

(19)



REPUBLIK
ÖSTERREICH
Patentamt

(10) Nummer: **AT 407 197 B**

(12)

PATENTSCHRIFT

(21) Anmeldenummer: 2213/93
(22) Anmeldetag: 03.11.1993
(42) Beginn der Patentdauer: 15.05.2000
(45) Ausgabetag: 25.01.2001

(51) Int. Cl.⁷: **G01B 11/06**

(56) Entgegenhaltungen:
GB 2167855A DE 4114672A1 DD 282756A5
DE 387985C

(73) Patentinhaber:
GIGERL JOHANN
A-3100 ST. PÖLTEN, NIEDERÖSTERREICH (AT).

(72) Erfinder:
GIGERL JOHANN
ST. PÖLTEN, NIEDERÖSTERREICH (AT).

(54) THERMOGRAFISCHES MESSVERFAHREN ZUR WANDSTÄRKEMESSUNG VON SCHMELZWANNEN, -TIEGELN, -KESSELN ODER -BEHÄLTERN UNTER BEZIEHUNG VON HILFSMITTELN BEI VOLLEM BETRIEB

(57) Thermografisches Meßverfahren zur genauen Wandstärkenmessung von Schmelzwannen, -tiegeln, -kesseln oder -behältern im flächenhaften Bereich bei vollem Betrieb des Objektes.

Dieses Infrarot-Meßverfahren gliedert sich in den Kalibrier- und Erfassungsvorgang, Abtastung der Behälterwand mit einer Meßlehre, Korrektur durch die Temperaturabfallkurve und Eintragung der Meßwerte in die Oberflächenkarte der Behälterwand.

AT 407 197 B

Die Erfindung betrifft ein thermografisches Meßverfahren, mit dem unter Beiziehung von Hilfsmitteln die Wandstärkemessung von Schmelzwannen, -tiegeln und -kesseln oder Behältern bei vollem Betrieb möglich ist.

Das Anwendungsgebiet erstreckt sich auf alle notwendigen thermografischen Überprüfungen in der Industrie, wo Schäden durch Auswaschungen, Ausglühung oder Ausschmelzungen entstehen, und wo die Schmelzwannen, -tiegeln oder -behälter wegen der nicht berechenbaren Abtragungsvorgänge im Behälterinneren bezüglich Gefährdung von Menschen oder Anlagen öfters überprüft werden müssen.

Das nunmehr beschriebene Verfahren hat gleichzeitig die Vorteile, daß es Menschenleben durch den nicht mehr notwendigen gefährlichen Umpumpvorgang schützt und dabei eine bis zu 100%-ige Energie-Einsparung möglich macht. Dazu ist kein Betriebsstillstand mehr notwendig.

Stand der herkömmlichen Technik ist, daß bisher größere Wandstärken nur mit Hilfe von Ultraschall- oder Röntgengeräten bei Schmelzwannen, -tiegeln, -kesseln oder -behältern gemessen werden konnten. Dies setzt aber voraus, daß diese Behälter von ihrem Inhalt her geleert wurden und sich in einem ausgekühlten Zustand befanden. Dazu mußte die gesamte Anlage abgeschaltet werden, der momentane Inhalt des Kessels (z.B. flüssiges Zink, Blei usw.) in eigens dazu hergebrachten großen Warmhaltebehältern, die elektrisch während der ganzen Überprüfungszeit beheizt wurden, umpumpt und die Produktion stillgelegt werden. Die Überprüfung, z.B. bei einem Zink-Kessel, hatte außerdem noch die Schwierigkeit, mit dem Ultraschall-Meßgerät bei der Wandstärkenmessung noch zwischen dem eigentlichen Behälter, der z.B. aus Eisen bestand, und dem angelegten und nunmehr erstarrten Hartzink an der Wannenwand zu unterscheiden. Dazu mußte die Innenwand der Schmelzwanne oft mühevoll abgeschertt oder abgestemmt werden, um die während des Umpumpvorganges erstarrten Rückstände zu beseitigen. Nur so konnten richtige Meßergebnisse erhalten werden. Je nach Zugänglichkeit mußte auch manchmal die gesamte Wanne ausgebaut werden. Diese Vorgänge verursachten bisher einen enormen Material-, Energie- und Personalaufwand.

In diesem Zusammenhang ist es bekannt, daß es vereinzelte Versuche gab, Wandstärken thermografisch zu erfassen, die jedoch letztlich daran scheiterten, daß ihnen keine Normierungsmöglichkeit an der Meßwand selbst zur Verfügung stand und sich die Aussage nur auf einen groben Aussagebereich beschränken mußte.

Es ist bekannt, daß GB-A-2 167 855 (General Electric; Bantel, Halase III, Lahrmann) ein Verfahren anwendet, welches mit Hilfe eines ND-YAG-Lasers und einer IR-Kamera Auftrags-schichtdicken mißt. Dieses Verfahren, welches nur im Schichtdickenbereich von 0,1 mm bis 0,3 mm anwendbar ist, eignet sich nicht für Wanddicken von Schmelzwannen oder -kesseln, welche standardmäßig im Zentimeterbereich gefertigt sind. Weiters wird bei der britischen Anmeldung der Meßwert durch Vergleich von einer Meßplatte mit der zu messenen Auftrags-schicht experimentiell ermittelt und durch Statistik ausgewertet (Siehe Fig.4 und Fig.B1-B4 der GB-A-2 167 855).

Bekannt ist weiters, daß DD-A5 282 765 (Hartmann, Hennig, Kulicke, Göldner) ein Thermografieverfahren aufzeigt, das Wandstärkenschwächungen von Rohrleitungen, Behältern oder anderen Prüfobjekten, die nur von einer Seite zugänglich sind, ermittelt. Dies wird dadurch erreicht, daß das definierte Meßfeld von der Aufnahme-seite her erwärmt und gleichzeitig an der abgewandten Seite gekühlt wird. Mit Hilfe von zu erstellenden Eichkurven, in denen die Geometrie, die Materialzusammensetzung bzw. die Wärmeleitfähigkeit des Meßobjektes sowie die speziellen Versuchsbedingungen eingehen, können Wandstärken bestimmt werden. Die lokal begrenzte Wärmezufuhr erfolgt für den speziellen Meßfall in einem genau definierten Zeitregime. Dieses Verfahren ist allerdings für Schmelzwannen, -tiegeln oder -kesseln, deren Inhalt nicht gekühlt werden darf, während des Betriebes nicht anwendbar. Weiters kann bei den mit hohen Temperaturen betriebenen Kesseln oder Behältern die ermittelnde Wärmeleitfähigkeit oder Ermittlung der Materialzusammensetzung- wie Berücksichtigung der Oxydschichte oder Abtropfungen usw. an den Außenwänden wegen Gefährdung von Menschenleben kaum genau eruiert werden. Weiters werden die dann schließlich gefundenen Punkte als Kühlzonen ermittelt. Somit scheidet auch dieses Verfahren für Messungen während des Arbeitsbetriebes aus.

Als Stand der Technik sei die DD-Patentschrift DD-A5 286229 (Fritsch, Bareinz, Reiter, Franzke; Orgreb-Institut) genannt, das ein Verfahren zur Ermittlung lokaler innerer Wanddicken-

schwächungen an einem Rohr, insbesondere einem Dampfkesselrohr, beschreibt. Dabei wird das zu untersuchende Rohr außerbetrieblich gleichmäßig erwärmt, mit Kälte hoher Intensität und bei konstanter Geschwindigkeit gleichmäßig abgekühlt, damit im Bereich der Wanddickenschwächung kurzzeitig ein niedrigeres Temperaturniveau erzeugt und die unmittelbar nach der Abkühlung sich einstellende Oberflächenverteilung thermografisch beobachtet und die Stelle markiert. Dieses Verfahren eignet sich ebenfalls nicht zur Wandstärkenmessung bei vollem Betrieb. Außerdem ist es auf Grund thermischer Prozesse nicht möglich, gefüllte Schmelzwannen mit Kälte hoher Intensität abzukühlen, ohne Gefährdungen von Leben und Sachwerten hervorzurufen.

Zusätzlich sei noch eine thermografische Dickenmessung unter DE A1 4114672 (Schmidt, Ruckszio, Raimund; Hoechst AG) im on-line-Verfahren erwähnt, das für stationäre Anlagen mit einem konstanten, schräg einfallendem Infrarotstrahler als Temperaturgeber, einer beheizten Stahlrolle, einem Infrarot-Thermometer als Meßwertaufnehmer und einer Vergleichseinrichtung mit Sollwertgeber ausgestattet ist. Dieses Verfahren ist laut Patentschrift und technischen Bedingungen nur im Mikrometer-Bereich einsetzbar und eignet sich nicht für größere Wandstärken wie bei Behältern für die Hüttenindustrie.

Als mechanische Dickenbestimmung liegt die DE-PS 387 985 (Kröger, 1924) vor, die eine mikrometerähnliche Meßlehre beschreibt. Diese ist für Wandstärkenmessungen konzipiert und zwar derart, daß diese Meßlehre mit einem umlegbaren Schenkel ausgeführt ist, der durch eine Bohrung in einen leeren Hohlkörper geführt werden muß, mit Zahnrädern, einer Übertragungstange und einem Handrädchen, mit dem die Messung selbst vorgenommen wird. Die Meßablesung geschieht mit Hilfe einer Noniusteilung wie bei einer Schieblehre. Diese nur für Bohrungen konzipierte Meßlehre kann maximal den Radialbereich der Meßgreiferarme abtasten und eignet sich nicht für befüllte Behälter mit heißem metallischen Inhalt bei vollem Betrieb. Weiters würden durch die vielen Bestandteile verschiedene Temperaturkoeffizienten auftreten und damit die Ablesung bei hoher Temperatur ungenau machen bzw. verhindern.

Ziel der Erfindung ist es, ein Infrarot-Meßverfahren zur genauen Wandstärkenmessung im flächenhaften Bereich an Wannen, Kesseln oder Behältern bei Schmelzverfahren zur Früherkennung von Ausmauerungsschäden, Auswaschungen, Durchbrüchen oder Wandstärkenverminderungen unter Hintanhaltung der bisherigen Nachteile bei Messungen durch Ultraschall oder Röntgen zu entwickeln, das auch eine Messung ohne Betriebsunterbrechung gestattet.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß dadurch gelöst, daß nach Kalibrierung des Infrarot-Scanners mit Hilfe einer Kalibriersubstanz ein Wandbereich des Behälters eingescannt und fokussiert wird, danach mit Unterstützung einer eigens dafür entwickelten Meßlehre in diesem Wandbereich pro Skalenbereich des Scanners die Wandstärke abgetastet wird und nachher auf das Thermografiebild umgerechnet und eingetragen wird. Zusätzlich sind noch Korrekturen durch die Auskühlkurve oder Temperaturabfallkurve zu berücksichtigen.

Im folgenden wird das angeführte Verfahren schrittweise näher ausgeführt:

Kalibrierung des Infrarot-Scanners:

Als Infrarot-Scanner wird zweckmäßigerweise ein IR-Scanner im Wellenlängenbereich von 2-5 μm oder 8-14 μm verwendet. Auf einen Außenteil der Schmelzwanne wird eine Kalibriersubstanz mit bekanntem Em-Grad aufgebracht und damit der IR-Scanner nach den bekannten Verfahrensschritten einkalibriert.

Abtastung des Meßfeldes mit der Meßlehre:

Eine beispielsweise dafür geeignete Meßlehre wird nun in Fig.1 dargestellt, wobei die auswechselbaren, verlängerbaren Meßspitzen 1 eine höhere Temperaturfestigkeit um $>500^{\circ}\text{C}$ haben müssen als das Eintauchmedium oder Schmelze, die Meßspitzen durch eine geeignete Arretierung 2 auswechselbar sind, die Schienenführung 3 durch Halterungen mit Rolllagern 4 erleichtert wird. Die Meßskala 5 enthält eine Öse 6 mit Zugdraht, wobei die Rückführung der Skala durch eine vorgespannte Zugfeder 7 gewährleistet ist. Eine Verlängerung 8 paßt die Meßlehre individuell an die Tiefe der verschiedenen Behälter an, wobei zur Gewährleistung der Tragfähigkeit eine Haltöse 9 und ein Haltegriff 10 dient. Die Meßlehre wird nun am Wannenrand in das Schmelzbad eingetaucht und zum vom IR-Scanner abgetasteten Außenwannenfeld geführt. Mit der Meßlehre wird die Wandstärke jedes Temperaturfeldes gemessen und die Meßwerte mit den Temperaturwerten des am Bildschirm erscheinenden Wannenfeldes in Beziehung gesetzt. Fig.2 zeigt den Eintauchvorgang der Meßspitzen 1 der Meßlehre in das Schmelzbad 11, wobei sich links

vom Behälterrund 12 die Schmelze 13 und rechts außen an der Behälterwand das zuständige Wandmeßfeld 14 befindet. Die Meßspitzen 1 tasten nacheinander jedes Wandmeßfeldsegment ab.

Die Wandstärke jedes dieser Infrarot-Meßfelder ist damit nun eruiert und es entsteht nunmehr am Bildschirm des Thermografiegerätes eine Oberflächenkarte nach Fig.3 - ähnlich einer geografischen Landkarte -, wo den entsprechenden Temperaturwerten die jeweilig eingetragenen Wandstärken zugeordnet sind. Die Fig.3 zeigt das Beispiel einer vereinfachten Oberflächenkarte mit Zuordnungen, welche zur besseren Unterscheidbarkeit in der Praxis mit Grauwerten oder Falschfarbendarstellungen am Bildschirm dargestellt wird.

Die Wandstärkenschwächungen erscheinen als heiße Zonen, als sogenannte „hot spots“, während die kühleren Zonen die in Ordnung befindlichen Teile anzeigen.

Erfassung der Auskühlkurve:

(Notwendig bei Objekten, die Verkleidungen oder Abdeckungen haben, welche bei der Messung entfernt werden müssen und die einen gewissen Wärmespeichereffekt beinhalten).

Da bei der Ersterfassung nur ein bestimmter Zeitpunkt zur Verfügung steht und die Aufnahme mit allen Hilfsmitteln je nach Größe und Zugänglichkeit des Objektes sich zeitlich verlängert, muß in den Berechnungen die Auskühlzeit der geöffneten Wandungen mitberücksichtigt werden.

Dies geschieht mit Hilfe der sogenannten Auskühlkurve. Bei Abstellung der notwendigen Brenner oder bei Öffnen der Ummantelung der eingebauten Wanne nimmt ein eigens dafür angebrachter Temperatursensor (Fig.4) auf einer neben dem Meßfeld bestimmten Stelle in gewissen Zeiteinheiten die anliegenden Temperaturwerte ab. Fig.4 zeigt eine geeignete halbkugelige Ummantelungsform 15, welche zweckmäßigerweise magnetisch sein kann und den Temperatursensor 16 enthält, der durch eine Andruckfeder 17 an die Außenwand des Wandmeßfeldes 14 gepreßt wird, wobei die Sensorleitung 18 durch eine Bohrung zugeführt wird. Befestigt und entnommen wird die halbkugelige Form mit Hilfe einer außen angebrachten Öse 19.

Die Temperaturwerte werden der zeitlichen Reihenfolge nach geordnet und auf der Temperaturachse am Protokoll grafisch eingetragen. Diese Punkte miteinander verbunden ergeben eine Kurve, die sogenannte Auskühlkurve Fig. 5, welche die Tabelle 1 - wie im Anhang ersichtlich - enthält. Die Temperaturwerte der thermografisch erfaßten Meßfelder müssen nunmehr, je nach Zeitpunkt der Erfassung, an Hand dieser Kurve folgendermaßen korrigiert werden, indem jeder Temperaturwert parallel zur Auskühlkurve hin verschoben wird. Diese korrigierten Temperaturwerte werden dann in die Meßkarte eingetragen und sind die für diesen Zeitpunkt gültigen Temperaturmeßwerte. Damit ist die Ersterfassung abgeschlossen. Fig.5 zeigt in Tabellenform eine prinzipielle Ausformung einer Temperaturabfallkurve, wobei in Richtung x-Achse 20 die Abkühlzeit t zweckmäßig in Minuten angegeben wird, und in Richtung y-Achse 21 die Wandtemperatur des Behälters in Grad Celsius angegeben wird. Als Eintrag ergibt sich beispielsweise eine Abfallkurve einer Wand A 22 und einer Wand B 23. Bei den Folgeerfassungen ist die Auskühlkurve, soweit sie zeitlich übereinstimmt, für diesen Behälter schon vorhanden und braucht nicht neu erstellt werden.

Es wird nunmehr mit diesen Datenbildern eine Analyse über die Wandstärken in den erfaßten Gebiet erstellt, die wesentliche Rückschlüsse auf den Zustand des Gesamtobjektes zuläßt. Mit diesem Verfahren ist z.B. eine Wandstärkenbestimmung vom Dezimeterbereich bis in den Millimeterbereich möglich. Bei internen Versuchen hat sich herausgestellt, daß eine Unterschreitung der halben Wandstärke der ursprünglichen Wand einen Wert darstellt, der als kritisch angesehen wird und zum Austausch oder Reparatur des Behälters aus Gefahrengründen führen soll.

Als Vorteile dieser Erfindung lassen sich z.B. folgende gravierende Schwerpunkte anführen:

1.Rechtzeitige Verhinderung eines Wannen- oder Behälterdurchbruches. Bei einem Behälterdurchbruch sind alle an sowie in der Umgebung dieses Objektes beschäftigten Arbeitnehmer körperlich extrem gefährdet (Arbeitnehmerschutz).

Weiters ist das durch den Durchbruch eines Behälters ausgeflossene und erstarrte Metall nur mehr mit hohem Arbeitsaufwand aus der Umgebung entfernbar und erfordert dazu eine Stilllegung dieses Betriebsabschnittes. Zusätzlich sind damit Anlagen oder Anlagenteile durch überflossenes Metall gänzlich unbrauchbar geworden. Das Unternehmen selbst erleidet Millionenverlust.

2.Wesentliche Energie-Einsparung bei der Überprüfung von Behältern, Kesseln, Hochöfen usw. in vollem Betriebszustand, Energie-Einsparungen bis zu 100% sind möglich. Bisher mußte

55 nach herkömmlicher Art zur Wandstärkenmessung die Anlage immer abgeschaltet werden, um die

in den Behältern, Wannen usw. befindlichen geschmolzenen Inhalte in riesige elektrisch beheizte Warmhaltebehälter umgepumpt und dort bei Schmelztemperatur erstarrungsfrei gehalten werden. Dies erforderte bisher riesenhafte Bezugsmengen von elektrischem Strom, welche die Leistungsbilanz des Unternehmens negativ beeinflussen.

5 3. Kein Produktionsausfall während der Überprüfung. Bisher wurde die Wandstärke im Normalfall mit Ultraschall gemessen, wobei der Kessel aber entsprechend ausgekühlt und von diversen Metallresten sowie von Schlacke gereinigt sein mußte. Der Ausbau des Behälters, die Vorarbeiten und die Wandstärkenmessungen sowie auch der Wiedereinbau und Inbetriebnahme nahmen je nach Größe und Zugänglichkeit einen Zeitraum von ca. 1 Woche hin bis zu einem Monat in
10 Anspruch. Während dieser Zeit entstand natürlich ein enormer Produktionsausfall mit weiterer negativer Leistungsbilanz.

4. Weiterbeschäftigung der Arbeitnehmer während der Messung. Die Arbeitnehmer sind bei der nur wenige Stunden dauernden Messung durch Hilfeleistungen beschäftigt. Bisher war es die Praxis, während der Ultraschallmessung die Arbeitnehmer für Kurzarbeit in andere Werksteile
15 einzuteilen oder überhaupt- bei länger andauernden Überprüfungen für diese Zeit zu entlassen (mit Wiederanstellungsgarantie).

5. Hilfestellung für Entscheidungen, die Änderungen der Eintauchtiefe, Vorbehandlung, Drehrichtungsänderung oder Wannen-, Kessel- oder Behälterkonstruktion betreffen. An Hand der gelieferten Datenbilder und der Analyse lassen sich somit optimal angepaßte Mechaniken
20 entwickeln, welche die volle Kapazität der Behälter ausnutzen und die Lebensdauer der Behälter entsprechend verlängern.

PATENTANSPRÜCHE:

25

1. Thermografiemeßverfahren zur genauen Wandstärkemessung von Kesseln, Wannen, Tiegeln oder Behältern, die mit einem auf eine bestimmte Temperatur erhitzten Material, beispielsweise einer Schmelze, gefüllt sind, wobei die Wandstärke durch Analyse der Temperaturmeßwerte der Außenwand des Behälters bestimmt wird, gekennzeichnet durch
30 folgende Verfahrensschritte:

-Eine Kalibriersubstanz mit bekanntem Emissionsgrad wird auf eine repräsentative Kalibrierfläche der Außenseite der Behälterwand aufgebracht.

Der Infrarot-Scanner wird auf die Kalibrierfläche fokussiert, anschließend auf den Emissionsgrad der Kalibrierfläche justiert und der Temperaturwert an dieser Stelle
35 gemessen.

-Nun erfolgt eine mechanische Dickenmessung der Behälterwand an der Stelle der Kalibrierfläche mit einer Meßlehre z.B. nach Fig.1 und Fig.2, wobei sich die Werte der Temperatur der Kalibrierfläche zu den Werten der Dickenmessung indirekt proportional verhalten.

40 -Der Infrarot-Scanner wird auf die direkt an die Kalibrierfläche angrenzende Wandfläche, welche einen unbekanntem Emissionsgrad hat, gerichtet und die Temperaturmeßwerte gerätetmäßig so korrigiert, daß die angezeigte Temperatur der unmittelbar angrenzenden Fläche mit der vorher in der Kalibrierfläche angezeigten Temperatur übereinstimmt.

45 -Die korrigierten Temperaturmeßwerte entsprechen indirekt proportional den Wandstärken der Behälterwand.

-Die ermittelten Meßwerte, Temperaturen und Wandstärken werden in eine Oberflächenkarte, welche die Behälterwand darstellt, eingetragen (Fig.3).

2. Thermografiemeßverfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß eine Meßlehre verwendet wird, welche Meßspitzen aufweist, die aus einem Material bestehen, welches einen um 500°C höheren Schmelzpunkt aufweist als das im Behälter befindliche, erhitzte Material.
50

3. Thermografiemeßverfahren zur genauen Wandstärkemessung von Kesseln, Wannen, Tiegeln oder Behältern, die mit einem von einer bestimmten Temperatur aus abkühlenden Material, beispielsweise einer Schmelze, gefüllt sind, wobei die Wandstärke durch Analyse
55 der Temperaturmeßwerte der Außenwand des Behälters bestimmt wird, gekennzeichnet

durch folgende Verfahrensschritte:

-Eine Kalibriersubstanz mit bekanntem Emissionsgrad wird auf eine repräsentative Kalibrierfläche der Außenseite der Behälterwand aufgebracht.

5 -Neben der Kalibrierfläche wird ein für die Haftung auf der Wandfläche des Behälters geeigneter Temperatursensor, z.B. nach Fig.4, appliziert. Für die Dauer der gesamten Infrarotmessung werden die vom Meßsensor erhaltenen Temperaturmeßwerte aufgezeichnet und in geeigneter Form dargestellt (z.B. Fig.5).

10 -Der Infrarot-Scanner wird auf die Kalibrierfläche fokussiert, anschließend auf den Emissionsgrad der Kalibrierfläche justiert und der Temperaturwert an dieser Stelle gemessen.

-Nun erfolgt eine mechanische Dickenmessung der Behälterwand an der Stelle der Kalibrierfläche mit einer Meßlehre, z.B. nach Fig.1 und Fig.2, wobei sich die Werte der Temperatur der Kalibrierfläche zu den Werten der Dickenmessung indirekt proportional verhalten.

15 -Der Infrarot-Scanner wird auf die direkt an die Kalibrierfläche angrenzende Wandfläche, welche einen unbekanntem Emissionsgrad hat, gerichtet und die Temperaturmeßwerte gerätemäßig so korrigiert, daß die angezeigte Temperatur der unmittelbar angrenzenden Fläche mit der vorher in der Kalibrierfläche angezeigten Temperatur übereinstimmt.

20 -Die nach dem Emissionsgrad korrigierten Temperaturmeßwerte werden mit Hilfe der vom Meßsensor erhaltenen Temperaturmeßwerte auf einen bestimmten Zeitpunkt der Infrarot-Messung zurückgeführt, um die Verfälschung der Temperaturmeßwerte durch den Abkühlvorgang auszugleichen.

-Die korrigierten Temperaturmeßwerte entsprechen indirekt proportional den Wandstärken der Behälterwand.

25 -Die ermittelten Meßwerte, Temperaturen und Wandstärken werden in eine Oberflächenkarte, welche die Behälterwand darstellt, eingetragen (Fig.3).

HIEZU 2 BLATT ZEICHNUNGEN

30

35

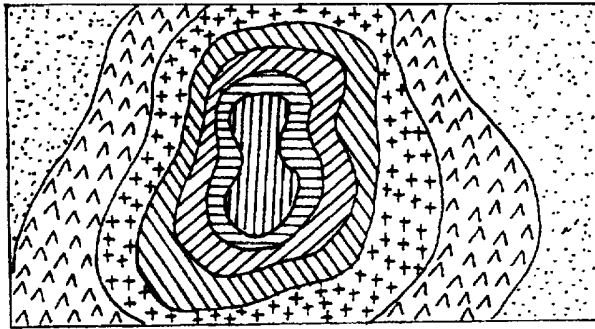
40








45

50

55

Fig.3



-  445°C=2,5cm
-  440°C=2,7cm
-  435°C=2,9cm
-  430°C=3,1cm
-  425°C=3,3cm
-  420°C=3,5cm
-  415°C=3,7cm

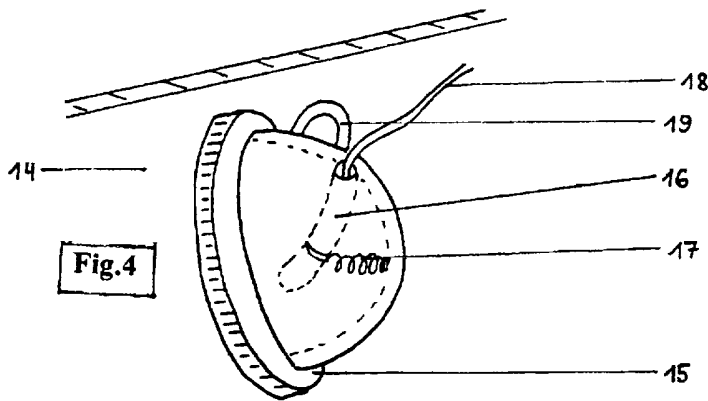


Fig.4

Fig.5

