

(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  
29. April 2004 (29.04.2004)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
**WO 2004/036956 A2**

- (51) Internationale Patentklassifikation<sup>7</sup>: **H05B**
- (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2003/011318
- (22) Internationales Anmeldedatum:  
13. Oktober 2003 (13.10.2003)
- (25) Einreichungssprache: Deutsch
- (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch
- (30) Angaben zur Priorität:  
102 47 618.7 11. Oktober 2002 (11.10.2002) DE
- (71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): **GÜNTHER GMBH & CO., METALLVERARBEITUNG** [DE/DE]; Sachsenberger Strasse 1, 35066 Frankenberg/Eder (DE).
- (72) Erfinder; und
- (75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **GÜNTHER, Herbert** [DE/DE]; Unterauestrasse 14, 35108 Allendorf (DE). **KRETSCHMAR, Christel** [DE/DE]; Karl-Opp-Weg 17, 01809 Borthen (DE). **PARTSCH, Uwe** [DE/DE]; Wittenberger Strasse 67, 01309 Dresden (DE). **OTSCHIK, Peter** [DE/DE]; Zum Marktsteig 17, 01728 Possendorf (DE).
- (74) Anwälte: **OLBRICHT, Karl** usw.; Am Weinberg 15, 35096 Weimar/Lahn (DE).
- (81) Bestimmungsstaaten (national): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.
- (84) Bestimmungsstaaten (regional): ARIPO-Patent (GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches Patent (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches Patent (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI-Patent (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
- Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

(54) Title: COMPOSITE BODY AND METHOD FOR PRODUCTION THEREOF

(54) Bezeichnung: VERBUNDKÖRPER UND VERFAHREN ZU DESSEN HERSTELLUNG

(57) Abstract: A composite body has a base body made from steel and has a heating coating applied thereto. The base body is produced from a precipitation-hardened steel and has a round or arched surface for the heating coating when used as a distribution or material pipe in a heating channel system. Said heating coating is embodied as a layer composite with several layers and/or layer elements which are serially applied as thick layer pastes or films, dried and baked. A pressurised pre-stressing produced thus in the heating coating can be selectively increased by means of precipitation hardening of the base body.

(57) Zusammenfassung: Ein Verbundkörper hat einen Grundkörper aus Stahl und eine darauf aufgebrachte Heizungsbeschichtung. Der Grundkörper ist aus einem ausscheidungshärtenden Stahl gefertigt, Er weist ferner als Verteiler- oder Materialrohr in einem Heisskanalsystem eine runde oder gewölbte Oberfläche zur Aufnahme der Heizungsbeschichtung auf. Letztere bildet einen Schichtverbund mit mehreren Schichten und/oder Schichtelementen, die als Dickschicht-Pasten oder Folien nacheinander aufgebracht, getrocknet und eingebrannt werden. Eine hierbei in der Heizungsbeschichtung erzeugte Druckvorspannung wird durch Ausscheidungshärten des Grundkörpers gezielt verstärkt.

WO 2004/036956 A2

---

## Verbundkörper und Verfahren zu dessen Herstellung

---

### Beschreibung

Die Erfindung betrifft einen Verbundkörper mit einem Grundkörper aus Stahl und einer darauf aufgetragenen Heizungsbeschichtung gemäß dem Oberbegriff von Anspruch 1 sowie ein Verfahren zu dessen Herstellung gemäß dem Oberbegriff von Anspruch 17.

Für verschiedene Anwendungen sind Heizvorrichtungen in Dickschichttechnik entwickelt worden, die als Beschichtung auf der Oberfläche eines Metallsubstrats oder eines Stahlkörpers fest angebracht werden. Die meist aus einer Anordnung von elektrischen Widerstandsbahnen bestehenden Heizelemente sind gegenüber dem Metallsubstrat bzw. dem Stahlkörper durch eine Isolationsschicht aus dielektrischem Material oder einer Glaskeramik elektrisch isoliert. Sämtliche Schichten werden nach dem Auftragen durch Einbrennen zu einem Schichtverbund verfestigt, der zusammen mit dem Stahlkörper einen Verbundkörper bildet. Beispiele hierfür sind in DE-A1-35 36 268 oder DE-A1-35 45 445 beschrieben.

Probleme ergeben sich immer dann, wenn der Stahlkörper eine runde oder gewölbte Oberfläche aufweist und gehärtet werden muß, wie dies beispielsweise bei Heißkanalsystemen in Spritzgießwerkzeugen oft der Fall ist. Letztere besitzen gewöhnlich ein verzweigtes Netz von Verteilerkanälen und Heißkanaldüsen mit aus Stahl gefertigten Materialrohren, die je nach Anwendungsfall extrem hohen Innendrücken ausgesetzt sein können. Damit sich die heiße Masse im Verteilersystem nicht vorzeitig abkühlt, sind die Materialrohre umfangsseitig mit einer Heizvorrichtung versehen.

WO-A1-00 23 245 schlägt hierzu vor, die Heizvorrichtung im sogenannten Fine-Film-Printing-Verfahren aufzubringen, wobei die einzelnen Schichten mittels eines Dispensers aufgetragen werden. Ein solches Verfahren ist relativ aufwendig, weil die Kanüle des Dispensers für das Aufbringen der Isolations- und Deckschichten die gesamte Oberfläche der Keramikhülse bzw. des Materialrohrs exakt abfahren muß, um in sich geschlossene Schichten zu erzeugen. Letztere weisen folglich nicht immer eine einheitliche Dicke bzw. Dichte auf, so daß Rißbildungen kaum zu vermeiden sind.

Ein weiterer Nachteil ergibt sich im Betrieb des Heißkanalsystems, wenn nämlich das Materialrohr bei Betriebstemperatur der durch den Spritzgießprozeß technologisch bedingten pulsierenden Innendruckbelastung ausgesetzt wird. Diese Belastung und die zum Erreichen der Betriebstemperaturen erforderliche Erwärmung der Strömungskanal-Wandung auf Temperaturen zwischen 300 und 450 °C führen zu elastischen Dehnungsvorgängen, die unmittelbar auf die Heizung übertragen werden. Deren Schichten können ganz rasch in den Bereich von Zugspannungen gelangen, was zu Rissen in der Isolierschicht, zu Kurzschlüssen oder gar zum Abplatzen der gesamten Heizung führen kann.

Um dem zu begegnen, hat man die Heizungsbeschichtung auf einem ungehärteten Stahl(hilfs)körper aufgebracht, der anschließend auf das Materialrohr aufgesetzt wird. Eine solche separate Heizung besitzt jedoch keinen unmittelbaren Festkörperkontakt mit dem Materialrohr, was zu einem hohen Wärmeübergangswiderstand und damit zu einem wenig effizienten Wärmeübergang von dem Heizelement auf den rohrförmigen Strömungskanal führt. Dies wiederum beeinflußt die gesamte Temperatureinstellung und den damit verbundenen Regelungsaufwand.

Aus DE-A1-199 41 038 ist es bekannt, das Heizschichtsystem direkt auf das Materialrohr aufzubringen und derart auszubilden, daß es nach dem Einbrennen (Formieren) gegenüber der Materialrohrwandung unter einer definierten Druckvorspannung steht. Diese wird erzeugt, indem in Abhängigkeit von den dehnungsrelevanten Kenngrößen des Heißkanalrohres eine spezifische Fehlanpassung des linearen Ausdehnungskoeffizienten der glaskeramischen Isolationsschicht an den entsprechenden Wert des metallischen Heißkanalrohres vorgegeben wird. Eine solche spannungstolerante Verbindung hält den elastischen Dehnungsvorgängen im Materialrohr in Grenzen durchaus stand. Bei hohen Belastungen können jedoch weiterhin Risse oder sonstige Beschädigungen in der Isolationsschicht auftreten.

Ziel der Erfindung ist es, diese und weitere Nachteile des Standes der Technik zu überwinden und einen Stahlkörper mit einer Heizungsbeschichtung zu versehen, die selbst Extrembelastungen dauerhaft standhält. Angestrebt wird insbesondere ein ebenso kostengünstiges wie leicht zu realisierendes Verfahren zum rißfreien Aufbringen der einzelnen, Temperaturwechseln ausgesetzter Schichten auf einem rohrförmigen oder gewölbten Stahlkörper. Insbesondere soll auf einem Materialrohr einer Heißkanaldüse eine Heizungsbeschichtung dauerhaft funktionstüchtig sein.

Hauptmerkmale der Erfindung sind im kennzeichnenden Teil der Ansprüche 1 und 17 angegeben. Ausgestaltungen sind Gegenstand der Ansprüche 2 bis 15 und 18 bis 28. Eine bevorzugte Verwendung ist in Anspruch 16 angegeben.

Als Lösung sieht die Erfindung laut Anspruch 1 vor, daß bei einem Verbundkörper mit einem Grundkörper aus Stahl und einer darauf aufgetragenen Heizungsbeschichtung der Grundkörper aus einem ausscheidungshärtenden Stahl gefertigt ist.

Ausscheidungshärtende Stähle haben die Eigenschaft, daß sich beim Abkühlen intermetallische Ausscheidungen bilden, die neben der rein temperaturbedingten Volumenreduktion zu einer weitergehenden Reduzierung des Stahlkörpervolumens führen. Ein ausscheidungshärtender Stahl schrumpft daher beim Auslagerungsprozeß, so daß die Druckvorspannung einer zuvor auf der Oberfläche eines Grundkörpers aufgetragenen Heizungsbeschichtung nach dem Härten verstärkt wird. Die Beschichtung ist stets dauerhaft fest mit der Stahlkörperoberfläche verbunden, selbst wenn der Verbundkörper extrem hohen Temperatur- oder Druckbelastungen ausgesetzt wird.

Durch die Verwendung von hochlegierten Stählen gemäß Anspruch 2 läßt sich die Größe und Verteilung der Druckvorspannung innerhalb der Isolationsschicht besonders präzise einstellen, was vor allem dann wichtig ist, wenn der Stahlkörper nach Anspruch 3 eine runde oder gewölbte Oberfläche zur Aufnahme der Isolationsschicht aufweist, oder wenn der Stahlkörper in der Ausbildung von Anspruch 4 eine rohrförmige Gestalt hat und die Heizungsbeschichtung auf der Außenwandung aufzubringen ist.

Besondere Vorteile ergeben sich überdies, wenn der Grundkörper gemäß Anspruch 5 ein Verteiler- oder Materialrohr eines Heißkanalsystems ist. Gerade im Bereich der Heißkanaltechnik ist es wichtig, daß die einem Formnest zuzuführende Spritzgußmasse bis in den Düsen- bzw. Anschnittbereich hinein präzise und gleichmäßig temperiert ist. Risse in der Heizungsbeschichtung würden sofort zum Ausfall der Düse und zu

Unterbrechungen im Fertigungsprozeß führen, was jedoch durch die erfindungsgemäße Ausbildung des Verbundkörpers wirksam vermieden wird.

Bevorzugt ist die Heizungsbeschichtung laut Anspruch 6 ein aus mehreren Schichten und/oder Schichtelementen aufgebauter Schichtverbund, der gemäß Anspruch 7 eine auf dem Grundkörper aufgebraute Isolationsschicht aufweist. Letztere ist im Einklang mit Anspruch 8 eine keramische bzw. glaskeramische Isolationsschicht, die je nach Auftragsmethode und gewünschter Schichtdicke aus einer oder – wie Anspruch 9 vorsieht – aus zwei oder mehr Einzelschichten bestehen kann. Auf der Isolationsschicht ist gemäß Anspruch 10 eine Anordnung von Widerstandselementen aufgebracht. Letztere bilden eine Heizung, die zum Schutz der Widerstandsbahnen zumindest abschnittsweise von einer isolierenden Deckschicht abgedeckt ist (Anspruch 11).

Fertigungstechnisch ist es günstig, wenn die Isolationsschicht, die Widerstandselemente und/oder die Deckschicht laut Anspruch 12 eingebrannte Dispersionen, beispielsweise Dickschicht-Pasten sind. Diese lassen sich gleichmäßig und präzise aufbringen, was für die spätere Haftfestigkeit und Funktionsfähigkeit der Heizung wichtig ist. Alternativ können die einzelnen Schichten bzw. Teilschichten der Heizungsbeschichtung gemäß Anspruch 13 auch als eingebrannte Folien ausgebildet sein.

Um sowohl die Temperaturverteilung als auch deren Entwicklung innerhalb der Heizung bzw. innerhalb des Grundkörpers ermitteln zu können, sieht die Ausbildung von Anspruch 14 vor, daß in der Ebene der Heizungsbeschichtung wenigstens ein Temperaturfühler angeordnet ist. Dieser ist mithin im Schichtverbund untergebracht, was zu keiner merklichen Volumenzunahme führt. Gleichzeitig lassen sich Temperaturveränderungen äußerst zeitnah und präzise erfassen.

Laut Anspruch 15 sind in der Heizungsbeschichtung Anschlußkontakte für die Widerstandselemente und/oder die Temperaturfühler integriert. Die gesamte Heizung kann dadurch unmittelbar in einen Regelungsschaltkreis integriert werden.

Weitere wichtige Vorteile ergeben sich bei der Verwendung eines erfindungsgemäßen Verbundkörpers gemäß Anspruch 16, wenn nämlich dieser als außenbeheiztes Materialrohr in einem Heißkanalverteiler und/oder einer Heißkanaldüse eingesetzt wird. Das stoffschlüssige Aufbringen der Heizung in Schichten sorgt für eine dauerhaft feste Verbindung mit der Wandung des Grundkörpers und damit für einen festen Halt auf dem Heißkanalverteiler oder der Heißkanaldüse. Darüber hinaus vermeidet die Erfin-

derung äußerst wirkungsvoll ein Abplatzen oder Lösen der Heizung, indem nämlich die Druckvorspannung in der Heizungsbeschichtung durch Ausscheidungshärten des Grundkörpers gezielt erhöht wird.

Aufgrund der durch die Direktbeschichtung erzielten geringen Dickenabmessungen nimmt die Heizungsbeschichtung insgesamt nur wenig Raum ein, so daß sich im Vergleich zu herkömmlichen Heizvorrichtungen bei nahezu gleichen Leistungsmerkmalen äußerst kompakte Bauformen realisieren lassen. Zudem kann die Leistungsdichte deutlich erhöht werden, weil die Wärme direkt auf der Oberfläche des zu beheizenden Heißkanalelements erzeugt und abgenommen wird. Eine Überhitzung der meist empfindlichen Heizelemente wird zuverlässig vermieden.

Bei einem Verfahren zum Herstellen eines Verbundkörpers mit einem Grundkörper aus Stahl und einer darauf aufgetragenen Heizungsbeschichtung, für das selbständiger Schutz beansprucht wird, sieht die Erfindung laut Anspruch 17 vor, eine zuvor in der Heizungsbeschichtung erzeugte Druckvorspannung durch Ausscheidungshärten des Grundkörpers verstärkt wird.

Diese ebenso einfach wie kostengünstig zu realisierende Verfahrensweise führt zu einer dauerhaft festen Verbindung zwischen dem Grundkörper und der Heizungsbeschichtung, denn letztere wird durch die beim Abkühlen im Härtingsprozeß entstehende Kontraktionsbewegung des Grundkörpers in definierbaren Grenzen nochmals kontrahiert, wodurch eine besonders wirksame spannungstolerante Verbindung entsteht. Sämtliche Schichten bzw. Teilschichten der Heizung besitzen eine außerordentlich gute Haftfestigkeit. Insbesondere die Isolationsschicht hält selbst extremen mechanischen und thermischen Belastungen dauerhaft stand, so daß stets optimale Produktionsergebnisse gewährleistet sind.

Gemäß Anspruch 18 wird jede Schicht bzw. jedes Schichtelement der Heizungsbeschichtung auf dem Grundkörper aufgebracht, getrocknet und eingebrannt bzw. formiert, wobei der Verbundkörper nach jedem Einbrennprozeß auf Raumtemperatur abgekühlt wird. Auf diese Weise lassen sich sämtliche Verfahrensparameter individuell an die jeweilige Heizungsschicht anpassen, die – je nach Leistungsanforderung – stets optimal aufgebracht werden kann.

Die Erfindung sieht ferner in Anspruch 19 vor, daß die Stahllegierung des Grundkörpers während dem Einbrennprozeß homogenisiert bzw. lösungsgeglüht wird, was

sich besonders günstig auf die Verfahrensökonomie auswirkt. Dazu trägt auch Anspruch 20 bei, wenn nämlich die Einbrenntemperatur gleich der Temperatur für das Homogenisieren bzw. Lösungsglühen des Grundkörpers ist. Während die einzelnen Schichten bzw. Schichtelemente der Heizungsbeschichtung formiert werden, entstehen durch das Lösungsglühen stabile homogene Mischkristalle ( $\alpha$ -Kristalle). Separat zu kontrollierende Fertigungsschritte sind nicht mehr notwendig.

Von besonderem Vorteil ist die Ausgestaltung von Anspruch 21, wonach die einzelnen Schichten mittels Siebdruck, mittels Dispensen, durch Tauchen oder durch Sprühen aufgetragen werden können. Mithin kann man für jede Schicht das jeweils optimale Verfahren auswählen. Sämtliche Schichtparameter wie Schichtdicke, Dichte, Form u.dgl. lassen sich gleichmäßig und präzise einstellen, so daß eine stets funktionsfähige Heizungsbeschichtung entsteht.

In der Ausbildung von Anspruch 22 wird jede Schicht bzw. jedes Schichtelement unter Luftatmosphäre eingebrannt bzw. formiert, wobei die Einbrenntemperatur laut Anspruch 23 zwischen 750 °C und 900 °C liegt.

Anspruch 24 sieht vor, daß die Oberfläche des Grundkörpers vor dem Aufbringen der Heizungsbeschichtung aufgeraut wird, beispielsweise mittels Sandstrahlen. Hierdurch wird die mechanische Haftung der Isolationsschicht verbessert. Die chemische Haftung läßt sich optimieren, indem der Grundkörper laut Anspruch 25 vor dem Aufbringen der Beschichtung gereinigt und oxidiert wird.

Nach dem Aufbringen der Heizungsbeschichtung wird die Stahllegierung des Grundkörpers in Einklang mit Anspruch 26 durch erneutes Glühen ausgelagert bzw. gealtert. Hierdurch bilden sich feine intermetallische Ausscheidungen, die zu einer gezielten Reduzierung des Grundkörpervolumens führen. Mithin entsteht innerhalb der auf dem Grundkörper aufgetragenen Heizungsbeschichtung eine Druckspannung, die in der Lage ist, mechanische Belastungen des Grundkörpers dauerhaft auszugleichen, beispielsweise die Innendruckbelastungen eines Materialrohrs einer Heißkanaldüse.

Wichtig hierbei ist, daß die Auslagerungstemperatur laut Anspruch 27 kleiner ist als die Einbrenntemperatur für die einzelnen Schichten der Heizungsbeschichtung. Hierdurch wird weder die Formierung der einzelnen Schichten bzw. Schichtelemente der Heizungsbeschichtung noch deren Zusammenhalt gestört. Ferner wird die Druckvorspannung in der Heizungsbeschichtung optimal erhöht, ohne daß deren Leistungs-

parameter oder Funktionsfähigkeit beeinträchtigt wird. Der gesamte Prozeß läßt sich mit einfachen Mitteln präzise steuern, wodurch die Verfahrenskosten gering bleiben.

Zweckmäßig wird der Auslagerungsprozeß laut Anspruch 28 unter Luft- oder Stickstoffatmosphäre durchgeführt.

Weitere Merkmale, Einzelheiten und Vorteile der Erfindung ergeben sich aus dem Wortlaut der Ansprüche sowie aus der folgenden Beschreibung von Ausführungsbeispielen.

In einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung verwendet man als Ausgangsmaterial für die Herstellung des Grundkörpers einen mit Ni, Co Mo, Ti und/oder Al hochlegierten, ausscheidungshärtenden Stahl, beispielsweise X 3 Cr Ni Al Mo 12 9 2 1. Der Grundkörper bildet beispielsweise ein Materialrohr mit einer runden Oberfläche für eine außenbeheizte Heißkanaldüse, die in einem Spritzgießwerkzeug Verwendung findet.

Auf dem Grundkörper wird eine Heizungsbeschichtung aufgebracht. Diese besteht aus einer unmittelbar auf dem Grundkörper liegenden glaskeramischen Isolierschicht, einer darauf aufgetragenen Anordnung von Widerstandsbahnen als Heizelement und einer darüber liegenden Deckschicht, um die Heizung gegen Einflüsse von außen zu schützen. Heizungsbeschichtung und Grundkörper sind unlösbar miteinander verbunden und bilden mithin einen Verbundkörper.

Das Ausscheidungshärten des Materialrohrs erfolgt gewöhnlich in 2 Schritten, nämlich dem Lösungsglühen der Legierung und dem anschließenden Auslagern bzw. Altern.

Zuvor werden jedoch die einzelnen Schichten bzw. Schichtelemente der Heizungsbeschichtung in Form von Dickschichtpasten aufgetragen und eingebrannt bzw. formiert, wobei gleichzeitig mit dem Einbrennen der Dickschichtpasten das Lösungsglühen der Metallegierung durchgeführt wird.

Zu Beginn des Verfahrens wird der noch ungehärtete Stahlkörper nach Abschluß der mechanischen Bearbeitung zunächst sandgestrahlt, um die mechanischen Haftungseigenschaften für die Heizungsbeschichtung zu verbessern, wobei eine bestimmte Oberflächenrauheit einzuhalten ist. Anschließend wird das Materialrohr mit Ethanol und warmer Salpetersäure (HNO<sub>3</sub>) gereinigt und bei etwa 850 °C oxidiert. Hierdurch

entsteht ein dünner Oxidfilm auf der Oberfläche des Grundkörpers, der die Haftung der Isolationsschicht verbessert.

Nach Abschluß der Vorbehandlung wird die Heizungsbeschichtung hergestellt.

Das Ausgangsmaterial für die Isolationsschicht ist bevorzugt eine Dispersion, insbesondere eine elektrisch isolierende Dickschichtpaste, die mit gleichmäßiger Dicke im Siebdruckverfahren auf die Grundkörperoberfläche aufgedruckt wird. Bevorzugt werden nacheinander vier Einzelschichten aufgetragen, wobei jede Schicht separat getrocknet wird. Ist die gewünschte Schichtdicke erreicht, wird das Materialrohr mit der Isolationsschicht in einem geeigneten Brennofen unter Luftatmosphäre bei etwa 850 °C formiert, so daß ein in sich homogenes Glaskeramikgefüge entsteht.

Die Einbrenntemperatur entspricht hierbei der Temperatur, die für das Homogenisieren bzw. Lösungsglühen des Grundkörpers erforderlich ist. Beide Prozesse – Einbrennen und Lösungsglühen – finden mithin zeitgleich statt.

Ferner wird durch eine spezifische Fehlanpassung des linearen thermischen Ausdehnungskoeffizienten der Isolationsschicht an den linearen thermischen Ausdehnungskoeffizienten des Materialrohrs beim Einbrennen der Isolationsschicht innerhalb dieser eine mechanische Druckvorspannung erzeugt. Die hierdurch entstehende spannungstolerante Verbindung im Verbundkörper setzt die Isolationsschicht als Trägerschicht der Heizung bereits in die Lage, den durch den Spritzgießprozeß technologisch bedingten pulsierenden Innendruckbelastungen im Materialrohr in gewissen Grenzen standzuhalten, ohne daß Risse oder Beschädigungen an der Heizung auftreten.

Hat sich der Grundkörper mit der eingebrannten Isolationsschicht auf Raumtemperatur abgekühlt, werden zunächst die Anschlußkontakte für die stromleitenden Widerstandselemente und gegebenenfalls für einen Temperaturfühler aufgetragen und getrocknet. Ausgehend von den Anschlußkontakten werden die meist mäander- oder spiralförmigen Widerstandsbahnen für die Heizung sowie für den Temperaturfühler aufgetragen, wobei man hierzu – ebenso wie für die Anschlußkontakte – elektrisch leitfähige Pasten verwendet, die entweder im Siebdruckverfahren oder mit einem Dispenser auf der Isolierschicht aufgetragen werden. Die Trocknung erfolgt jeweils nach dem Auftrag der Einzelschichten. Alle leitfähigen Schichtelemente werden anschließend gemeinsam gebrannt und auf Raumtemperatur abgekühlt. Auch hierbei

wird der Grundkörper erneut lösungsgeglüht, was jedoch noch keine endgültige Auswirkung auf dessen Gefüge hat.

Die Deckschicht ist ebenfalls eine elektrisch isolierende Glaskeramik, die im Siebdruckverfahren auf den Widerstandselementen, den Anschlußkontakten und der in Teilbereichen noch freiliegenden Isolationsschicht aufgedruckt, getrocknet und sodann bei etwa 750 bis 900 °C formiert wird.

Nach dem letzten Einbrennprozeß wird der Grundkörper mitsamt der bereits aufgetragenen Heizungsbeschichtung unter Stickstoffatmosphäre erneut auf etwa 525 °C erwärmt und für eine definierte Zeit bei dieser Temperatur gehalten. Nach Ablauf der Haltezeit wird der Verbundkörper abgekühlt, vorzugsweise mit einer Abkühlrate von 10 K/min.

Der ausscheidungshärtende Stahl schrumpft während der Härtung bei 525 °C um etwa 0,07% allseitig und beim Abkühlen nochmals um etwa 11 ppm/K, wodurch die zuvor aufgetragenen und formierten Schichten der Heizung weiter unter Druckspannung gesetzt werden. Die Ausscheidungshärtung führt mithin zu einer zusätzlichen Druckvorspannung, so daß die gesamte Heizungsbeschichtung selbst extremen Temperatur- und Innendruckbelastungen im Materialrohr dauerhaft standhalten kann. Die Heißkanaldüse wird durch die stoffschlüssig aufgetragene Heizung in jedem Verfahrensstadium stets optimal temperiert.

Die nach dem Härtungsprozeß erreichte Härte des Grundkörpers beträgt etwa HRC 52.

Der Temperaturfühler liegt bevorzugt in der gleichen Ebene wie die Widerstandsbahnen der Heizung. Er ist mithin ebenso wie die Anschlußkontakte in der Heizungsbeschichtung integriert. Letztere bildet einen aus mehreren Schichten bzw. Schichtelementen aufgebauten Schichtverbund, der in unlösbarer Verbindung mit dem Grundkörper einen beheizbaren Verbundkörper bildet.

Aufgrund des hohen TKR kann auch der Heizwiderstand selbst als Temperatursensor dienen. Hierzu werden Spannungsabgriffe aus gewünschten Regionen der mäander- oder spiralförmig verlaufenden Widerstandsbahnen nach außen geführt. Bei bekanntem Strom kann über die ermittelte Teilspannung die Temperatur in dem betreffenden Bereich ermittelt werden.

Die Erfindung ist nicht auf eine der vorbeschriebenen Ausführungsformen beschränkt, sondern in vielfältiger Weise abwandelbar. So können einzelne oder alle Schichten bzw. Schichtelemente der Heizungsbeschichtung auch durch Sprühen oder Tauchen aufgetragen werden. Alternativ lassen sich aber auch Folien verwenden, die in gleicher Weise wie die Dickschichtpasten eingebrannt werden.

Die Stahllegierung des Grundkörpers kann auch ein Nickel-Kobalt-Warmarbeitsstahl sein. Wichtig ist, daß der Stahl im Hinblick auf das Einbrennen bzw. Sintern der Heizungsbeschichtung für eine Spitztemperatur von bis zu 850 bis 900 °C geeignet ist. Er muß ferner unter Einsatzbedingungen Temperaturen von bis zu 450 °C sowie Innendruckbelastungen von bis zu 2000 bar aushalten.

Man erkennt, daß als Ausgangsmaterial für den Stahlkörper ausscheidungshärtende Stähle verwendet werden. Bei diesen finden - anders als bei der üblichen Härtung über Kohlenstoffmartensit - intermetallische Ausscheidungen statt, die sich über die Legierungswahl exakt steuern lassen. Die beim Aushärten eintretende Kontraktion vergrößert die Druckspannung in der Isolationsschicht bzw. in der gesamten Heizungsbeschichtung, was die Haltbarkeit und die Funktionssicherheit der Heizung wesentlich verbessert.

Normalhärtende Stähle können all dies nicht leisten, es sei denn man kühlt den Stahlkörper mit kritischer Abkühlgeschwindigkeit ab. Die erforderliche hohe Temperatur und die hohe Abkühlrate zerstören aber die Heizbeschichtung, was die Erfindung auf einfache und kostengünstige Weise vermeidet.

Sämtliche aus den Ansprüchen und der Beschreibung hervorgehenden Merkmale und Vorteile, einschließlich konstruktiver Einzelheiten, räumlicher Anordnungen und Verfahrensschritte, können sowohl für sich als auch in den verschiedensten Kombinationen erfindungswesentlich sein.

### Schutzansprüche

1. Verbundkörper mit einem Grundkörper aus Stahl und einer darauf aufgebrachtten Heizungsbeschichtung, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Grundkörper aus einem ausscheidungshärtenden Stahl gefertigt ist.
2. Verbundkörper nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Stahl ein hochlegierter Stahl ist.
3. Verbundkörper nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Grundkörper eine runde oder gewölbte Oberfläche zur Aufnahme der Heizungsbeschichtung hat.
4. Verbundkörper nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Grundkörper rohrförmig gestaltet ist.
5. Verbundkörper nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Grundkörper ein Verteiler- oder Materialrohr eines Heißkanalsystems ist.
6. Verbundkörper nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Heizungsbeschichtung ein aus mehreren Schichten und/oder Schichtelementen aufgebauter Schichtverbund ist.
7. Verbundkörper nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Heizungsbeschichtung eine auf dem Grundkörper aufgebraachte Isolationsschicht aufweist.
8. Verbundkörper nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Isolationsschicht eine Keramik oder eine Glaskeramik ist.
9. Verbundkörper nach Anspruch 7 oder 8, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Isolationsschicht aus wenigstens zwei Einzelschichten besteht.

10. Verbundkörper nach einem der Ansprüche 7 bis 9, **dadurch gekennzeichnet**, daß auf der Isolationsschicht eine Anordnung von Widerstandselementen aufgebracht ist.
11. Verbundkörper nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Widerstandselemente zumindest abschnittsweise von einer isolierenden Deckschicht abgedeckt sind.
12. Verbundkörper nach einem der Ansprüche 7 bis 11, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Isolationsschicht, die Widerstandselemente und/oder die Deckschicht eingebrannte Dispersionen, beispielsweise Dickschicht-Pasten sind.
13. Verbundkörper nach einem der Ansprüche 7 bis 11, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Isolationsschicht, die Widerstandselemente und/oder die Deckschicht eingebrannte Folien sind.
14. Verbundkörper nach einem der Ansprüche 6 bis 13, **dadurch gekennzeichnet**, daß in der Ebene der Heizungsbeschichtung wenigstens ein Temperaturfühler integriert ist.
15. Verbundkörper nach einem der Ansprüche 6 bis 14, **dadurch gekennzeichnet**, daß in der Heizungsbeschichtung Anschlußkontakte für die Widerstandselemente und/oder die Temperaturfühler integriert sind.
16. Verwendung eines Verbundkörpers nach einem der Ansprüche 1 bis 15 als außenbeheiztes Materialrohr in einem Heißkanalverteiler und/oder einer Heißkanaldüse.
17. Verfahren zum Herstellen eines Verbundkörpers mit einem Grundkörper aus Stahl und einer darauf aufgetragenen Heizungsbeschichtung, insbesondere nach einem der Ansprüche 1 bis 15, **dadurch gekennzeichnet**, daß eine zuvor in der Heizungsbeschichtung erzeugte Druckvorspannung durch Ausscheidungshärten des Grundkörpers verstärkt wird.

18. Verfahren nach Anspruch 17, **dadurch gekennzeichnet**, daß jede Schicht bzw. jedes Schichtelement der Heizungsbeschichtung auf dem Grundkörper aufgebracht, getrocknet und eingebrannt bzw. formiert wird und daß der Verbundkörper nach jedem Einbrennprozeß auf Raumtemperatur abgekühlt wird.
19. Verfahren nach Anspruch 17 oder 18, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Stahllegierung des Grundkörpers während dem Einbrennprozeß homogenisiert bzw. lösungsgeglüht wird.
20. Verfahren nach einem der Ansprüche 17 bis 19, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Einbrenntemperatur gleich der Temperatur für das Homogenisieren bzw. Lösungsglühen des Grundkörpers ist.
21. Verfahren nach einem der Ansprüche 17 bis 20, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Schichten bzw. Schichtelemente der Heizungsbeschichtung mittels Siebdruck, mittels Dispensen, durch Tauchen oder durch Sprühen aufgetragen werden.
22. Verfahren nach einem der Ansprüche 17 bis 21, **dadurch gekennzeichnet**, daß jede Schicht bzw. jedes Schichtelement unter Luftatmosphäre eingebrannt bzw. formiert wird.
23. Verfahren nach Anspruch 22, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Einbrenntemperatur zwischen 750 °C und 900 °C liegt.
24. Verfahren nach einem der Ansprüche 17 bis 23, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Oberfläche des Grundkörpers vor dem Aufbringen der Heizungsbeschichtung aufgeraut wird, beispielsweise mittels Sandstrahlen.
25. Verfahren nach einem der Ansprüche 17 bis 24, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Grundkörper vor dem Aufbringen der Heizungsbeschichtung gereinigt und/oder oxidiert wird.
26. Verfahren nach einem der Ansprüche 17 bis 25, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Stahllegierung des Grundkörpers nach dem Aufbringen der Heizungsbeschichtung durch Glühen ausgelagert bzw. gealtert wird.

27. Verfahren nach Anspruch 26, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Auslagerungstemperatur kleiner ist als die Einbrenntemperatur für die einzelnen Schichten der Heizungsbeschichtung.
28. Verfahren nach einem der Ansprüche 17 bis 27, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Auslagerung unter Luft- oder Stickstoffatmosphäre durchgeführt wird.