinigungsteil bei Temperaturerhöhung von T_a auf T_e insgesamt abdampfende Masseanteil des Ölrückstandes.

Ölrückstände werden von der Bandoberfläche im allgemeinen mit einem flüchtigen Lösemittel, zum Beispiel Trichlorfluorkohlenwasserstoff, bekannt unter den Handelsnamen Freon, Kaltron, Frigen, oder n-Heptan (Leichtbenzin) abgewaschen. Bei der Untersuchung des Siedeverhaltens dieser Rückstände mittels 25 Thermowaage, zum Beispiel System Mettler oder Perkin-Elmer, hat sich herausgestellt, daß neben unimodalen Verteilungen der Abdampfrate (ϕ) über der Temperatur (T) auch bimodale oder multimodale Verteilungen auftreten können. Letztere stellen sich immer dann ein, wenn der Rückstand aus einer Mischung verschiedener Ölsorten besteht, zum Beispiel aus Mineralöl und synthetischen oder tierisch/pflanzlichen Estern. Die Öle unterscheiden sich in ihrer Struktur und Molmasse und folglich auch im 30 Siedeverhalten.

Diese Gegebenheiten werden nachstehend anhand von Thermogrammen erläutert. In Fig. 1 zeigt der rechte Bildteil die Siedekurve, der linke Bildteil die erste Ableitung der Siedekurve nach der Zeit. Da die Aufheizgeschwindigkeit konstant gehalten wird, zum Beispiel 1 Kelvin pro Minute, ist der Siedeverlust pro Zeiteinheit gleichzusetzen mit dem Siedeverlust pro Kelvin Temperaturerhöhung. Wird der Siedeverlust 35 durch die Einwaage dividiert, ergibt sich die Abdampfrate (ϕ). Die Abdampfquote (Φ) ist das bestimmte Integral unter der Abdampfrate im betrachteten Temperaturbereich.

Im vorliegenden Fall handelt es sich um eine unimodale Verteilung der Abdampfrate mit dem Maximum bei der Temperatur (T_s) von 189,7 °C, entsprechend 462,9 Kelvin. Es hat sich herausgestellt, daß die Abdampfrate über der Temperatur mit guter Näherung als Normalverteilung mit einer Spreizung 40 (Standardabweichung) von 34,1 Kelvin abgebildet werden kann. Die Abdampfrate erreicht im Siedemaximum den Wert von 0,0117 pro Kelvin.

In Fig. 2 sind Siedekurve und Abdampfrate übereinander dargestellt. Die Abdampfrate folgt einer multimodalen Verteilungsfunktion, die jedoch von den normalverteilten Abdampfraten der beiden Hauptkomponenten des Ölrückstandes so dominiert wird, daß sie in guter Näherung als bimodale Funktion angesehen 45 werden kann. Die Siedemaxima der beiden dominanten Verteilungen treten bei 229,4 °C, entsprechend 502,6 Kelvin, und bei 378,5 °C, entsprechend 651,7 Kelvin, auf, bei einer Spreizung von 53,9 bzw. 18,1 Kelvin. Die maximalen Abdampfraten betragen 0,0037 bzw. 0,0110 pro Kelvin. Somit kann die Abdampfquote (Φ) unter Zugrundelegung der Bimodalität aus der Summe der beiden normalverteilten Abdampfraten (ϕ_A) und (ϕ_B) der Hauptkomponenten des Ölrückstandes berechnet werden:

$$50 \quad \Phi = 2 k_A \varphi_{s_A} \cdot \int_{T_a}^{T_e} \exp \left\{ -4 \varphi_{s_A}^2 \pi (T - T_{s_A})^2 \right\} dT + 2 k_B \varphi_{s_B} \cdot \int_{T_a}^{T_e} \exp \left\{ -4 \varphi_{s_B}^2 \pi (T - T_{s_B})^2 \right\} dT$$

EP 0 572 780 A2

Auch bei bimodaler Verteilung der Abdampfrate über der Temperatur gilt, daß sich ein gutes Reinigungsergebnis dann einstellt, wenn die Siedetemperaturen

5
$$(\tau_{sA})$$

und

10
$$(\tau_{sB})$$

nach Eintritt des Bandes in den Bereich der Prallströmung erreicht und vor Verlassen dieses Bereiches soweit überschritten sind, daß der Abdampfvorgang beendet ist. Vorteilhaft ist hierbei die Positionierung von
15 mindestens zwei Düsenreihen in der Weise, daß das Maximum der Abdampfrate

$$(\varphi_{sA})$$

20 der bei der niedrigeren Temperatur siedenden Hauptkomponente des Ölrückstandes unter der Prallströmung der in Bandlaufrichtung zuerst positionierten Düsenreihe erreicht wird, das Maximum der Abdampfrate

25
$$(\varphi_{sB})$$

der bei der höheren Temperatur siedenden Hauptkomponente unter der Prallströmung der folgenden Düsenreihe. Zur Gewährleistung der vollständigen Verdampfung des Ölrückstandes hat es sich als ausreichend erwiesen, die Temperatur (T_e), die das Band vor Verlassen des Reinigungsteils erreichen soll, am Siedeende der höhersiedenden Hauptkomponente zu orientieren, gemäß:

35
$$T_e \approx T_{sB} \left(1 + \frac{1}{\gamma_B^2}\right)$$

Die in den vorgenannten Gleichungen benutzten Symbole - Buchstaben und Indizes - haben die folgende Bedeutung:

40 k_A, k_B sind die Masseanteile der dominanten Komponenten A und B im Ölrückstand;
 ϕ_A, ϕ_B sind die über der Temperatur T normalverteilten Abdampfraten der Hauptkomponenten A und B im Ölrückstand;

45
$$\varphi_{sA}, \varphi_{sB}$$

sind die maximalen Abdampfraten der Hauptkomponenten A und B im Ölrückstand;

50
$$T_{sA}, T_{sB}$$

sind die Siedetemperaturen der Hauptkomponenten A und B im Ölrückstand, bei denen das Maximum der Abdampfraten

55
$$\varphi_{sA}$$

und

$$\varphi_{sB}$$

5

auftritt;

γ_B ist ein stoffspezifischer Zahlenwert des Ölrückstandes, aus dem sich die Temperatur errechnet, bei der die Verdampfung der Hauptkomponente B beendet ist.

10 Besagte Vorausberechnung der Abdampfquote (Φ) des Ölrückstandes erfordert neben der Siedekurve die Kenntnis der Grundzusammensetzung des verwendeten Walzöls und/oder Einfettöls, zumindest aber die Kenntnis der Mengenverteilung der Hauptkomponenten. Diese Angaben, aber auch Angaben über die Änderung der Rezeptur, muß der Lieferer stellen. Durch die periodische Überwachung des Siedeverhaltens der Öle sowohl beim Lieferer wie beim Anwender ist für die Stabilität der diesbezüglichen Produkteigenschaften Sorge zu tragen und die Reproduzierbarkeit des Verfahrens sicherzustellen. Es ist beispielsweise
15 auch üblich, das Einfettöl mit polaren Zusätzen zu legieren. Eine solche Maßnahme erweist sich besonders dann als wirkungsvoll, wenn mit Emulsion gewalzt wird. Bei entsprechender Rezeptureinstellung wird der Ölrückstand auf dem kaltgewalzten Band unbeeinflusst von den Walzparametern fast ausschließlich aus Resten des Einfettöls bestehen, nicht aus Resten des Emulsionsöles. Die Zusammensetzung des Ölrückstandes und mithin das Siedeverhalten weisen über größere Zeiträume keine nennenswerten Schwankungen auf.
20

Dieser Sachverhalt wird durch die Thermogramme in Fig. 3 bestätigt. Es werden die Ergebnisse von Untersuchungen verglichen, zwischen denen ein Zeitraum von 16 Monaten liegt.

Neben den vorstehend erläuterten Verfahrensmerkmalen der Erfindung nach Patentanspruch 1 und Patentanspruch 2 ergeben sich weitere Einzelheiten und Merkmale der Erfindung aus der Beschreibung der
25 Vorrichtung anhand der Zeichnung.

Es zeigt Fig. 4 die Seitenansicht des Einlaufteils der Glühlinie im Längsschnitt als erstes spezielles Ausführungsbeispiel der erfindungsgemäßen Reinigungsvorrichtung. Das Band 1 wird in den durch die Einlaufschleuse 2 und Auslaufschleuse 3 gegen die Umgebungsluft bzw. gegen die angrenzende Ofenatmosphäre abgetrennten Reinigungsteil 4 geführt. Letzterer ist mit über und unter dem Band aufeinanderfolgend angeordneten Düsenbalken 11 und Strahlheizrohren 7 bestückt. Das Band wird auf angetriebenen
30 Tragrollen 6 durch den Reinigungsteil bewegt. Vom Rest des Aufheizteils 5 gelangt trockenes Schutzgas, zum Beispiel ein Wasserstoff/Stickstoff-Gemisch im Verhältnis vier zu eins, im Gegenstrom durch die Auslaufschleuse 3 in den Reinigungsteil 4. Das Schutzgas wird durch eine Dampfeinspeisung 13, die im hinteren Drittel des Reinigungsteils unterhalb des Bandes in den Ofenraum mündet, mit Wasserdampf
35 versetzt. Der Schutzgasaustritt 18 befindet sich nahe der Einlaufschleuse ebenfalls unterhalb des Bandes. Das Schutzgas im Reinigungsteil wird mit mehreren auf dem Ofen installierten und durch Elektromotor 15 angetriebenen Gebläse 8 umgewälzt, indem es über eine durch das Ofengewölbe führende Ansaugleitung 14 angesaugt und durch die Druckleitung und über und unter dem Band angeordnete Düsenbalken 11 und Düsen 12 auf die Bandoberfläche geblasen wird. Zur Messung der Ofenraumtemperatur sind im hinteren
40 Drittel des Reinigungsteils zwei Thermolemente 17 installiert, die zweckmäßigerweise von oben durch das Gewölbe in den Ofenraum geführt werden.

Ergänzend zeigt Fig. 5 den Querschnitt des Reinigungsteils mit Gebläse 8 und zugehörigem elektrischen Antrieb 15, Ansaugleitung 14, Druckleitung 9 und die darin zur Mengenregulierung eingebaute Drosselklappe 10 sowie die Positionierung der Taupunktregelung 16, Düsenbalken 11 und Düsen 12,
45 Tragrolle 6 und Band 1 und die Wasserdampfeinspeisung 13.

Durch die Merkmale des Anspruchs 8 ist eine abgewandelte Ausführung des Reinigungsteils nach Anspruch 7 insoweit gegeben, als dieser durch Schleusen in mehrere Kammern unterteilt ist, womit die Reinigungstrecke je nach Bandgeschwindigkeit verkürzt oder verlängert werden kann, indem in den einzelnen Kammern bedarfsweise Gebläse und Düsenreihen sowie Dampf weg- oder zugeschaltet werden.

50 Die Merkmale des Anspruchs 2 wurden vorstehend bereits im Zusammenhang mit den Verfahrensmerkmalen des Anspruchs 1 erörtert.

Mit den Merkmalen des Anspruchs 3 sind die Bereiche der wichtigen Verfahrensparameter Zeitdauer, Bandtemperatur und Aufheizgeschwindigkeit unter der Prallströmung definiert, für die das Verfahren im wesentlichen ausgelegt ist.

55 In Anspruch 5 wird als obere Grenze, die die Bandtemperatur vor Verlassen des Reinigungsteils erreichen darf, eine Temperatur unterhalb der Zersetzungstemperatur des Ölrückstandes angegeben. Letztere ist diejenige Temperatur, bei der der Dampfdruck selbst unter isothermen Bedingungen, d.h. ohne weiteren Temperaturanstieg, eine zeitabhängige Größe wird und die Dampfdruckzunahme definitionsgemäß

1,87 Pascal pro Sekunde beträgt. Mit der Festlegung einer maximal zulässigen Bandtemperatur im Reinigungsteil wird Krackerscheinungen und somit einer Aufkohlung des Bandes durch graphitische Ablagerungen entgegengewirkt.

5 Durch die Merkmale der Ansprüche 9 und 11 bis 14 werden Ausgestaltungen der Reinigungsvorrichtung angegeben, die eine homogene und wirksame Schutzgasatmosphäre und eine regulierte Erwärmung des Bandes sicherstellen.

Mit den Merkmalen des Anspruchs 10 wird eine Ausgestaltung der Düsenhalterung im Düsenbalken 11 angegeben, durch die die Düsen 12 auf einfachste Weise beim Einfädern des Bandanfangs aus der Gefahrenzone gebracht werden.

10 Im Anspruch 5 ist als alternatives Verfahrensmerkmal zum Anspruch 4 angegeben, das Band nach Verlassen des Reinigungsteils durch die Auslaufschleuse 3 in eine entkohlende Ofenatmosphäre mit entsprechend hoch eingestelltem Taupunkt zu führen, womit der Anwendungsbereich des Verfahrens auf Werkstoffe ausgedehnt wird, die beispielsweise aus Gründen der Alterungsanfälligkeit einer Entkohlungsglü-
 15 hnung unterzogen werden müssen

15 In Anspruch 15 wird als Alternative zum Bandtransport im Reinigungsteil mit Hilfe angetriebener Tragrollen 6 der Transport im Schwebезustand, über ein durch Gebläsedruck und Düsen 12 unterhalb des Bandes 1 erzeugtes Gaspolster angegeben, womit die für die Reinigung der meist schmutzigeren Bandunter-
 20 terseite ohnehin auf ein höheres Niveau gebrachte Druckenergie auf der Bandunterseite vorteilhaft für die Einstellung des Schwebезustands ausgenutzt wird, so daß Aufschiebungen, Kratzer und Pickel zumindest in diesem Stadium des Aufheizens zuverlässig vermieden werden.

Durch die Merkmale des Anspruchs 6 ist eine mit einfachen technischen Mitteln realisierbare, die Umwelt schonende Abgasverbrennungs- oder Abgasverwertungseinrichtung angegeben, womit sichergestellt wird, daß im Abgas ausschließlich CO₂, H₂O und N₂ anfallen.

25 Weitere Einzelheiten und Merkmale der Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Berechnung und räumlichen Darstellung der verschiedenen Verfahrensparameter für ein spezielles Ausführungsbeispiel der Erfindung.

Ausführungsbeispiel

30 Der Ölrückstand auf der Bandoberfläche ist im Mittel zu 0,5 g/m² bestimmt worden. Vorgegeben sind ferner der Düsendurchmesser mit $d = 0,031$ m, der Auftreffdurchmesser des Gasstrahls gleich der Breite der vom Gasstrahl auf dem Band erfaßten Fläche $2R = 0,30$ m, die Banddicke $h = 0,0005$ m und Bandbreite $b = 1,240$ m, die Bandgeschwindigkeit im Reinigungsteil $u = 1,75$ m/s und die Dichte des Bandwerkstoffs $\rho = 7860$ kg/m³.

35 Die unter technisch reinem Stickstoff mit einer Thermowaage aufgenommene Siedekurve des Ölrückstandes - Einwaage 5,796 mg, Aufheizgeschwindigkeit 10 Kelvin pro Minute - ergibt differenziert nach der Temperatur eine von den zwei Hauptkomponenten des Ölrückstandes dominierte bimodale Verteilung der Abdampftrate mit den Siedemaxima

40
$$T_{SA} = 548,6 \text{ Kelvin}$$

und

45
$$T_{SB} = 697,3 \text{ Kelvin}$$

sowie mit den maximalen Abdampftraten bei diesen Temperaturen von

50
$$\varphi_{SA} = 0,0033 \text{ pro Kelvin}$$

und

55
$$\varphi_{SB} = 0,0100 \text{ pro Kelvin.}$$

Fig. 6 zeigt die dem Ausführungsbeispiel zugrundeliegende Siedekurve. Ihre Übertragung auf das Abdampfverhalten unter der realen Ofenatmosphäre erfolgt unter Berücksichtigung des jeweils eingestellten H₂/N₂-Verhältnisses. Die Verschiebung der Siedemaxima zu niedrigeren Temperaturen mit steigendem H₂-Anteil errechnet sich mit für technische Zwecke hinreichender Genauigkeit aus der Beziehung:

5

$$T_s = T_{s_{100\% N_2}} - 0,46 \cdot [\% H_2]$$

10

Für die Glühung unter 100 % Wasserstoff wäre demgemäß mit einer Erniedrigung der Siedemaxima von 46 Kelvin zu rechnen.

Im Beispiel ist ein H₂/N₂-Verhältnis gleich vier eingestellt; entsprechend ergeben sich die Siedemaxima zu

15

$$T_{sA} = 511,8 \text{ Kelvin}$$

20 und

$$T_{sB} = 660,5 \text{ Kelvin.}$$

25

Es läßt sich nun auf einfache Weise überprüfen, ob die Abdampfraten (ϕ) über der Temperatur (T) normalverteilt sind. Letzteres trifft zu und wird für die Berechnung der Abdampfquote (Φ) zugrundegelegt, wenn Siedemaximum (ϕ_s) und Spreizung (Standardabweichung σ) der Verteilungsfunktion sich zumindest näherungsweise entsprechen:

30

$$\phi_{sA} \approx \frac{1}{2\sqrt{2\pi}} \cdot \frac{1}{\sigma_A} \quad \text{und} \quad \phi_{sB} \approx \frac{1}{2\sqrt{2\pi}} \cdot \frac{1}{\sigma_B}$$

35

Für das vorliegende Beispiel mit der Spreizung $\sigma_A = 19,3$ Kelvin und $\sigma_B = 56,0$ Kelvin ergibt die Gegenüberstellung:

40

Hauptkomponente	A	B
ϕ_s aus der Siedekurve abgelesen	0,0033	0,0100
ϕ_s aus der Spreizung σ errechnet	0,0036	0,0103

45

Somit kann die Abdampfquote (Φ) in guter Näherung als Summe der Integrale der beiden über der Temperatur (T) normalverteilten Abdampfraten (ϕ_A) und (ϕ_B) in den mit der Bandanfangstemperatur (T_a) und Bandendtemperatur (T_e) gegebenen Grenzen dargestellt werden. Hierfür sind noch die Masseanteile der Hauptkomponenten A und B des Ölrückstandes zu benennen. Die diesbezüglichen Angaben stellt der Walzöllieferant; in der Regel wird es sich bei der Komponente A um den bei niedrigerer Temperatur absiedenden Mineralölanteil handeln und bei der Komponente B um den bei höherer Temperatur absiedenden Fettsäure/Fettesteranteil. Da sich die Angaben auf das angelieferte Frischöl beziehen, empfiehlt es sich, diese am Ölrückstand durch die Bestimmung der Verseifungszahl nach DIN 51 559 zu überprüfen. Für das Ausführungsbeispiel werden die Masseanteile A und B bei der Berechnung der Abdampfquote mit $k_A = 1/3$ und $k_B = 2/3$ berücksichtigt.

50

55

Zum anderen ist die Bandendtemperatur (T_e) festzulegen; hierzu muß die Stoffkonstante (γ_B) des Ölrückstandes, mit deren Hilfe die Temperatur berechnet wird, bei der die Verdampfung der Komponente B beendet ist, bekannt sein. Im vorliegenden Fall wurde diese Größe experimentell zu $\gamma_B = 2,187$ bestimmt, so daß sich die Bandendtemperatur (T_e) wie folgt ergibt:

$$T_e \approx T_1 = T_{sB} \left(1 + \frac{1}{\gamma_B^2} \right)$$

5

$$= 660,5 \left(1 + \frac{1}{2,187^2} \right) = 798,6 \text{ Kelvin}$$

- 10 Die Temperaturzunahme unter der Prallströmung hängt bei gegebener Schutzgastemperatur (T_g) maßgeblich von der Temperatur des Bandes (T_0) bei Eintritt unter die Prallströmung ab. Da die Banderwärmung im Reinigungsteil ohne Düsen nahezu linear verläuft, d.h die Temperatur des sich mit konstanter Geschwindigkeit (u) durch den Reinigungsteil bewegendes Bandes mit der Ofenlänge linear ansteigt, hängt die Temperaturerhöhung unter der Prallströmung letztlich von der Position der Düse im Reinigungsteil ab.
- 15 Hierbei sind Einflüsse wie Abstand Düse/Bandoberfläche, Öffnungswinkel des Gasstrahls, Strahlverdrallung, Düsenform und -öffnung, im Ausführungsbeispiel aus Gründen der Übersichtlichkeit nicht berücksichtigte Optimierungsgrößen. Entsprechend ändert sich die Bandtemperatur (T_1) bis zum Austritt aus dem Bereich der Prallströmung bei gleichbleibender Schutzgastemperatur $T_g = 1173$ Kelvin und unverändertem Gebläsedruck $p = 1040$ mbar (entspricht 0,104 MPa) im wesentlichen nur mit der Position der Düse über die
- 20 Länge des Reinigungsteils:

Düsenposition, m	2	6	10	14	18	22	26
T_0 , Kelvin	332	400	473	548	625	703	783
T_1 , Kelvin	357	421	491	563	637	713	791

25

Vorstehende Angaben gelten für eine Wasserdampfeinspeisung von 10 Volumenprozent. Mit steigendem Wasserdampfanteil im Schutzgas verringert sich der Wärmeübergangskoeffizient (α_d). Diese Änderung fällt aber kaum ins Gewicht. Das sei für eine ausgewählte Position der Düse, ansonsten aber bis auf den Wasserdampfanteil unveränderte Verfahrensparameter nachstehend gezeigt; Düsenposition 22 m:

30

Wasserdampfanteil, %	1	5	10	15	20
T_0 , Kelvin	703	703	703	703	703
T_1 , Kelvin	716	715	713	713	712
α_d , W/(m ² •Kelvin)	205	182	163	149	139

35

Mit der Position der Düse im Reinigungsteil ändert sich die Aufheizgeschwindigkeit (\dot{T}) des Bandes unter dem Gasstrahl und proportional zur Aufheizgeschwindigkeit der Dampfdruck (p_D) des Ölfilms auf der Bandoberfläche. Die Dampfdruckänderung mit der Aufheizgeschwindigkeit im Siedebereich der Ölkomp-

40 unter dem Gasstrahl und proportional zur Aufheizgeschwindigkeit der Dampfdruck (p_D) des Ölfilms auf der Bandoberfläche. Die Dampfdruckänderung mit der Aufheizgeschwindigkeit im Siedebereich der Ölkomp-

45 einspeisung 10 Volumenprozent:

Düsenposition, m	2	6	10	14	18	22	26
\dot{T} , Kelvin/Sekunde	146	123	105	90	75	60	46

50

Danach verringert sich die Aufheizgeschwindigkeit beispielsweise auf rund die Hälfte, wenn man den Wert bei Düsenposition 14 m mit dem bei Düsenposition 26 m vergleicht. Dieser Nachteil wird aber durch den größeren Gradienten des Dampfdruckanstiegs mit der Aufheizgeschwindigkeit bei Düsenposition 26 m kompensiert.

55

Fig. 7 zeigt, wie sich der Mindestschutzgasbedarf in Abhängigkeit vom Wasserdampfanteil und von der Düsenposition, angezeigt durch die Bandtemperatur (T_0) bei Eintritt unter den Gasstrahl, verändert. Dargestellt sind die Verhältnisse im Temperaturbereich zwischen 350 und 750 Kelvin und bei einer Wasserdampfeinspeisung von 10 bis 20 Volumenprozent. Es wird im Mittel gleichbleibende Kohlenstoffbele-

5 gung $m_c = 0,5 \text{ g/m}^2$ Oberfläche des in den Reinigungsteil einlaufenden Bandes vorausgesetzt. Bei diesen Bedingungen, im übrigen wie vorstehend angegeben, erhöht sich der Schutzgasbedarf mit der Bandtemperatur und verringert sich mit dem Wasserdampfanteil im Schutzgas. Als günstig für den Reinigungseffekt sind hohe Bandtemperaturen (T_0), ab 664 bis 700 Kelvin, und unter Kostengesichtspunkten für den Schutzgasverbrauch hohe Wasserdampfanteile zwischen 16 und 20 Volumenprozent anzusehen.

Andererseits wird man die Wasserdampfeinspeisung mit Blick auf unerwünschte Oxidationsreaktionen an der Bandoberfläche auf das für die Oxidation des Kohlenstoffs notwendige Minimum beschränken wollen. Auch hierfür liefern die in der Darstellung veranschaulichten Zusammenhänge erfindungsgemäß die Grundlage.

10 Fig. 8 Zeigt den pro Normkubikmeter Schutzgas umsetzbaren Kohlenstoff in Abhängigkeit vom Wasserdampfanteil und von der Schutzgastemperatur (T_g). Es sind die Verhältnisse im Temperaturbereich zwischen 800 und 1200 Kelvin und bei einer Wasserdampfeinspeisung von 1 bis 20 Volumenprozent dargestellt. Das Oxidationspotential (μ_{ox}) gegenüber Kohlenstoff wächst exponentiell mit der Gastemperatur und praktisch linear mit dem Wasserdampfanteil im Schutzgas.

15 Die Schutzgasumwälzung soll so bemessen sein, daß Temperaturunterschiede in der Gasatmosphäre abgebaut und Kohlenstoffablagerungen vermieden werden. Die Durchwirbelung soll die Umsetzung des Kohlenstoffs zu CO und CO₂ bis zur Gleichgewichtseinstellung fördern. Deshalb ist darauf zu achten, daß die Summe der Volumenströme aller zugeschalteten Düsen den Schutzgasdurchsatz mindestens zweimal übersteigt. Andererseits wird mit zunehmender Gasumwälzung der Wärmeaustausch mit dem Band intensiver, das Gas wird sich abkühlen. Mit sinkender Gastemperatur wird sich die Umsetzung des Kohlenstoffs gemäß Fig. 8 verringern. Deshalb ist es notwendig, die umgewälzte Menge auch nach oben zu begrenzen. Für das Ausführungsbeispiel ist festgelegt, die Umwälzung so zu begrenzen, daß sich das Schutzgas im Reinigungsteil nicht mehr als 30 Kelvin abkühlt.

20 Bei der Festlegung der Umwälzleistung wird man die erreichte Bandsauberkeit und Alterungsfreiheit als Maßstab anlegen, auch sind die Besonderheiten der Ofenanlage und des Glühprogramms wie Länge des Reinigungsteils, Bandgeschwindigkeit, Bandabmessungen, Werkstoff, Oberflächenzustand, in Betracht zu ziehen. Beispielsweise kann man die Umwälzleistung im Einlaufteil erhöhen, ohne den Ölfilm dort zum Verdampfen zu bringen, indem die Düsen der vorderen Düsenbalken wie beim Einfädelvorgang aus der Senkrechtstellung nach oben gedreht werden, so daß der Gasstrahl von der Bandoberfläche weg, zum Beispiel auf die Strahlheizrohre oder in die Horizontale gerichtet ist.

30 Für das Ausführungsbeispiel wird die Mindestumwälzleistung in Abhängigkeit von der Wasserdampfeinspeisung wie folgt festgelegt, in Normkubikmeter pro Stunde:

Wasserdampfanteil, %	10	15	20
Mindestumwälzleistung, m_n^3 / h	1040	700	480

40 Die Überprüfung der Bedingung $\xi \geq 1$ wird für einen Gebläsedruck $p = 1040 \text{ mbar}$ und die Düsenposition 22 m, das entspricht einer Bandtemperatur bei Eintritt unter den Gasstrahl von $T_0 = 703 \text{ Kelvin}$, sowie für unterschiedlichen Wasserdampfanteil vorgenommen, mit folgendem Ergebnis:

Wasserdampfanteil, %	1	5	10	15	20
Oxidationspotential μ_{ox} , g/m_n^3	5	20	30	34	35
Quotient ξ	3	12	18	20	21

50 Bei den für Walzöle und Einfettöle nach dem Beizen verwendeten Fettestern muß ab etwa 700 Kelvin mit Zersetzungserscheinungen gerechnet werden, beim Mineralölanteil schon ab etwa 600 Kelvin. Die strukturelle Zersetzung wird aber erst dann bedenklich, wenn Krackreste in Form von graphitisiertem Kohlenstoff zurückbleiben. Nach den vorliegenden Erfahrungen tritt diese Erscheinung nicht auf, solange die Banderwärmung im Reinigungsteil auf die Weise reguliert wird, daß das Siedende bei Verlassen des Reinigungsteils soeben erreicht, aber nicht überschritten ist. Im übrigen wirkt auch der eingespeiste Wasserdampf durch die Erniedrigung der Siedetemperaturen des Ölrückstandes der pyrogenen Zersetzung entgegen.

Patentansprüche

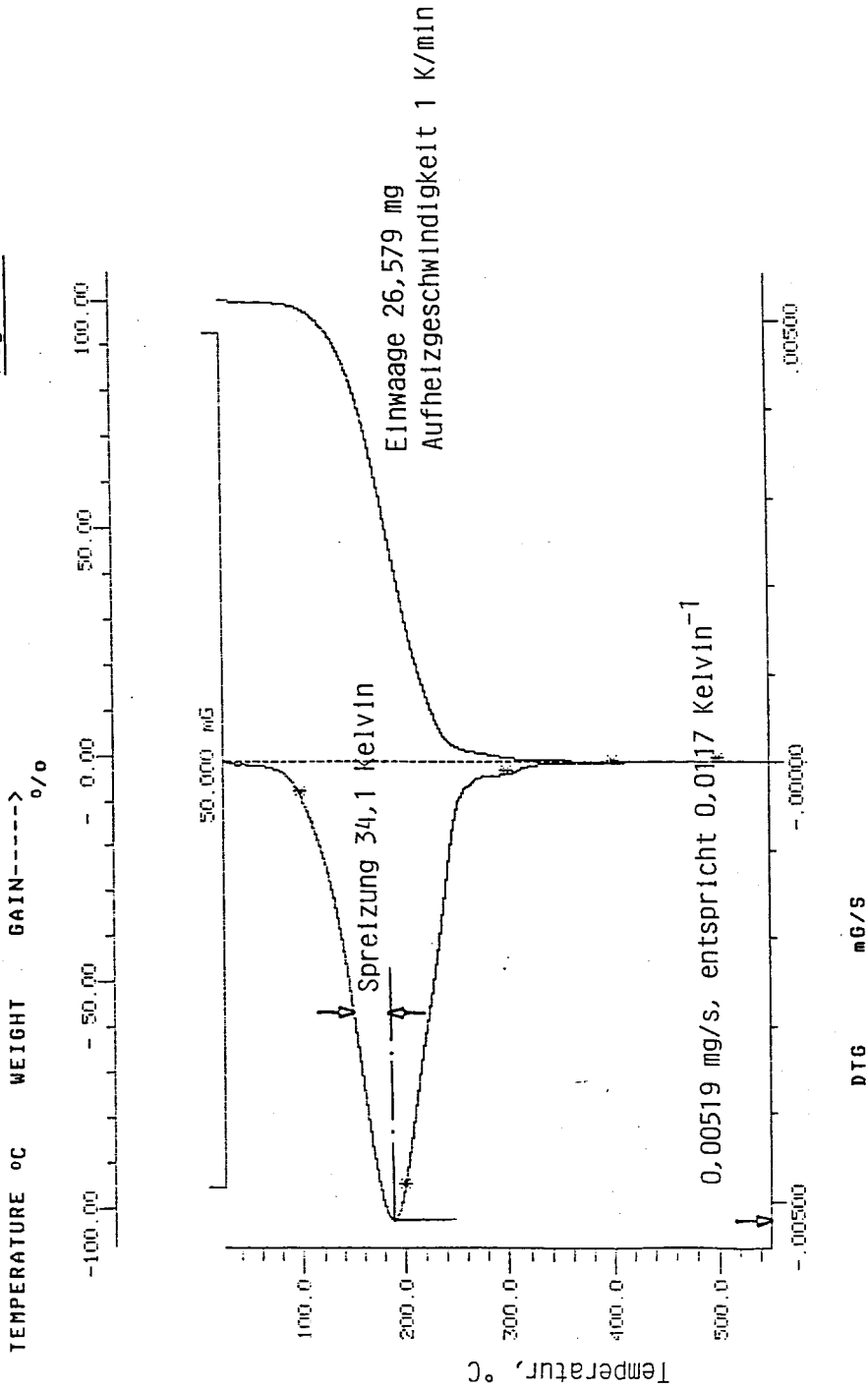
1. Verfahren zur Reinigung von Metallband, insbesondere zur Entfernung ölhaltiger Rückstände auf der Bandoberfläche, im vorderen Bereich des Aufheizteils einer kontinuierlichen Glühlinie, der als Reinigungsteil vom Rest des Aufheizteils durch eine Einlaufschleuse und eine Auslaufschleuse getrennt ist, durch erhitztes Schutzgas, dem zur Umsetzung der verdampfenden kohlenstoffhaltigen Rückstände Wasserdampf zugemischt wird, **dadurch gekennzeichnet**, daß wasserstoffreiches Schutzgas mit hoher Anströmgeschwindigkeit senkrecht oder mit geringer Neigung zur Normalen auf Bandoberseite und Bandunterseite geblasen und die entstehende Prallströmung in Kombination mit den folgenden Merkmalen zum Abblasen und Verdampfen des Ölrückstandes wie auch zur Abführung, Umwälzung und Oxidation der Öldämpfe ausgenutzt wird:
- A) Das in den Reinigungsteil einlaufende Band wird zunächst überwiegend durch Wärmestrahlung auf eine über die Weglänge vorherbestimmbare, ortsfeste Temperatur (T_0) erwärmt und dann weiter unter dem auf höherer Temperatur (T_g) befindlichen Gasstrahl durch überlagerte Konvektion regulierbar auf eine definierte Oberflächentemperatur (T_1) aufgeheizt, bei der der Abdampfvorgang beendet ist, so daß die Abdampfquote (Φ), das ist der von der Anfangstemperatur (T_a) bis zur Endtemperatur (T_e) des Bandes insgesamt abdampfende Masseanteil des Ölrückstandes, einen Zahlenwert nahe oder gleich eins annimmt;
- B) dem aus einem Wasserstoff-Stickstoff-Gemisch bestehenden, vorzugsweise 31 bis 100 Vol.-% Wasserstoff enthaltenden Schutzgas wird Wasserdampf in dem Maße zugesetzt, daß sämtlicher Kohlenstoff aus den von der Bandoberfläche abdampfenden ölhaltigen Rückständen in CO und CO₂ überführt wird, gekennzeichnet dadurch, daß das dimensionslose Verhältnis (ξ) zwischen dem Volumenstrom des Gasstrahls (\dot{V}_d) multipliziert mit dessen Oxidationspotential (μ_{ox}) einerseits, und dem zeitgleich unter der Prallströmung erfaßten Kohlenstoff auf der Bandoberfläche (\dot{m}_c) multipliziert mit der Abdampfquote (Φ) andererseits, den Zahlenwert eins erreicht und überschreitet;
- C) die Schutzgasumwälzung (ξ) wird so bemessen, daß eine Kohlenstoffabscheidung, wie sie in ruhender Ofenatmosphäre selbst bei Einspeisung von Wasserdampf unvermeidlich eintreten würde, verhindert wird, indem das umgewälzte Schutzgasvolumen den für die Umsetzung der Öldämpfe zu CO und CO₂ notwendigen Schutzgasdurchsatz (\dot{V}_g) um ein Mehrfaches, mindestens um das Zweifache, übersteigt;
- D) beim Aufheizen wird das Band in der Weise erwärmt, daß besagte Oberflächentemperatur (T_1), bei der der Abdampfvorgang endet, erst kurz vor Verlassen des Reinigungsteils erreicht ist und der bis zu diesem Zeitpunkt noch nicht vollständig abgedampfte Ölfilm die Bandoberfläche schützt, so daß letztere der oxidierenden Atmosphäre nur in sehr begrenzter Dauer ausgesetzt ist und die Oxidation reaktionskinetisch keine Bedeutung erlangt.
2. Verfahren zur Reinigung von Metallband nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Bandoberfläche unter der Prallströmung bei Vorhandensein eines ölhaltigen Belags, dessen Ölanteil aus einer Mischung verschiedener Öle besteht, so weit aufgeheizt wird, daß die Siedetemperatur der höhersiedenden Komponente erreicht und der Abdampfvorgang beendet ist, so daß die Abdampfquote (Φ) einen Zahlenwert nahe oder gleich eins einnimmt.
3. Verfahren zur Reinigung von Metallband nach Anspruch 1 und 2, **dadurch gekennzeichnet**, daß das in den Reinigungsteil einlaufende Band über Wärmestrahlung in 10 bis 30 Sekunden auf 250 bis 510 °C aufgeheizt wird und durch das auf 750 bis 950 °C erhitzte Schutzgas im Bereich der Prallströmung Aufheizgeschwindigkeiten zwischen 10 und 100 K/s erreicht werden.
4. Verfahren zur Reinigung von Metallband nach Anspruch 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet**, daß das gereinigte Band durch eine Schleuse in eine gegenüber Eisen, Mangan, Silizium und Aluminium reduzierende Atmosphäre geführt wird.
5. Verfahren zur Reinigung von Metallband nach Anspruch 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet**, daß das gereinigte Band durch eine Schleuse in eine entkohlende Ofenatmosphäre mit hohem Taupunkt, beispielsweise 62 °C, geführt wird.

6. Verfahren zur Reinigung von Metallband nach Anspruch 1 bis 3,
dadurch gekennzeichnet, daß das im Reinigungsteil gegen die Bandlaufrichtung strömende, mit CO und CO₂ beladene Wasserstoff-Wasserdampf-Stickstoff-Gasgemisch einer vollständigen Verbrennung mit Luft in einer Nachverbrennungsanlage oder beispielsweise der Verbrennung in Mantelstrahlheizrohren zugeführt wird, so daß als Endprodukt im Abgas Kohlendioxid, Wasserdampf und Stickstoff anfallen.
7. Vorrichtung zur Reinigung von Metallband, insbesondere zur Entfernung ölhaltiger Rückstände auf der Bandoberfläche, beim Erwärmen des Bandes im vorderen Bereich des Aufheizteils einer kontinuierlichen Glühlinie, der als Reinigungsteil vom Rest des Aufheizteils durch eine Einlaufschleuse und eine Auslaufschleuse getrennt ist,
dadurch gekennzeichnet, daß im Reinigungsteil erhitztes Schutzgas mit Hilfe von Pumpen, Gebläsen und dergleichen umgewälzt und durch quer oder schräg zur Bandlaufrichtung angeordnete Düsenreihen oder Schlitzdüsen senkrecht oder in geringer Neigung zur Normalen auf die Bandoberseite und Bandunterseite geblasen wird.
8. Vorrichtung zur Reinigung von Metallband nach Anspruch 7,
dadurch gekennzeichnet, daß der Reinigungsteil durch Schleusen in mehrere Kammern unterteilt ist, so daß bei reduzierter Bandgeschwindigkeit die Reinigungsstrecke verkürzt, und bei erhöhter Bandgeschwindigkeit die Reinigungsstrecke verlängert werden kann, indem in den einzelnen Kammern bedarfsweise Gebläse und Düsenreihen sowie Dampf weg- oder zugeschaltet werden.
9. Vorrichtung zur Reinigung von Metallband nach Anspruch 7 oder 8,
dadurch gekennzeichnet, daß für die indirekte Beheizung des Reinigungsteils die Schutzgasatmosphäre nicht beeinträchtigende Wärmequellen mit hoher Wärmestromdichte, beispielsweise Mantelstrahlheizrohre oder elektrische Heizelemente, zum Einsatz kommen.
10. Vorrichtung zur Reinigung von Metallband nach Anspruch 7 bis 9,
dadurch gekennzeichnet, daß die oberhalb und unterhalb des Bandes angeordneten Düsenbalken (11) um ihre Achse drehbar gelagert sind, so daß die Düsen (12) bei Einfädelvorgängen aus der Gefahrenzone gedreht werden können und der Bandanfang ungehindert durch den Reinigungsteil gleitet.
11. Vorrichtung zur Reinigung von Metallband nach Anspruch 7 bis 10,
dadurch gekennzeichnet, daß die Dampfeinspeisung (13) entweder in die Ansaugleitung (14) des Umwälzgebläses (8) oder direkt in den Ofenraum des Reinigungsteils (4) erfolgt, und daß letzterer vom Rest des Aufheizteils (5) in Bandlaufrichtung derart getrennt ist, daß das dort vorhandene niedrige Sauerstoffpotential zur Vermeidung der Oxidation der gereinigten Bandoberfläche nicht beeinträchtigt wird.
12. Vorrichtung zur Reinigung von Metallband nach Anspruch 7 bis 11,
dadurch gekennzeichnet, daß der Reinigungsteil (4) mit einer geeigneten Taupunktmessung und -regelung (16) für die Bemessung, Überwachung und Einstellung des vorgegebenen Wasserdampfanteils im Schutzgas ausgerüstet ist.
13. Vorrichtung zur Reinigung von Metallband nach Anspruch 7 bis 12,
dadurch gekennzeichnet, daß der Reinigungsteil (4) mit einer geeigneten Temperaturmessung und -regelung (17), beispielsweise mit einem Temperaturleitreechner zur Anpassung der Heizleistung an den jeweiligen Massenstrom des zu erwärmenden Bandes, ausgerüstet ist.
14. Vorrichtung zur Reinigung von Metallband nach Anspruch 7 bis 13,
dadurch gekennzeichnet, daß die Bemessung des Schutzgasvolumenstroms über drehzahlgeregelte Antriebsmotoren (15) für die Umwälzgebläse (8) und/oder über in der Druckleitung (9) installierte Drosselklappen (10) erfolgt.
15. Vorrichtung zur Reinigung von Metallband nach Anspruch 7 bis 14,
dadurch gekennzeichnet, daß das Band auf einem durch den Gebläsedruck und Düsen erzeugten Gaspolster durch den Reinigungsteil geführt wird.

METTLER TA4000 SYSTEM

END SCREEN °C 549.4

Figure 1



STEP
START TEMP. °C 78.2
PEAK TEMP. °C 189.7
END TEMP. °C 311.3

PERKIN-ELMER
7 Series Thermal Analysis System
Figure 2

Sample Weight: 6.495 mg
Thu Nov 07 16:17:22 1991

Aufheizgeschwindigkeit 10 K/min

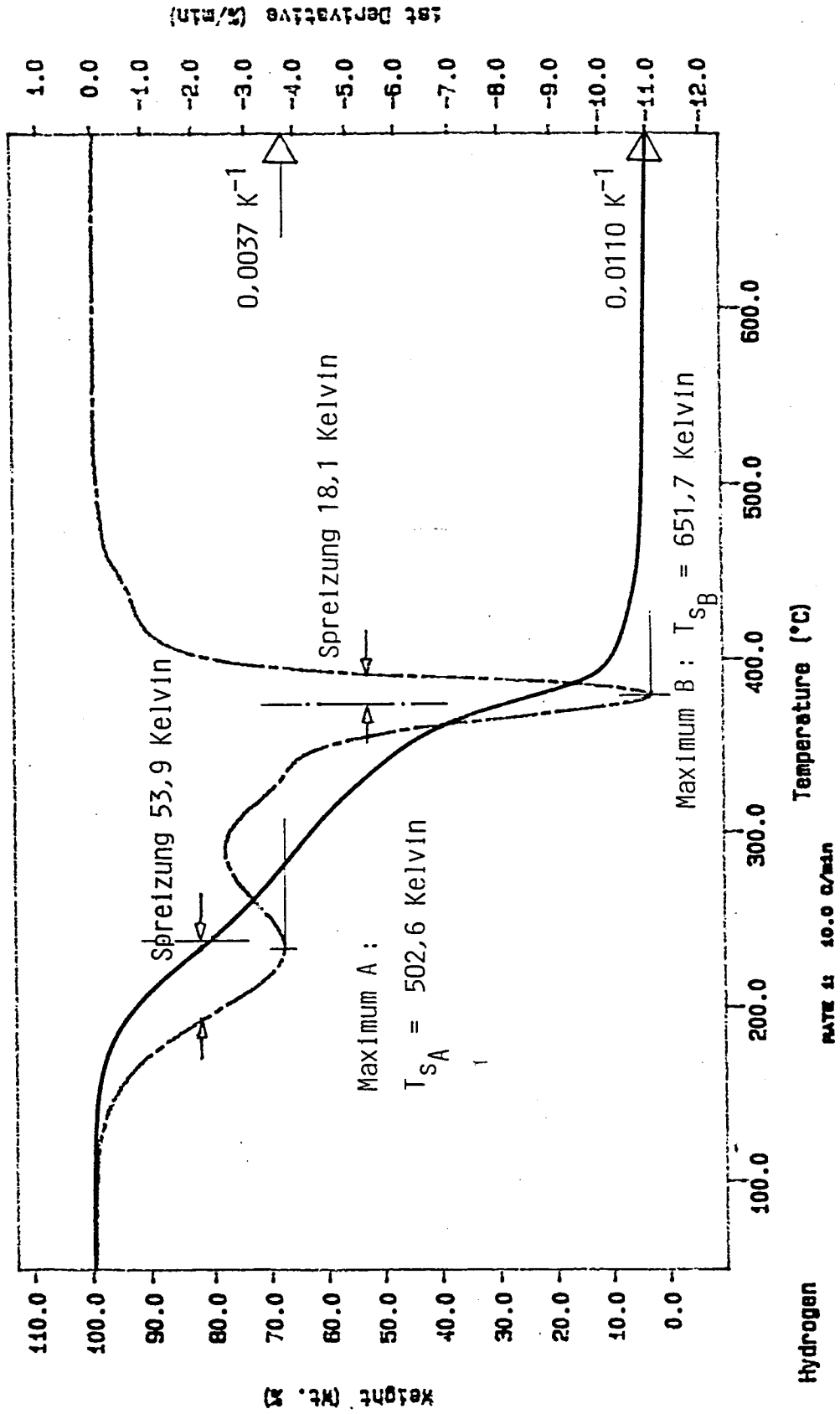


Figure 3

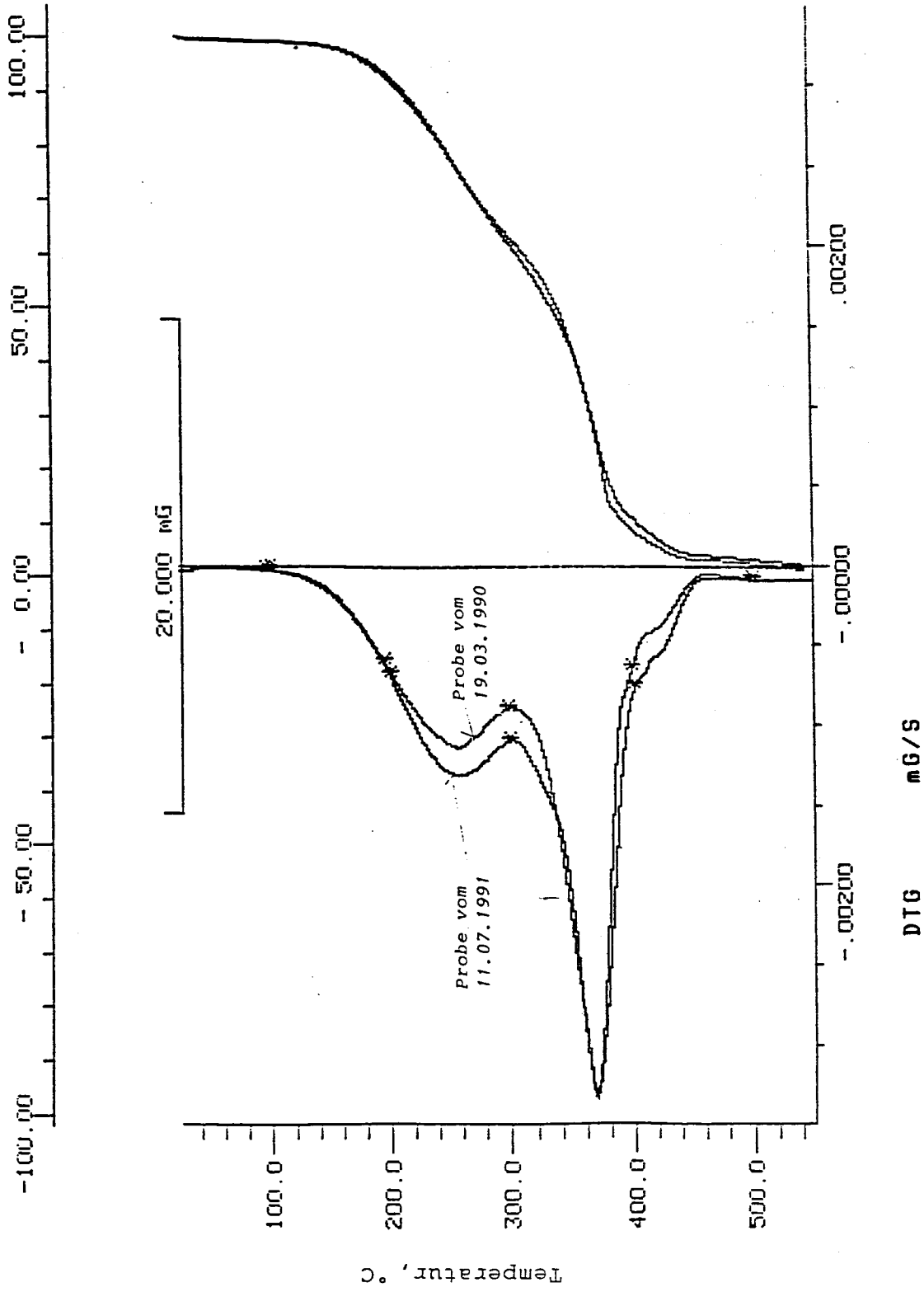


Figure 4

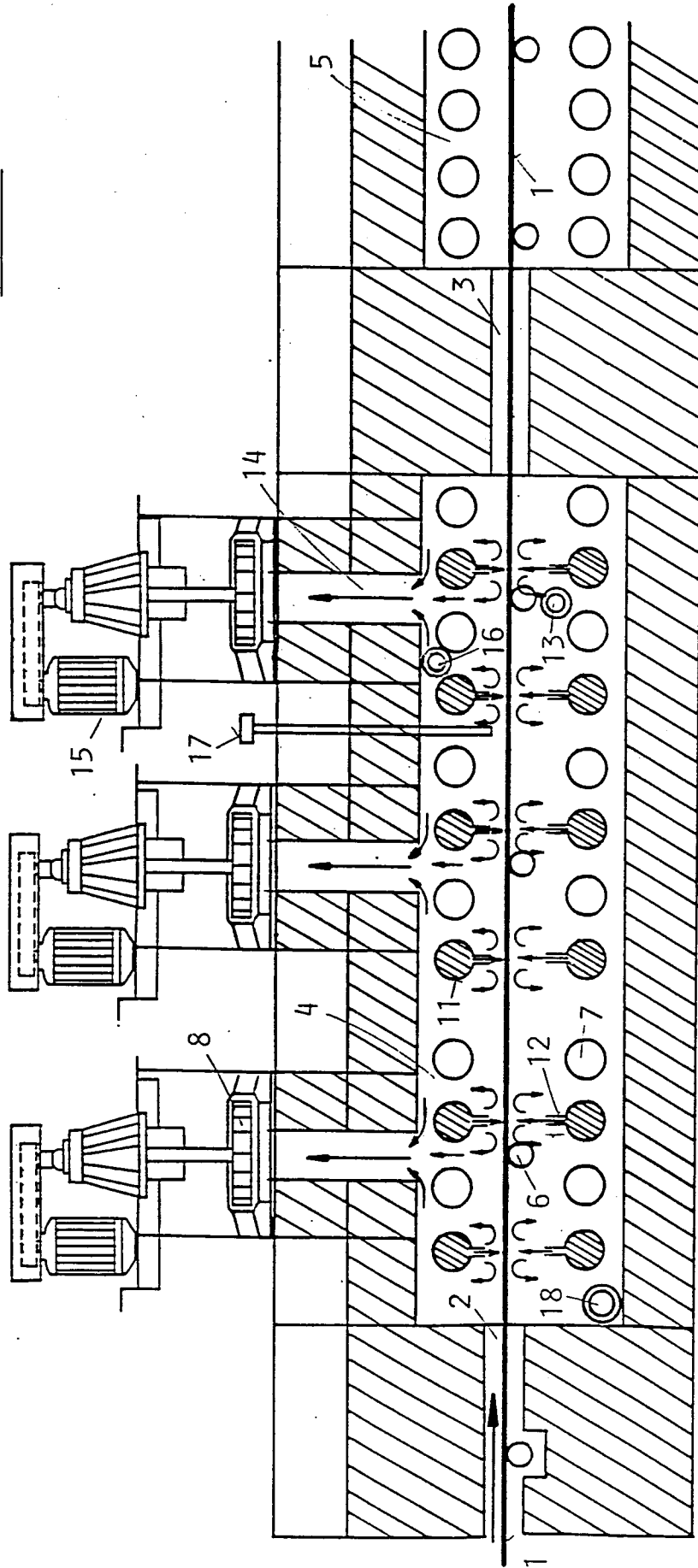
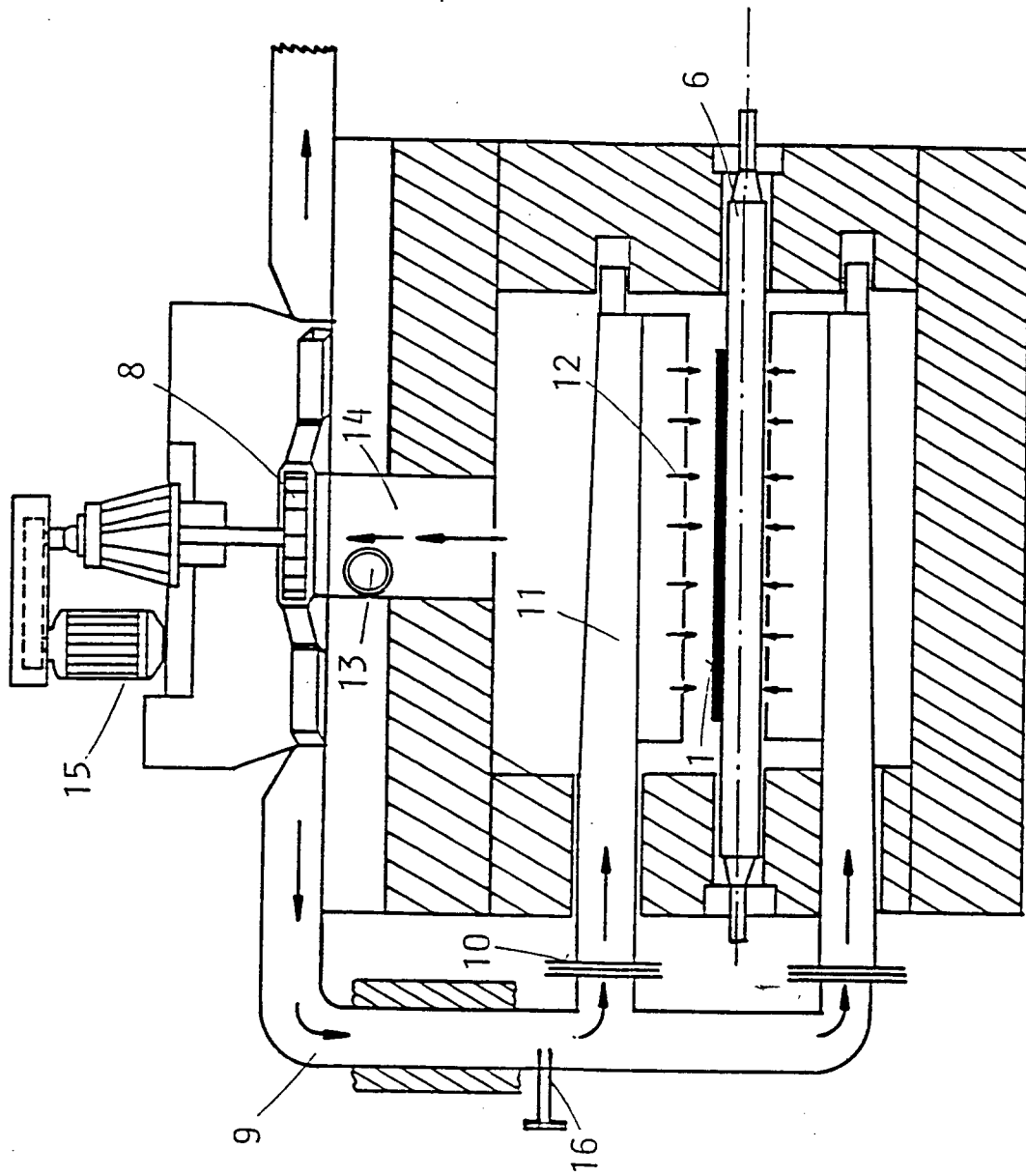


Figure 5



PERKIN-ELMER
 7 Series Thermal Analysis System
 Figure 6

Sample Weight: 5.796 mg
 Fri Oct 25 15:39:26 1991
 oil (nitrogen)

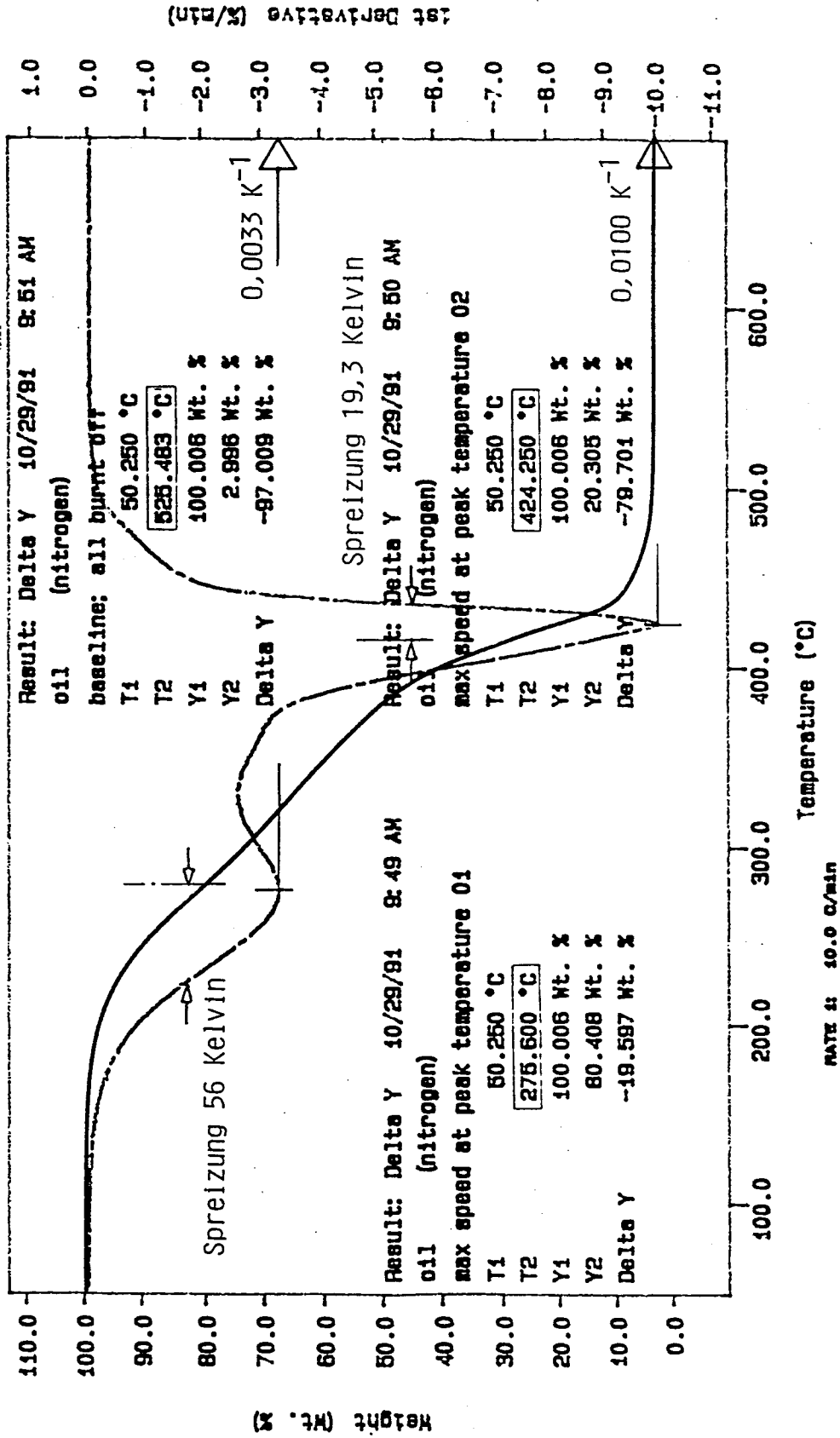


Figure 7

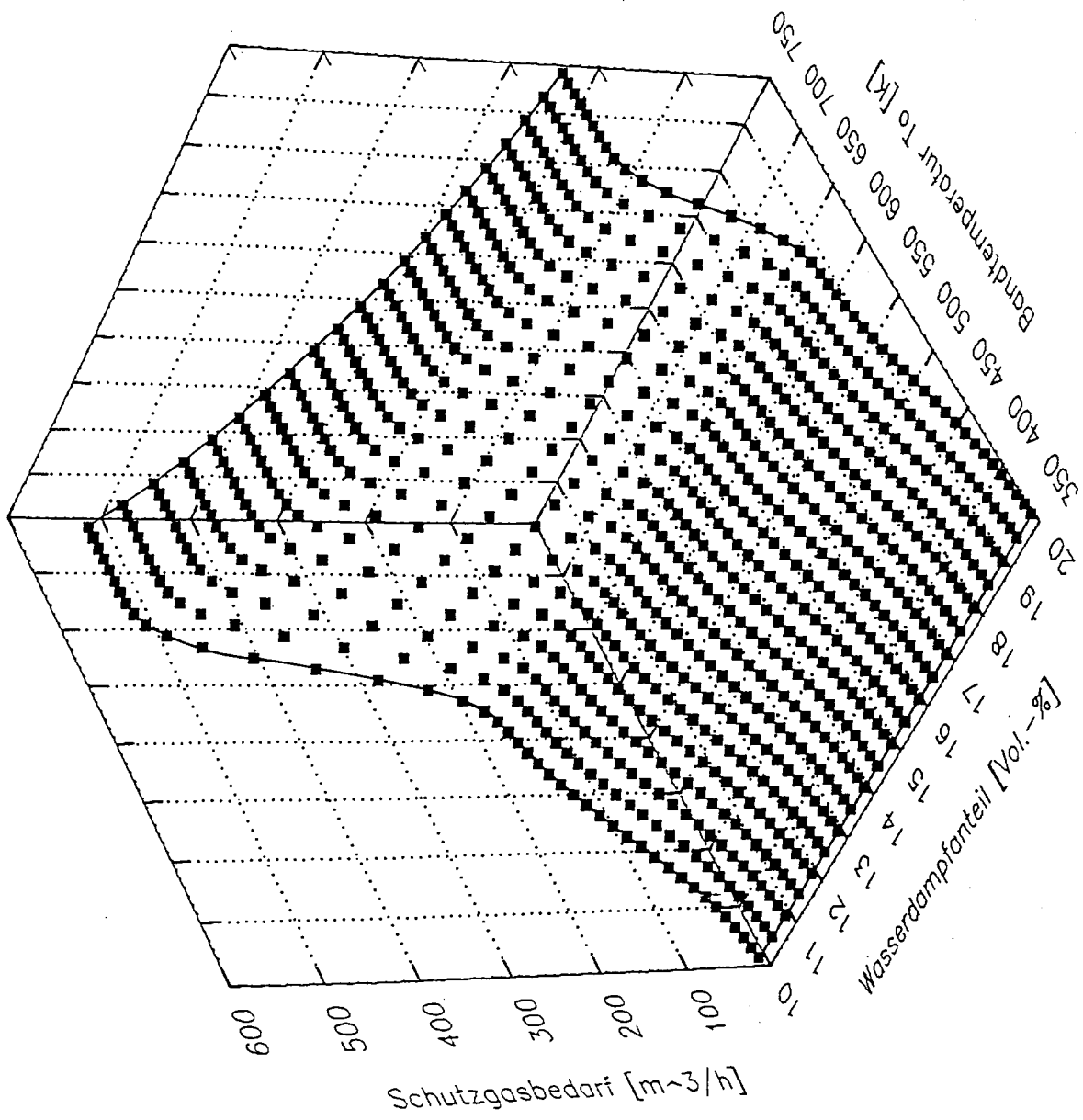


Figure 8

