



⑫ **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

⑰ Anmeldenummer: **92113958.0**

⑤① Int. Cl.⁵: **C21D 11/00, C21D 1/767**

⑲ Anmeldetag: **17.08.92**

③① Priorität: **25.10.91 DE 4135313**

W-4190 Kleve 1(DE)

④③ Veröffentlichungstag der Anmeldung:
28.04.93 Patentblatt 93/17

⑦② Erfinder: **Edenhofer, Bernd, Dr.**
Hölderlinstrasse 29
W-4190 Kleve(DE)

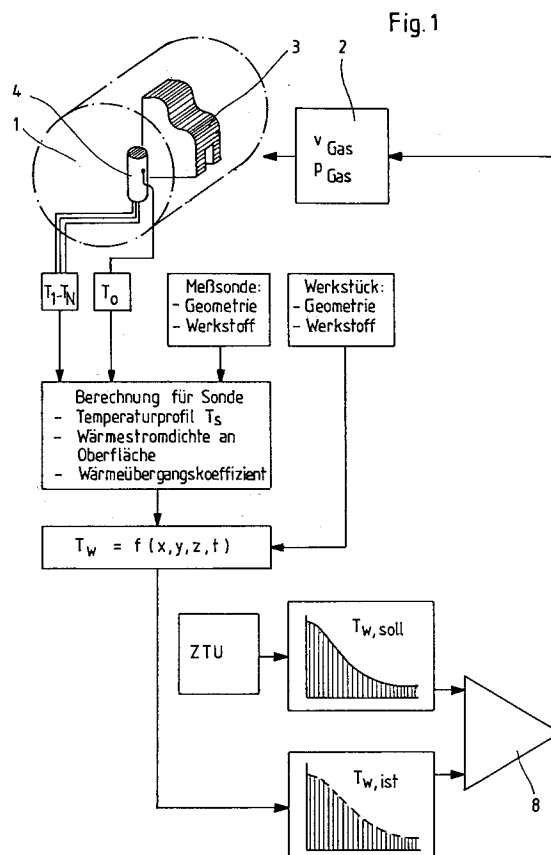
⑧④ Benannte Vertragsstaaten:
AT CH DE ES FR GB IT LI SE

⑦① Anmelder: **IPSEN INDUSTRIES**
INTERNATIONAL GESELLSCHAFT MIT
BESCHRÄNKTER HAFTUNG
Flutstrasse 78

⑦④ Vertreter: **Stenger, Watzke & Ring**
Patentanwälte
Kaiser-Friedrich-Ring 70
W-4000 Düsseldorf 11 (DE)

⑤④ **Verfahren zum Abkühlen einer Werkstückcharge innerhalb eines Wärmebehandlungsprozesses.**

⑤⑦ Bei einem Verfahren zum Abkühlen einer Werkstückcharge innerhalb eines Wärmebehandlungsprozesses mittels Gaskühlung werden die den Abkühlprozeß bestimmenden Parameter, z.B. Kühlgasgeschwindigkeit und Kühlgasdruck, in Abhängigkeit von Temperaturen eingestellt, die während des Abkühlprozesses ermittelt werden. Das Abkühlen der Werkstückcharge soll so gesteuert werden, daß an einem vorgegebenen Werkstückquerschnitt das gewünschte Wärmebehandlungsergebnis erreicht wird, ohne daß an dieser oder einer anderen Stelle des Werkstückes Temperaturmessungen erforderlich sind. Hierzu werden die Temperaturen (T_1, T_2, T_3, T_0) mit mindestens einer im Chargenraum angeordneten Meßsonde definierter Geometrie und definierten Werkstoffs erfaßt. Mit Hilfe eines Rechners wird aufgrund dieser Temperaturen (T_1, T_2, T_3, T_0) über die Bestimmung der Wärmestromdichte und des Wärmeübergangs an der Meßsonde der zeitliche Temperaturverlauf im Werkstück errechnet. Mittels einer Vergleichseinrichtung führt der Rechner einen fortlaufenden Vergleich zwischen dem solcherart errechneten Ist-Temperaturverlauf ($T_{w,ist}$) und einem vorgegebenen Soll-Temperaturverlauf ($T_{w,soll}$) durch. Die den Abkühlprozeß bestimmenden Parameter werden dann in Abhängigkeit vom Ergebnis dieses Vergleiches gesteuert.



Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Abkühlen einer Werkstückcharge innerhalb eines Wärmebehandlungsprozesses mittels Gaskühlung, bei dem die den Abkühlprozeß bestimmenden Parameter wie etwa Kühlgasgeschwindigkeit und Kühlgasdruck in Abhängigkeit von während des Abkühlprozesses ermittelten Temperaturen eingestellt und auf diese Weise der Abkühlprozeß gesteuert wird.

Werkstückchargen in Öfen zur Wärmebehandlung oder in separaten Gaskühlvorrichtungen werden bisher in der Weise unter einem Schutzgas bei Normaldruck oder Überdruck abgekühlt oder abgeschreckt, daß entweder mit einem konstanten, vorher abzuschätzenden Gasdruck des Kühlgases und einer vorgegebenen Geschwindigkeit des Kühlgases gekühlt wird. Die Abkühlung erfolgt in einer Stufe oder mehreren Stufen, wobei der Temperaturgradient des Ofens oder der eines Analogstückes vorgegeben wird und als Sollgröße für die Steuerung des Abkühlprozesses dient. Zur Erfassung des Istwertes der Temperatur lassen sich grundsätzlich auch Meßfühler unmittelbar im oder am Werkstück anbringen. Dies ist allerdings in der Praxis häufig nicht durchführbar. Da auch vergleichbare Analogstücke identischer Geometrie und aus identischem Werkstoff vielfach nicht vorliegen, bzw. sich bei großen Werkstücken nicht im Ofenraum unterbringen lassen, bleibt in solchen Fällen zur Regelung des Prozesses nur die Vorgabe eines Temperaturgradienten im Ofen. Dieser Temperaturgradient steht jedoch in keinem Zusammenhang mit dem erforderlichen Temperaturgradienten an einem beliebigen Werkstückquerschnitt des zu härtenden Werkstückes, um dort die geforderte Härte zu erreichen.

Der Erfindung liegt die **Aufgabe** zugrunde, das Abkühlen der Werkstückcharge so zu steuern, daß an einem vorgegebenen Werkstückquerschnitt das gewünschte Wärmebehandlungsergebnis erreicht wird, ohne an dieser oder einer anderen Stelle des Werkstücks Temperaturmessungen vorzunehmen.

Zur **Lösung** dieser Aufgabenstellung wird vorgeschlagen, daß während des Abkühlprozesses mit Hilfe mehrerer Meßfühler, z.B. Thermoelemente, kontinuierlich der Temperaturverlauf über den Querschnitt mindestens einer im Chargenraum angeordneten Meßsonde definierter Geometrie und definierten Werkstoffs erfaßt wird und mittels eines Rechners aufgrund dieser Temperaturverläufe zu der Meßsonde über die Bestimmung der Wärmestromdichte und des Wärmeübergangs an der Meßsonde der zeitliche Temperaturverlauf im Werkstück, d.h. in dem interessierenden Querschnitt des Werkstückes, errechnet wird und daß der Rechner mittels einer Vergleichseinrichtung einen fortlaufenden Vergleich zwischen dem solcherart errechneten Ist-Temperaturverlauf und einem vorgegebenen Soll-Temperaturverlauf durchführt

und die den Abkühlprozeß bestimmenden Parameter in Abhängigkeit vom Ergebnis dieses Vergleiches steuert.

Grundlage dieses Verfahrens ist die Steuerung des Abkühlprozesses auf Basis von Temperaturverläufen, die mittels einer Meßsonde definierter Geometrie und definiertem Werkstoffs erfaßt werden. Eine derartige Meßsonde ist für den Fall des Abschreckhärtens in einem Wasser- oder Ölbad in einem Beitrag von Liscic und Filetin in der Zeitschrift "Härtereitechnische Mitteilungen 41 (1986)" Heft 4, Seiten 208ff beschrieben. Diese Meßsonde ermöglicht es, zu jedem Zeitpunkt während der Wärmebehandlung die Temperatur der Sonde an einer oder mehreren Stellen ihres Querschnittes zu bestimmen.

Bei der vorliegenden Erfindung wird auf Grundlage der hierdurch ermittelten Temperaturverläufe und mit Hilfe der mathematischen Beziehungen für die Wärmeleitung in festen Stoffen und für den konvektiven Wärmeübergang das Temperaturprofil in der Meßsonde sowie die Wärmestromdichte und der Wärmeübergangskoeffizient an der Oberfläche der Meßsonde zu jedem Zeitpunkt während der Abkühlung errechnet. Mit Hilfe der bekannten dreidimensionalen Wärmeleitungsgleichungen wird dann für die vorgegebene Geometrie des Werkstückes für jeden Zeitpunkt dessen Oberflächentemperatur sowie der Temperaturverlauf im jeweils interessierenden Werkstückquerschnitt bestimmt. Der hierdurch erhaltene, errechnete Ist-Temperaturverlauf im Werkstück wird mit einem vorgegebenen Soll-Temperaturverlauf im Werkstück verglichen, der für die jeweilige Geometrie des Werkstückquerschnitts beispielsweise aus dem entsprechenden ZTU-Diagramm des betreffenden Werkstoffes ermittelt wird und der ein optimales Ergebnis der Wärmebehandlung, insbesondere ein optimales Härteergebnis, erwarten läßt. Abhängig vom Ergebnis dieses Vergleiches erfolgt dann die Steuerung der den Abkühlprozeß bestimmenden Parameter, d.h. der Geschwindigkeit des auf die Werkstückcharge geleiteten Kühlgases und/oder des Gasdrucks des Kühlgases. Die Steuerung des Abkühlprozesses kann auch über eine entsprechende Auswahl des jeweils in den Chargenraum eingeleiteten Kühlgases erfolgen, wofür vorzugsweise Stickstoff, Helium, Argon oder Wasserstoff in Betracht kommen.

Die Führung der den Abkühlprozeß bestimmenden Parameter erfolgt dann in der Weise, daß der für den betrachteten Querschnitt des Werkstückes errechnete Ist-Temperaturverlauf zu jedem Zeitpunkt weitgehend mit dem aus dem ZTU-Diagramm gewonnenen Soll-Temperaturverlauf übereinstimmt. Dadurch wird am vorgegebenen Querschnitt des Werkstückes das gewünschte Wärmebehandlungsergebnis erreicht, ohne daß an dieser oder an einer anderen Stelle des Werkstücks Tem-

peraturmessungen erforderlich wären.

Die Temperaturen werden vorzugsweise an verschiedenen Stellen des Querschnittes der Meßsonde erfaßt, von denen sich zumindest zwei Meßstellen innerhalb der Meßsonde befinden. Bei einer Ausgestaltung des Verfahrens sind innerhalb der Meßsonde insgesamt drei Meßstellen angeordnet, wobei diese Meßstellen verschiedene Abstände zur Oberfläche der Meßsonde aufweisen. Hierdurch ist eine besonders exakte Errechnung des Temperaturprofils im betrachteten Querschnitt der Meßsonde möglich, so daß auch das anschließende Errechnen des Ist-Temperaturverlaufes im Werkstück mit großer Genauigkeit durchgeführt werden kann.

Besonders aussagefähige Temperaturwerte lassen sich erhalten, wenn zumindest eine Meßstelle sich nahe der Oberfläche innerhalb der Meßsonde befindet.

Da zur Berechnung des Ist-Temperaturverlaufes auch die Gastemperatur im Chargenraum benötigt wird, wird mit einer vorteilhaften Ausgestaltung des Verfahrens vorgeschlagen, die Gastemperatur nahe der Oberfläche der Meßsonde zu erfassen. Alternativ ist auch eine mathematische Berechnung der Gastemperatur möglich.

Von Vorteil ist es ferner, wenn die Form der Meßsonde den für den Erfolg des Wärmebehandlungsprozesses maßgeblichen Stellen des Werkstücks nachgebildet ist. Diese Weiterentwicklung des Verfahrens ist insbesondere bei großen Werkstückserien mit Vorteil anwendbar, wobei in diesem Fall die für das Werkstück errechneten Ist-Temperaturverläufe den tatsächlichen Temperaturverlauf besonders genau wiedergeben, so daß sich der Abkühlprozeß besonders präzise steuern läßt.

Schließlich ist bei einer Weiterentwicklung des Verfahrens vorgesehen, daß der Rechner den Soll-Temperaturverlauf aus dem ZTU-Diagramm des Werkstoffes des Werkstückes errechnet. Es ist dadurch nicht erforderlich, im Rechner werkstücksspezifische Abkühlkurven abzuspeichern. Der Rechner benötigt vielmehr nur eine Datei der einschlägigen ZTU-Diagramme und errechnet hieraus bei Kenntnis der geforderten Härte selbsttätig den Soll-Temperaturverlauf im Werkstück an der betreffenden Stelle.

Weitere Einzelheiten und Vorteile des Gegenstandes der Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung der zugehörigen Zeichnungen, in denen anhand eines Beispiels das erfindungsgemäße Verfahren erläutert ist. In den Zeichnungen zeigen:

Fig. 1 ein vereinfachtes Ablaufdiagramm des Verfahrens zum Abkühlen einer Werkstückcharge innerhalb eines Wärmebehandlungsprozesses und

Fig. 2 in einer Schnittdarstellung eine Meßsonde zur Verwendung in dem Verfah-

ren.

In Fig. 1 ist strichpunktiert der Chargenraum 1 eines Vakuumofens zur Wärmebehandlung metallischer Werkstücke dargestellt. Der Vakuumofen ist zur Durchführung eines vollständigen Wärmebehandlungsprozesses vorbereitet, verfügt also neben einem Heizsystem über ein gebläsegestütztes Kühlsystem, bei dem ein Kühlgas, beispielsweise Stickstoff, Helium, Argon oder Wasserstoff, in den Chargenraum 1 eingeleitet wird und auf diese Weise zu einem schnellen Abkühlen des Werkstückes bzw. der Charge von Werkstücken führt. Der Abkühlprozeß wird von einer Steuereinrichtung 2 kontrolliert, die sowohl die Geschwindigkeit v_{Gas} als auch den Gasdruck p_{Gas} regelt. Die Kühlgeschwindigkeit und damit die innerhalb des Wärmebehandlungsprozesses am Werkstück erzielbare Härte läßt sich also durch die Steuereinrichtung 2 beeinflussen.

Im Chargenraum 1 befindet sich neben einem Werkstück 3 eine Meßsonde 4, die mit insgesamt vier Meßstellen zur Temperaturmessung versehen ist. Innerhalb der Meßsonde 4 angeordnete Meßstellen ergeben Temperaturwerte T_1, T_2 und T_3 , während eine nahe der Oberfläche der Meßsonde 4 angeordnete weitere Meßstelle die Temperatur T_0 im Chargenraum 1 nahe der Oberfläche der Meßsonde 4 erfaßt.

Der Aufbau der Meßsonde 4 ist in der Fig. 2 dargestellt. Die Meßsonde 4 besteht aus einem massiven Metallzylinder, in den quer zur Längsachse des Zylinders insgesamt drei parallel zueinander verlaufende Bohrungen 5 zur Aufnahme von Meßfühlern eingearbeitet sind. Die Bohrungen 5 reichen unterschiedlich weit bis an die Oberfläche 6 der Meßsonde 4. Eine erste Meßstelle 7a wird durch ein Thermoelement gebildet, welches sich am sacklochartigen Ende der kürzesten der drei Bohrungen 5 befindet. Diese Meßstelle 7a erfaßt daher die Temperatur im Kern der Meßsonde 4. Die zweite Meßstelle 7b befindet sich in einem Abstand von ca. 4mm zur Oberfläche 6 der Meßsonde 4, während die dritte Meßstelle 7c knapp unterhalb der Oberfläche 6 der Meßsonde 4 eingebaut ist. Der Abstand zur Oberfläche 6 beträgt hier nur ca. 1,5mm. Um einen Wärmeeinfluß auf die als Thermoelemente ausgebildeten Meßfühler durch die Bohrungen 5 hindurch zu vermeiden, sind die Bohrungen 5 nach Einsetzen der Thermoelemente verschlossen. Nicht dargestellte Stromleiter der Thermoelemente führen aus der Meßsonde 4 hinaus und sind an eine Meßwerterfassung eines den Abkühlprozeß steuernden Rechners angeschlossen.

In Fig. 1 ist dargestellt, daß die an den drei Meßstellen der Meßsonde ermittelten Temperaturen T_1, T_2 und T_3 sowie die knapp oberhalb der Oberfläche der Meßsonde 4 ermittelte Temperatur T_0 zusammen mit der Geometrie und dem verwen-

deten Werkstoff der Meßsonde 4 einem in dem Rechner durchgeführten Rechenschritt zugrundegelegt werden, in dem für die Meßsonde 4 das Temperaturprofil T_s , die Wärmestromdichte an der Oberfläche sowie der Wärmeübergangskoeffizient der zwischen Oberfläche und Kühlgas übergehenden Wärme zu jedem Zeitpunkt während der Abkühlung ermittelt werden. Diese Berechnung erfolgt mit den bekannten Gleichungen der konvektiven Wärmeübertragung sowie der Wärmeleitung.

Diese Daten sowie die die Geometrie und den Werkstoff des Werkstückes 3 betreffenden Daten werden von dem Rechner in einem weiteren Rechenschritt herangezogen, um für den jeweiligen Zeitpunkt die Temperatur im Inneren sowie an der Oberfläche eines vorgegebenen Querschnittes des Werkstückes 3 zu berechnen. Hierbei wird vorausgesetzt, daß die Wärmeübertragungsbedingungen an Meßsonde 4 und Werkstück 3 weitgehend gleich sind. Anhand dieser Annahme wird aus den an der Meßsonde 4 ermittelten zeitlichen Temperaturverläufen auf entsprechende, jedoch zusätzlich durch die Geometrie sowie den Werkstoff des Werkstückes 3 beeinflusste Temperaturverläufe im Werkstück 3 geschlossen. Hierzu werden in einem Unterprogramm des Rechners die bekannten Wärmeleitungsgleichungen in dreidimensionaler Form für den jeweiligen Zeitpunkt sowie die vorgegebene Werkstückgeometrie gelöst. Der auf diese Weise rechnerisch bestimmte Ist-Temperaturverlauf $T_{w,ist}$ stimmt gut mit dem tatsächlichen Temperaturverlauf in dem Werkstück 3 überein, wenn die Kühlbedingungen, d.h. die Temperatur und die Geschwindigkeit des Kühlgases, an der Meßsonde 4 und dem Werkstück 3 gleich sind. Dies ist in der Praxis mit ausreichender Genauigkeit erfüllt, wenn die Meßsonde 4 nahe dem Werkstück 3 im Chargenraum 1 angeordnet wird.

Zur Steuerung des Abkühlprozesses ist es erforderlich, den rechnerisch ermittelten Ist-Temperaturverlauf $T_{w,ist}$ mit einem Soll-Temperaturverlauf $T_{w,soll}$ zu vergleichen. Hierbei wird der Soll-Temperaturverlauf $T_{w,soll}$ in einem Unterprogramm rechnerisch aus dem für den jeweiligen Werkstoff geltenden ZTU-Diagramm des Werkstückes 3 abgeleitet. Dabei wird mit Hilfe des ZTU-Diagramms jene Sollkurve errechnet, die gerade die gewünschte Härte des Werkstoffes ergibt.

Um den Ist-Temperaturverlauf $T_{w,ist}$ möglichst gut in Übereinstimmung mit dem Soll-Temperaturverlauf $T_{w,soll}$ zu bringen, führt der Rechner anschließend einen Vergleichsschritt 8 durch, wobei abhängig von dem Ergebnis dieses Vergleichs die Steuereinrichtung 2 die den Abkühlprozeß bestimmenden Parameter v_{Gas} , p_{Gas} im Sinne einer bestmöglichen Annäherung an den Soll-Temperaturverlauf $T_{w,soll}$ steuert. Der gesamte Abkühlprozeß läuft daher vollautomatisch und rechnergesteuert. Hier-

bei wird nur genau so viel Kühlgas und Umweltenergie zur Verteilung des Kühlgases verbraucht, wie nötig. Der Wärmebehandlungsprozeß ermöglicht es, in jedem gewünschten Punkt des Werkstückes genau die angestrebte Härte zu erreichen. Zusätzlich ist es möglich, bereits vor Durchführung des Wärmebehandlungsprozesses eine Vorausberechnung durchzuführen und auf diese Weise den Ablauf des Abkühlprozesses zu simulieren.

Bezugszeichenliste

- | | |
|----|-------------------|
| 1 | Chargenraum |
| 2 | Steuereinrichtung |
| 3 | Werkstück |
| 4 | Meßsonde |
| 5 | Bohrung |
| 6 | Oberfläche |
| 7a | erste Meßstelle |
| 7b | zweite Meßstelle |
| 7c | dritte Meßstelle |
| 8 | Vergleichsschritt |

Patentansprüche

1. Verfahren zum Abkühlen einer Werkstückcharge innerhalb eines Wärmebehandlungsprozesses mittels Gaskühlung, bei dem die den Abkühlprozeß bestimmenden Parameter wie etwa Kühlgasgeschwindigkeit und Kühlgasdruck in Abhängigkeit von während des Abkühlprozesses ermittelten Temperaturen eingestellt und auf diese Weise der Abkühlprozeß gesteuert wird, **dadurch gekennzeichnet**, daß während des Abkühlprozesses mit Hilfe mehrerer Meßfühler, z.B. Thermoelemente, kontinuierlich der Temperaturverlauf über den Querschnitt mindestens einer im Chargenraum angeordneten Meßsonde definierter Geometrie und definierter Werkstoffe erfaßt wird und mittels eines Rechners aufgrund dieser Temperaturverläufe in der Meßsonde über die Bestimmung der Wärmestromdichte und des Wärmeübergangs an der Meßsonde der zeitliche Temperaturverlauf im Werkstück, d.h. in dem interessierenden Querschnitt des Werkstückes, errechnet wird und daß der Rechner mittels einer Vergleichseinrichtung einen fortlaufenden Vergleich zwischen dem solcherart errechneten Ist-Temperaturverlauf ($T_{w,ist}$) und einem vorgegebenen Soll-Temperaturverlauf ($T_{w,soll}$) durchführt und die den Abkühlprozeß bestimmenden Parameter in Abhängigkeit vom Ergebnis dieses Vergleiches steuert.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Temperaturen an verschiedenen Stellen des Querschnittes der Meßsonde

erfaßt werden, von denen sich zumindest zwei Meßstelle innerhalb der Meßsonde befinden.

3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß insgesamt drei Meßstellen innerhalb der Meßsonde angeordnet sind, wobei diese Meßstellen verschiedene Abstände zur Oberfläche der Meßsonde aufweisen. 5
4. Verfahren nach Anspruch 2 oder Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß sich zumindest eine Meßstelle nahe der Oberfläche innerhalb der Meßsonde befindet. 10
5. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Gastemperatur (T_o) nahe der Oberfläche der Meßsonde erfaßt wird. 15
6. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Form der Meßsonde den für den Erfolg des Wärmebehandlungsprozesses maßgeblichen Stellen des Werkstücks nachgebildet ist. 20
7. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Wärmebehandlungsprozeß in einem Vakuumofen durchgeführt wird. 25
8. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Rechner den Soll-Temperaturverlauf ($T_{w,soll}$) aus dem ZTU-Diagramm des Werkstoffes des Werkstückes errechnet. 30

35

40

45

50

55

Fig. 1

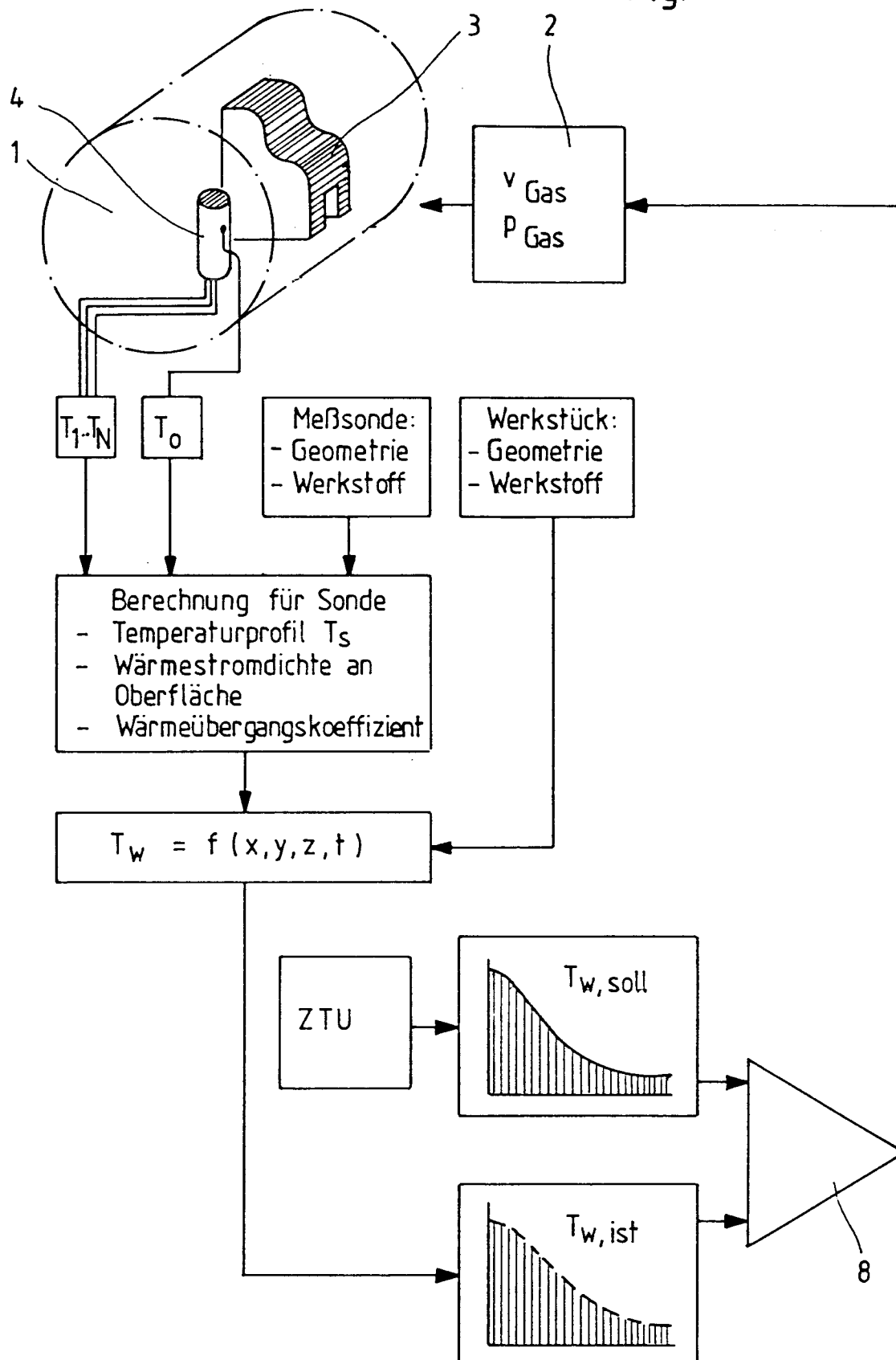
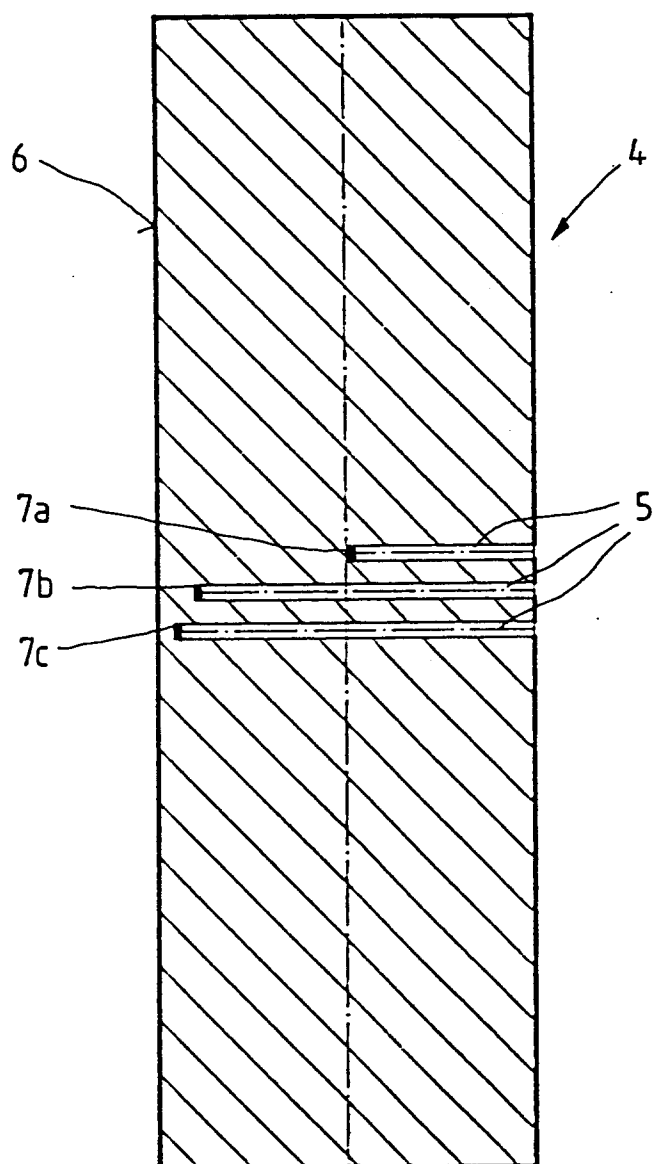


Fig. 2





Europäisches
Patentamt

EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung

EP 92 11 3958

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (Int. Cl.5)
A	EP-A-0 253 176 (DEGUSSA) * Anspruch *	1	C21D11/00 C21D1/767
A	EP-A-0 129 701 (SCHMETZ INDUSTRIEOFENBAU UND VAKUUM-HARTLÖTTECHNIK) * Anspruch 1 *	1	
A,D	HAERTEREI TECHNISCHE MITTEILUNGEN Bd. 41, Nr. 4, 1986, MÜNCHEN DE Seiten 207 - 212 B. LISCIC ET AL.	1	
			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (Int. Cl.5)
			C21D
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort BERLIN		Abschlußdatum der Recherche 03 FEBRUAR 1993	Prüfer SUTOR W.
<div>KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE</div> <div>X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : nichtschriftliche Offenbarung P : Zwischenliteratur</div> <div>T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentedokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus andern Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument</div>			

EPO FORM 1503 01.82 (P0403)