

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
18. Dezember 2008 (18.12.2008)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2008/152025 A2

(51) Internationale Patentklassifikation:

G01F 1/66 (2006.01) **G21C 17/032** (2006.01)

G01F 15/00 (2006.01) **G10K 11/24** (2006.01)

(71) **Anmelder** (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): **FORSCHUNGSZENTRUM DRESDEN - ROSSENDORF E.V.** [DE/DE]; Bautzner Landstrasse 128, 01328 Dresden (DE).

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2008/057195

(22) Internationales Anmeldedatum:

10. Juni 2008 (10.06.2008)

(72) **Erfinder; und**

(75) **Erfinder/Anmelder** (nur für US): **ECKERT, Sven** [DE/DE]; Ludwig-Kugelmanstrasse 9a, 01259 Dresden (DE). **GERBETH, Gunter** [DE/DE]; Schulstrasse 11, 01328 Dresden (DE). **GUNDRUM, Thomas** [DE/DE]; Am Teich 7, 01454 Ullersdorf (DE).

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:

10 2007 027 392.6 11. Juni 2007 (11.06.2007) DE

(74) **Anwalt: LIPPERT, STACHOW & PARTNER;**
Krenkelstrasse 3, 01309 Dresden (DE).

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) **Title:** METHOD FOR MEASURING FLOW RATES IN LIQUID MELTS

(54) **Bezeichnung:** VERFAHREN ZUR MESSUNG VON STRÖMUNGSGESCHWINDIGKEITEN IN FLÜSSIGEN SCHMELZEN

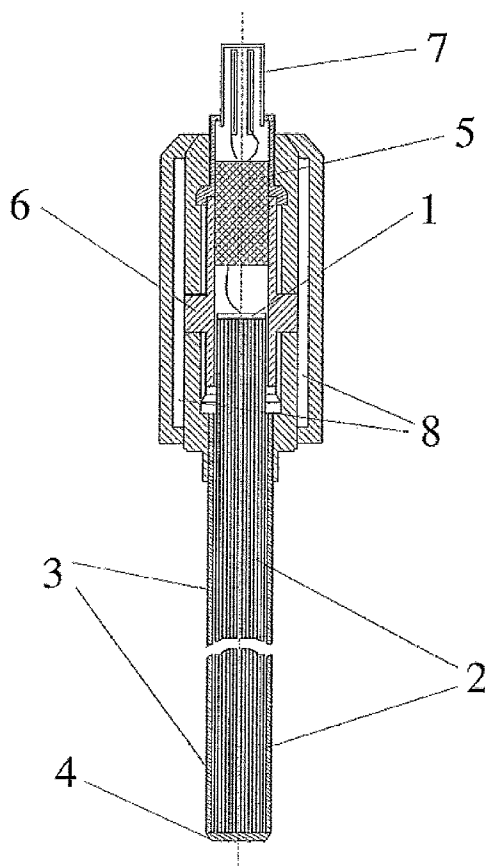


Fig. 1

(57) **Abstract:** The invention relates to a method for measuring flow rates in liquid melts in a temperature range above 200 °C using an ultrasonic generator and to an associated ultrasonic waveguide according to the ultrasonic Doppler method. The aim of the invention is to provide good signal incoupling and outcoupling. This is achieved by the preparation of the wettability of the end face of the ultrasonic waveguide before the measuring operation, subsequent direct incoupling of ultrasonic measuring signals into the melt at an angle that is not equal to 90°, achieved by the immersion of the end face of the ultrasonic waveguide into the melt, outcoupling of the ultrasonic signals reflected in the melt via the end face of the ultrasonic waveguide and routing of said signals to an evaluation circuit. To prepare the wettability of the end face, the latter is mechanically and chemically cleaned and subsequently coated with a suitable material.

(57) **Zusammenfassung:** Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Messung der Strömungsgeschwindigkeit in flüssigen Schmelzen in einem Temperaturbereich oberhalb von 200 °C mit einem Ultraschallgenerator sowie zugehörigem Ultraschall-Wellenleiter nach dem Ultraschall-Doppler-Verfahren. Mit der Erfindung soll eine gute Signalein- und -auskopplung gewährleistet werden. Erreicht wird das durch Herstellen der Benetzbarkeit der Stirnfläche des Ultraschallwellenleiters vor dem Messvorgang, anschließendes direktes Einkoppeln von Ultraschall-Messsignalen in die Schmelze unter einem Winkel verschieden von 90°, indem zumindest die Stirnfläche des Ultraschallwellenleiters in die Schmelze eingetaucht wird, und Auskoppeln der in der Schmelze reflektierten Ultraschallsignale über die Stirnfläche des Ultraschallwellenleiters und Weiterleitung derselben an eine

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2008/152025 A2



(81) **Bestimmungsstaaten** (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SV, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) **Bestimmungsstaaten** (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG,

ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MT, NL, NO, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

— ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts

5

Verfahren zur Messung von Strömungsgeschwindigkeiten in
flüssigen Schmelzen

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Messung der Strömungsgeschwindigkeit in flüssigen Schmelzen in einem Temperaturbereich oberhalb von 200 °C mit einem Ultraschallgenerator sowie zugehörigem Ultraschall-Wellenleiter nach dem Ultraschall-Doppler-Verfahren.

Gemäß dem Stand der Technik sind keine Verfahren bekannt, mit denen mit einer ausreichenden Genauigkeit lokale Strömungsgeschwindigkeiten in heißen Schmelzen bestimmt werden könnten. Heiße Schmelzen, wie flüssige Metalle oder Halbleiter sind nichttransparent. Aus diesem Grund sind optische Messverfahren ausschließlich auf freie Oberflächen der Schmelzen beschränkt. In der Praxis werden beispielsweise Schwimmkörper auf die freie Oberfläche aufgesetzt und deren Bewegung verfolgt. Es sind invasive Methoden bekannt, bei denen Probekörper in die Schmelze eingetaucht werden und die Kraftwirkung auf diese Körper vermessen oder die Auflösungsrate des Materials bestimmt wird.

30 Diese Verfahren stellen in der Regel einen signifikanten Ein-
griff und eine nicht zu vernachlässigende Störung des jeweili-
gen Prozesses dar und liefern lediglich sehr grobe Messwerte.

Es sind weiterhin Korrelationsmessverfahren bekannt. So können beispielsweise Temperaturschwankungen über eine bestimmte Messstrecke hinweg verfolgt werden. Die Laufzeit der Signale liefert einen Wert für die Geschwindigkeit zwischen zwei Messpunkten. Dieses Ergebnis kann allerdings aufgrund des nötigen Abstandes zwischen den Messpunkten nicht als lokaler Messwert interpretiert werden.

Im Gegensatz zu den in der Strömungsmechanik weit verbreiteten optischen Messverfahren sind die Ultraschallmessverfahren prinzipiell für einen Einsatz in nichttransparenten Fluiden geeignet. Die wesentliche Komponente der Messapparatur ist der Ultraschallwandler in Form eines piezoelektrischen Kristalls (auch piezoelektrischer Wandler genannt), der elektrisch mit einem Frequenzgenerator und einem Auswertegerät verbunden ist. Die Übertragung der Ultraschallwellen in das zu untersuchende Fluid erfolgt vom Ultraschallwandler direkt in das Fluid oder über die Außenwand des das Fluid umschließenden Behälters.

Weit verbreitet sind Ultraschall-Durchflussmessgeräte zur Bestimmung des Durchsatzes strömender Medien in Rohren oder Rinnen. Die Schrift DE 198 12 458 C2 beschreibt einen Send- und/oder Empfangskopf für einen Ultraschall-Durchflussmesser nach dem Laufzeit-Verfahren, der sich durch die Verwendung eines Ultraschallwellenleiters mit großem Wärmeleitwiderstand auszeichnet. Die Nutzung eines Ultraschallwellenleiters zur Übertragung von Ultraschallsignalen ermöglicht eine räumliche Trennung von heißer Schmelze und piezoelektrischem Wandler. Die Verwendung von Materialien mit einem hohen Wärmeleitwiderstand zur Konstruktion des Ultraschallwellenleiters ist geeignet, die Temperatur am piezoelektrischen Wandler bei praktikabler Länge des Ultraschallwellenleiters zu begrenzen. Darüber hinaus gehende, spezifische Informationen hinsichtlich einer Verwendung des Verfahrens speziell in Schmelzen hoher Temperatur für die Durchführung von Messungen lokaler Geschwindigkeiten in den

Schmelzen sind in oben genannter Schrift nicht enthalten. Die Messung lokaler Geschwindigkeiten in den Schmelzen ist mit Hilfe des Laufzeitverfahrens nicht möglich.

5 Neben den Methoden zur Durchflussmessung mittels Ultraschall wurde auch das Ultraschall-Doppler-Verfahren zur Messung von Geschwindigkeitsprofilen in technischen Strömungen entwickelt (Y. Takeda: *Development of an ultrasound velocity profile moni-*
10 *tor*. Nucl. Eng. Design, Vol. 126, 1991, 277-284). Die Anwendung eines Ultraschallsensors mit integriertem Ultraschallwellenleiter beim Ultraschall-Doppler-Verfahren bedingt eine dispersi-
onsfreie Übertragung der Ultraschallwellen im Ultraschallwellenleiter. Damit ergeben sich an den Aufbau des Ultraschallwellenleiters spezielle Anforderungen. So muss die Materialstärke
15 der die Ultraschallwellen tragenden Struktur quer zur Übertragungsrichtung geringer als die minimale Wellenlänge des zu übertragenden Ultraschallsignals sein. Es sind verschiedene Konzepte zur Konstruktion entsprechender Ultraschallwellenleiter bekannt und werden z.B. in den Schriften WO 96/41157 und DE
20 100 21 187 C1 beschrieben.

Die Schrift DE 100 53 508 A1 beschreibt das stirnseitige Verschließen eines aus einer Folie gewickelten Wellenleiters mittels geeigneter Scheiben, um eine bessere Ankopplung mit hoher
25 Energieübertragung zu erreichen.

Neben der Bereitstellung eines geeignet strukturierten Ultraschallwellenleiters müssen für eine erfolgreiche Realisierung eines Verfahrens zur Bestimmung lokaler Geschwindigkeiten mittels der Ultraschall-Doppler-Methode in Schmelzen bei hohen
30 Temperaturen entsprechende Vorkehrungen für eine verlustarme Ultraschallübertragung getroffen werden. Im hier benannten Anwendungsfall bei hohen Temperaturen treten diesbezügliche Probleme in spezieller Ausprägung auf.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zur Durchführung lokaler Geschwindigkeitsmessungen auf der Basis der Ultraschall-Doppler-Methode in heißen Schmelzen zu entwickeln, bei dem insbesondere eine gute Signalein- und Auskopp-
5 lung gewährleistet ist.

Die Aufgabe wird erfindungsgemäß gelöst durch Herstellen der Benetzbarkeit der Stirnfläche des Ultraschallwellenleiters vor
10 dem Messvorgang und nachfolgendes direktes Einkoppeln von Ultraschall-Messsignalen in die Schmelze unter einem Winkel verschieden von 90° , indem zumindest die Stirnfläche des Ultraschallwellenleiters in die Schmelze eingetaucht wird, sowie Auskoppeln der in der Schmelze reflektierten Ultraschallsignale
15 über die Stirnfläche des Ultraschallwellenleiters und Weiterleitung derselben an eine Auswerteschaltung.

Es ist von Vorteil, zumindest der Ultraschallwellenleiter während des Messvorganges zu kühlen.

20 In einer ersten Fortführung der Erfindung wird die der Schmelze zugewandte Stirnfläche des Ultraschallwellenleiters vor dem Eintauchen in die Schmelze mechanisch und/oder chemisch von Schmutz und Oxiden befreit. Das kann einfach mittels organischer Säuren vorgenommen werden.
25

Nach der Reinigung der Stirnfläche des Ultraschallwellenleiters kann diese mit einer glatten Schutzschicht versehen werden, wobei die glatte Schutzschicht in Form einer Folie oder Deck-
30 platte aufgebracht werden kann.

In einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung kann die der Schmelze zugewandte Stirnfläche des Ultraschallwandlers durch das zwischenzeitliche Aufbringen einer Schutzschicht vor erneu-
35 ter Oxidation geschützt werden.

Gemäß einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung ist vorgesehen, dass auf der Stirnfläche des Ultraschallwandlers eine Schutzschicht aus einem Material entsprechend der zu messenden Schmelze aufgebracht wird. Das kann eine metallische Schutzschicht sein.

Um eine optimale Ankopplung der Ultraschallsignale zu erreichen, ist vorgesehen, dass sich die Schutzschicht zu Beginn oder während des Messvorganges in der Schmelze auflöst.

Die Schutzschicht kann einfach mittels Ionenimplantation oder elektrochemischen oder physikalischen Verfahren aufgetragen werden.

Die Erfindung soll nachfolgend an einem Ausführungsbeispiel näher erläutert werden. In den zugehörigen Zeichnungen zeigen

Fig. 1: eine schematische Ansicht des Ultraschallsensors und

Fig. 2: eine spezielle Ausführung eines Ultraschallwellenleiters bestehend aus einer Vielzahl übereinander geschichteter Einzelfolien.

In Fig. 1 ist der prinzipielle Aufbau eines erfindungsgemäßen Ultraschallsensors dargestellt, der nach dem Ultraschall-Doppler-Verfahren arbeitet. Damit ist gewährleistet, dass nur ein Sensor für die Bestimmung der Geschwindigkeit der strömenden Schmelze notwendig ist. Das Eintauchen des Sensors in eine Schmelze muss unter einem Winkel erfolgen, der von 90° verschieden ist. Die Benutzung von zwei oder mehreren Ultraschallsensoren ist möglich.

Der erfindungsgemäße Ultraschallsensor besteht aus den Hauptbaugruppen piezoelektrischer Wandler 1 mit zugehörigen elektronischen Komponenten 5 zur Steuerung des Wandlers 1 und zur

internen Aufbereitung, Anpassung und Auswertung der Signale und einem Ultraschallwellenleiter 2 in axialer Anordnung. Der piezoelektrische Wandler 1 befindet sich dabei auf der der Strömung abgewandten Seite des Ultraschallwellenleiters 2. Der Ultraschallwellenleiter 2 ist von einem Schutzmantel 3 umgeben.

Das Ausgangssignal liegt an einer Anschlussbuchse 7 an, die sich axial hinter den elektronischen Komponenten 5 befindet und kann somit über ein Kabel an ein außerhalb des Sensors befindliches nicht dargestelltes Auswertegerät übertragen werden.

Der piezoelektrische Wandler 1 und die elektrischen Komponenten 5 für die Signalanpassung 5 sind in einem Schutzgehäuse 6 untergebracht.

Sämtliche Sensorkomponenten innerhalb des Schutzgehäuses 6 müssen dauerhaft auf einem Temperaturniveau kleiner als 100°C gehalten werden. Bei entsprechender thermischer Belastung kann das Schutzgehäuse 6 doppelwandig ausgeführt werden, wobei der Zwischenraum 8 des Schutzgehäuses 6 über entsprechende Anschlüsse mit einem Kühlmittelreservoir verbunden und während der Messung von einem Kühlmittel durchströmt werden kann.

Eine spezielle Ausgestaltung des Ultraschallwellenleiters 2, bestehend aus einer Vielzahl flächig übereinander geschichteter Metallfolien, ist in Fig. 2 zu sehen. Die Ausbreitungsrichtung des Ultraschalls verläuft senkrecht zur Flächennormalen der Einzelfolien. Die einzelnen Folienlagen besitzen beispielsweise eine Abmessung von jeweils 5x300 mm² bei einer Dicke von jeweils 75 µm.

Der Ultraschallwellenleiter 2 ist mit einem Schutzmantel 3 versehen, dessen Form dem Querschnitt des Ultraschallwellenleiters 2 angepasst ist. Für die Gewährleistung der Funktion des Ultraschallwellenleiters 2 kann die der Schmelze zugewandte

Stirnseite des Schutzmantels 3 des Ultraschallwellenleiters 2 mit einer Deckplatte 4 verschlossen sein (Fig. 1).

Zwischen der Deckplatte 4 und den Folienlagen des Ultraschallwellenleiters 2 besteht eine homogene Materialverbindung. Es ist nicht erforderlich, dass Ultraschallwellenleiter 2, Schutzmantel 3 und Deckplatte 4 aus demselben Material bestehen.

Für einen Einsatz in einer Zinnschmelze bei etwa 1000°C kann der Ultraschallwellenleiter 2 zum Beispiel aus einer Molybdänfolie gefertigt sein, die sich in einem Edelstahlrohr befindet, welches an der vorderen Stirnseite mit einer Edelstahldeckplatte 4 verschlossen ist. Um eine für einen guten akustischen Übergang ausreichende Benetzung zwischen Ultraschallsensor und Zinnschmelze herzustellen, wird die Oberfläche der Edelstahldeckplatte 4 mechanisch poliert und anschließend mit Phosphorsäure behandelt. Auf der gereinigten Oberfläche wird nachfolgend elektrolytisch Zinn abgeschieden.

Der Einsatzbereich eines piezoelektrischen Wandlers wird durch dessen Curie-Temperatur begrenzt. Wird diese Temperaturschwelle überschritten, verliert das Wandlermaterial seine piezoelektrischen Eigenschaften. Die Schmelztemperatur einer Vielzahl kommerziell interessanter Metalle, Halbleiter oder Gläser liegt deutlich oberhalb der Curie-Temperatur gebräuchlicher Piezokeramiken.

Eine Anwendung des Ultraschall-Doppler-Verfahrens in diesen Schmelzen erfordert eine technische Lösung, die einen stabilen, akustischen Kontakt zwischen Ultraschallwandler und Fluid herstellt und gleichzeitig den piezoelektrischen Wandler vor der Einwirkung der zu untersuchenden Schmelze schützt.

Noch stärker als bei den Verfahren der Ultraschall-Durchflussmessung ist beim Ultraschall-Doppler-Verfahren eine möglichst verlustarme Übertragung hochfrequenter Ultraschall-

signale erforderlich, um verwertbare Messdaten zu gewinnen. Infolge der hohen Temperaturen der zu untersuchenden Schmelzen ist ein Ultraschallwellenleiter in das Messkonzept integriert. Hiermit sind allerdings nicht zu vermeidende Übertragungsverluste verbunden.

Zusätzliche Verluste ergeben sich bei der Durchschallung von Gefäßwänden, wobei sich insbesondere die Struktur des Wandmaterials von Behältern zur Aufbewahrung heißer Schmelzen oft durch äußerst schlechte Übertragungseigenschaften für den Ultraschall auszeichnet. Daraus ergibt sich die Notwendigkeit einer direkten Ankopplung des Sensors an die zu messende Strömung unmittelbar in der Schmelze. Die hohen Anwendungstemperaturen sowie der direkte Kontakt mit der Schmelze über den Ultraschallwellenleiter stellen besondere Anforderungen an die Ausführung des Sensors, insbesondere des Ultraschallwellenleitermaterials hinsichtlich seiner physikalischen Eigenschaften sowie seiner chemischen Stabilität bzw. Löslichkeit in der Schmelze.

Es ist bekannt, dass jede Schallausbreitung von Verlusten begleitet wird, da sich kontinuierlich ein Teil der mechanischen Energie der fortlaufenden Schallwelle in Wärme umwandelt. Dieser Vorgang wird als Schallabsorption bezeichnet und ist durch den Absorptionskoeffizienten α charakterisiert, welcher eine exponentielle Abnahme des Schalldrucks p einer ebenen, harmonischen Schallwelle entlang einer Strecke x beschreibt (H. Kuttruff: *Physik und Technik des Ultraschalls*. Hirzel Verlag Stuttgart, 1988, 191 ff.):

$$p(x) = p_0 e^{-\alpha x}$$

Der Absorptionskoeffizient α hängt vom Übertragungsmaterial und der Frequenz der Ultraschallwelle ab und wird durch die Beiträge verschiedener Verlustmechanismen bestimmt, die von der Wechselwirkung der sich ausbreitenden Welle mit der atomaren Struk-

tur des Übertragungsmediums herrühren. Anteile des Absorptionskoeffizienten, die auf Schallabsorption durch Kristallbaufehler, Streuung an thermischen Phononen oder ähnliche Vorgänge zurückzuführen sind, wachsen mit steigender Temperatur an. Ein Anstieg der Temperatur über Werte von beispielsweise 400°C bringt für viele Materialien bereits einen messbaren Anstieg der akustischen Dämpfung mit sich.

Bei Temperaturen oberhalb 700°C ist eine derart drastische Zunahme der Übertragungsverluste zu beobachten, dass eine sinnvolle Nutzung des betreffenden Materials als Ultraschallwellenleiter auszuschließen ist. Für diese speziellen Anwendungen kommen damit nur noch eine geringe Anzahl sorgfältig auszuwählender Ultraschallwellenleitermaterialien in Betracht. Die Tauglichkeit verschiedener Materialien im Hinblick auf ihr akustisches Dämpfungsverhalten bei hohen Temperaturen wurde in umfangreichen Versuchsreihen überprüft.

Es hat sich gezeigt, dass Iridium, Molybdän, Niob, Tantal, Wolfram, Zirkonium, Edelstahl, Titan, Monel oder Legierungen dieser Materialien im Bereich hoher Temperaturen ($T > 200^{\circ}\text{C}$) entsprechende, für das Ultraschall-Doppler-Verfahren ausreichende Übertragungseigenschaften für den Ultraschall aufweisen.

Eine wesentliche Bedingung besteht in einer ausreichenden Benetzung der Stirnfläche des Ultraschallwellenleiters, um eine gute akustische Ankopplung an die Schmelze sicherzustellen. Versuche haben gezeigt, dass im Falle einer Nichtbenetzung des Ultraschallwellenleiters durch die Schmelze nur ein verschwindend geringer Teil der Ultraschallenergie in das Fluid eingekoppelt werden kann und dadurch kein verwertbares Messsignal entsteht.

Gemäß der Erfindung sind verschiedene mechanische und chemische Bearbeitungsverfahren für die Stirnfläche des Ultraschallwellenleiters vorgesehen, um eine Benetzung zwischen Ultraschall-

wellenleitematerial und Schmelze zu erreichen. Die Anzahl und Abfolge der einzelnen Bearbeitungsschritte hängt jeweils von der Art der betrachteten Schmelze, dem Material des Ultraschallwellenleiters und dem Temperaturbereich ab, in dem die Messungen durchgeführt werden sollen.

Eine wesentliche Voraussetzung für eine Benetzung ist die Entfernung von Verschmutzungen, Ablagerungen und Oxidschichten auf der Stirnfläche der Deckplatte 4 des Ultraschallwellenleiters 2. Dies kann mechanisch, z. B. durch Schleifen und Polieren, und/oder chemisch durch eine zeitlich begrenzte Einwirkung geeigneter Chemikalien, z. B. anorganische Säuren oder geeignete Flussmittel, erfolgen.

Im Zeitraum zwischen dieser Präparation und dem Messeinsatz muss die Deckplatte 4 des Ultraschallwellenleiters 2 in geeigneter Weise vor erneuter Oxidation und/oder Verschmutzung geschützt werden. Dies kann durch eine geeignete Schutzschicht, z.B. aus einem Metall realisiert werden, die mechanisch und/oder thermisch auf die Stirnfläche der Deckplatte 4 aufgetragen worden ist. Diese Schutzschicht muss sich während der Messung in der Schmelze innerhalb eines vorgegebenen Zeitraumes auflösen, so dass dann der direkte Kontakt zwischen Schmelze und der präparierten Stirnfläche der Deckplatte 4 erreicht wird.

Bei einigen Materialpaarungen wird das Ultraschallwellenleitermaterial selbst bei ideal gesäuberter Oberfläche grundsätzlich nicht oder nur oberhalb einer bestimmten Temperatur benetzt. Für diese Anwendungsfälle ist es notwendig, dass die Stirnseite der Deckplatte 4 mit einer Schicht eines Materials bedeckt wird, das von der Schmelze in dem für die Messung vorgesehenen Temperaturbereich gut benetzt wird. Zwischen dieser Schicht und dem Ultraschallwellenleiter muss eine homogene Materialverbindung existieren. Die zusätzliche Deckschicht kann durch das Anbringen einer Scheibe oder Folie auf der Deckplatte 4 oder

durch elektrochemische Abscheidungsverfahren realisiert werden.

Eine weitere Möglichkeit besteht in einer Modifikation der oberflächennahen Struktur des Ultraschallwellenleiters durch
5 Ionenimplantation oder ähnliche physikalische Verfahren.

Eine weitere Voraussetzung für die Anwendung eines Sensors mit Ultraschallwellenleiter für das Ultraschall-Doppler-Verfahren ist die dispersionsfreie Übertragung der Ultraschallwelle im
10 Ultraschallwellenleiter. Um dies zu erreichen, wird der Ultraschallwellenleiter aus einer dünnen Struktur aufgebaut. Dies bringt in der Regel eine nur unvollständige Ausfüllung des Querschnitts mit Material mit sich. Sollte bei einem Eintauchen des Ultraschallwellenleiters in die Schmelze dieselbe entlang
15 der Hohlräume in die innere Struktur des Ultraschallwellenleiters vordringen, ist eine störungsfreie, dämpfungsarme Übertragung nicht mehr gewährleistet.

Um dies zu verhindern, ist die der Schmelze zugewandte Stirnfläche des Ultraschallwellenleiters 2 mit der bereits erwähnten
20 Deckplatte 4 verschlossen und kann zusätzlich noch mit einer Deckplatte ausgeführt sein.

Der piezoelektrische Wandler sowie die zum Zweck der Signalanpassung nachgeschalteten elektronischen Bauelemente können in
25 der Regel dauerhaft Temperaturen bis maximal 100°C ausgesetzt werden. In Abhängigkeit von der konkreten Anwendung kann es daher erforderlich werden, diese temperaturempfindlichen Sensorkomponenten zusätzlich zu kühlen. Zu diesem Zweck ist es
30 beispielsweise sinnvoll, die entsprechenden Komponenten in einem Schutzgehäuse 6 mit einem doppelwandigen Schutzmantel 8 unterzubringen, dessen Hohlraum während des Einsatzes von einem Kühlmittel durchströmt wird.

35 Die Signalqualität bei Geschwindigkeitsmessungen mittels Ultraschall-Doppler-Verfahren kann durch eine geeignete elektrische

Anpassung des piezoelektrischen Wandlers an das Auswertegerät deutlich verbessert werden. Diese Anpassung wird in der vorliegenden Erfindung unter Verwendung einer entsprechend dimensionierten Schaltung von Kondensatoren und/oder Spulen realisiert.

5 In der Regel sollte die Impedanz des piezoelektrischen Wandlers 1 unter dem Wellenwiderstand des zum Signaltransport verwendeten Kabels liegen, so dass bei einer Impedanz-Transformation mit Hilfe von Spulen und Kondensatoren Ultraschallfelder mit signifikant höherer Intensität übertragen werden.

10

Die zu untersuchenden Schmelzen werden oft mit Induktionsheizungen oder elektrischen Heizungen mit Thyristorstellern erwärmt und aufgeschmolzen. Das führt zur Induktion von elektrischen Strömen direkt in der Schmelze oder auch im Ultraschallwellenleiter 2. Der Einsatz von elektromagnetischen Pumpen oder Magnetfeldsystemen zur Strömungsbeeinflussung ist eine weitere Quelle für elektrische Störsignale, die Oberwellen hervorrufen können und damit das Messergebnis beeinträchtigen.

15

20 Das erfindungsgemäße Verfahren zeichnet sich aus durch Herstellen der Benetzbarkeit der Stirnfläche 4 des Ultraschallwellenleiters 1 unmittelbar vor dem Messvorgang und nachfolgendes direktes Einkoppeln von Ultraschall-Messsignalen in die Schmelze unter einem Winkel verschieden von 90° , indem zumindest die
25 Stirnfläche 4 des Ultraschallwellenleiters 1 in die Schmelze eingetaucht wird, sowie Auskoppeln der in der Schmelze reflektierten Ultraschallsignale über die Stirnfläche 4 des Ultraschallwellenleiters 1 und Weiterleitung derselben an eine Auswerteschaltung. Bei diesem Vorgang ist es zweckmäßig, zumindest
30 der Ultraschallwellenleiter während des Messvorganges zu kühlen, um einer Verschlechterung des Übertragungsverhaltens entgegen zu wirken.

35

Die Benetzbarkeit der Stirnfläche 4 des Ultraschallwellenleiters 1 wird dabei dadurch hergestellt, dass diese vor dem Eintauchen in die Schmelze mechanisch und/oder chemisch von

Schmutz und Oxiden befreit wird. Das kann einfach mittels organischer Säuren vorgenommen werden.

5 Im Anschluss an die Reinigung der Stirnfläche 4 des Ultraschallwellenleiters 1 kann diese mit einer glatten Schutzschicht versehen werden, wobei die glatte Schutzschicht in Form einer Folie oder Deckplatte aufgebracht werden kann.

10 Die der Schmelze zugewandte Stirnfläche 4 kann auch durch das zwischenzeitliche Aufbringen einer Schutzschicht zumindest vorübergehend vor erneuter Oxidation geschützt werden.

15 Um eine noch bessere Einkopplung der Ultraschallsignale in die Schmelze zu erreichen, kann auf der Stirnfläche des Ultraschallwellenleiters eine Schutzschicht aus einem Material entsprechend der zu messenden Schmelze aufgebracht werden, was auch eine metallische Schutzschicht sein kann.

20 Um eine optimale Ankopplung der Ultraschallsignale zu erreichen, ist vorgesehen, dass sich die Schutzschicht zu Beginn oder während des Messvorganges in der Schmelze auflöst.

25 Die Schutzschicht kann einfach mittels Ionenimplantation oder mittels elektrochemischer oder physikalischer Verfahren aufgetragen werden.

5

10 **Verfahren zur Messung von Geschwindigkeiten in flüssigen
 Schmelzen**

Bezugszeichenliste

15

- 1 Piezoelektrische Wandler
- 2 Ultraschallwellenleiter
- 3 Schutzmantel
- 4 Deckplatte / Stirnfläche
- 5 Elektrische Schaltung der Steuer- und ggf. inter-
 nen Auswerteteil
- 6 Schutzgehäuse
- 7 Anschlussbuchse
- 8 Zwischenraum / hohlwandige Ausführung des Schutz-
 mantels

5 **Verfahren zur Messung von Geschwindigkeiten in flüssigen
 Schmelzen**

Patentansprüche

10 1. Verfahren zur Messung der Strömungsgeschwindigkeit in flüs-
sigen Schmelzen in einem Temperaturbereich oberhalb von 200 °C
mit einem Ultraschallgenerator sowie zugehörigem Ultraschall-
Wellenleiter nach dem Ultraschall-Doppler-Verfahren, **gekenn-
zeichnet durch**

15

- Herstellen der Benetzbarkeit der Stirnfläche (4) des Ult-
raschallwellenleiters (1) vor dem Messvorgang,

- direktes Einkoppeln von Ultraschall-Messsignalen in die
20 Schmelze unter einem Winkel verschieden von 90°, indem zumin-
dest die Stirnfläche (4) des Ultraschallwellenleiters (1) in
die Schmelze eingetaucht wird, und

- Auskoppeln der in der Schmelze reflektierten Ultraschall-
25 signale über die Stirnfläche (4) des Ultraschallwellenleiters
(1) und Weiterleitung derselben an eine Auswerteschaltung.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass
zumindest der Ultraschallwellenleiter (1) während des Messvor-
30 ganges gekühlt wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die
der Schmelze zugewandte Stirnfläche (4) des Ultraschallwellen-
leiters (1) vor dem Eintauchen in die Schmelze mechanisch
35 und/oder chemisch von Schmutz und Oxiden befreit wird.

4. Verfahren nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Reinigung der Stirnfläche (4) mittels organischer Säuren erfolgt.

5 5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Stirnfläche (4) des Ultraschallwellenleiters (1) mit einer glatten Schutzschicht versehen wird.

10 6. Verfahren nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass die glatte Schutzschicht in Form einer Folie oder Deckplatte aufgebracht wird.

15 7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass die der Schmelze zugewandte Stirnfläche (4) des Ultraschallwandlers (1) durch das zwischenzeitliche Aufbringen einer Schutzschicht vor erneuter Oxidation geschützt wird.

20 8. Verfahren nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass auf der Stirnfläche (4) des Ultraschallwandlers (1) eine Schutzschicht aus einem Material entsprechend der zu messenden Schmelze aufgebracht wird.

25 9. Verfahren nach Anspruch 7 oder 8, **dadurch gekennzeichnet**, dass auf der Stirnfläche (4) eine metallische Schutzschicht aufgebracht wird.

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 5 oder 7 bis 9, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Schutzschicht zu Beginn oder während des Messvorganges in der Schmelze aufgelöst wird.

30 11. Verfahren nach einem der Ansprüche 5 oder 7 bis 9, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Schutzschicht mittels Ionenimplantation oder elektrochemischen oder physikalischen Verfahren aufgetragen wird.

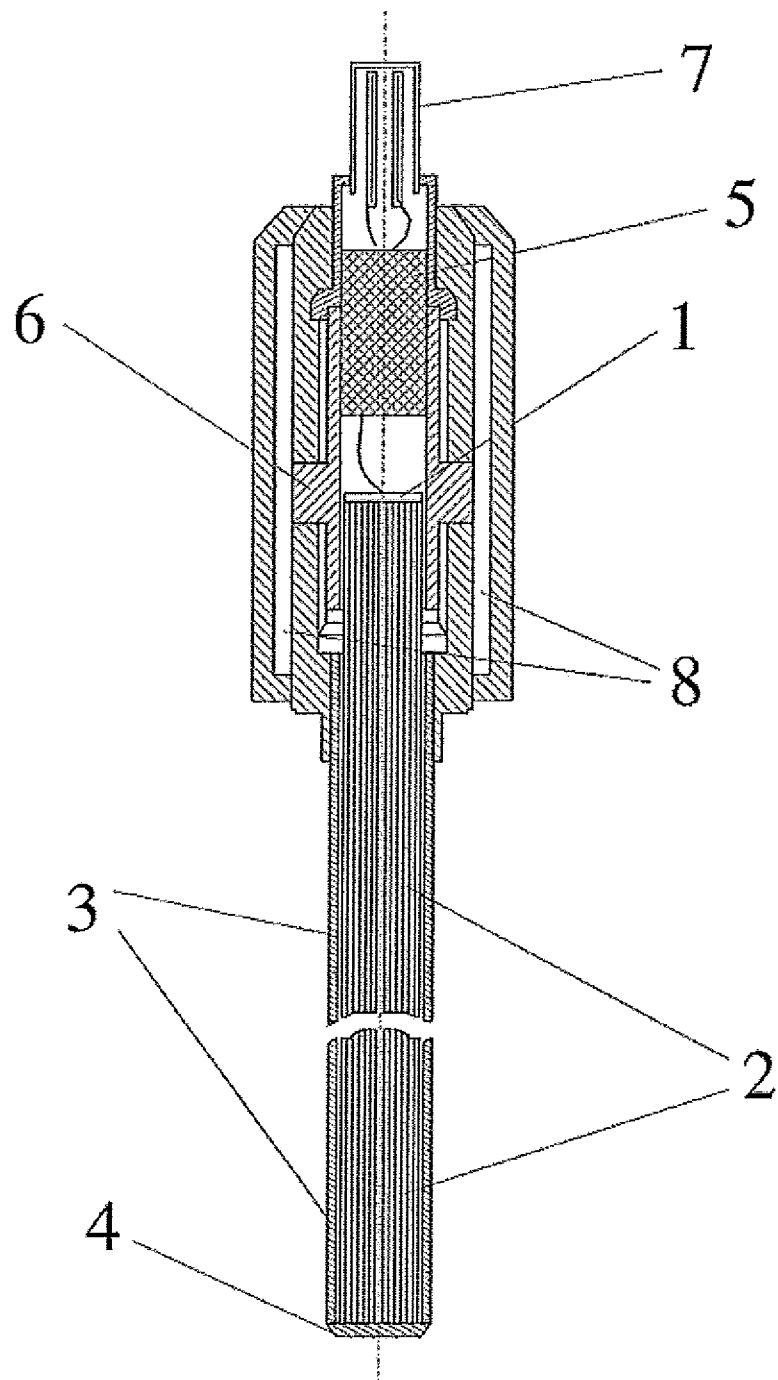


Fig. 1

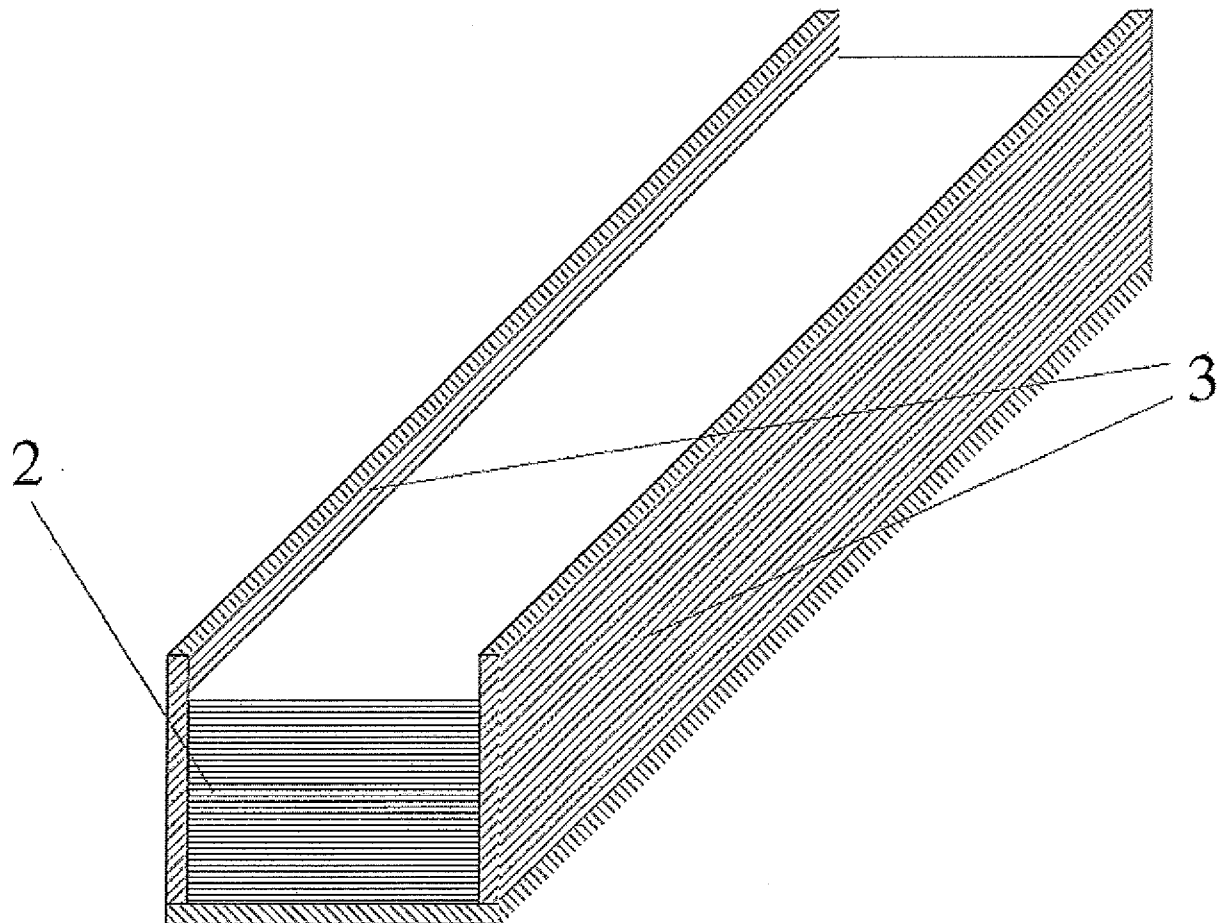


Fig. 2