



(19)  
Bundesrepublik Deutschland  
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 603 13 455 T2** 2008.01.03

(12) **Übersetzung der europäischen Patentschrift**

(97) **EP 1 511 930 B1**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **603 13 455.6**

(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/SE03/00877**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **03 733 700.3**

(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: **WO 2003/100243**

(86) PCT-Anmeldetag: **28.05.2003**

(87) Veröffentlichungstag  
der PCT-Anmeldung: **04.12.2003**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **09.03.2005**

(97) Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung beim EPA: **25.04.2007**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **03.01.2008**

(51) Int Cl.<sup>8</sup>: **F02K 9/64** (2006.01)  
**F02K 9/97** (2006.01)

(30) Unionspriorität:

<b>0201595</b>	<b>28.05.2002</b>	<b>SE</b>
<b>319270 P</b>	<b>28.05.2002</b>	<b>US</b>

(73) Patentinhaber:

**Volvo Aero Corp., Trollhättan, SE**

(74) Vertreter:

**v. Fünér Ebbinghaus Finck Hano, 81541 München**

(84) Benannte Vertragsstaaten:

**AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB,  
GR, HU, IE, IT, LI, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK,  
TR**

(72) Erfinder:

**HÄGGANDER, Jan, S-461 32 Trollhättan, SE**

(54) Bezeichnung: **WANDKONSTRUKTION**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99 (1) Europäisches Patentübereinkommen).

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patent- und Markenamt inhaltlich nicht geprüft.

**Beschreibung**

## TECHNISCHES GEBIET

**[0001]** Die Erfindung bezieht sich insgesamt auf einen Wandaufbau, der einer thermischen Belastung ausgesetzt werden soll. Insbesondere bezieht sich die Erfindung auf einen Wandaufbau zum Einsatz in einem Bauteil eines Raketentriebwerks.

## STAND DER TECHNIK

**[0002]** Ein Raketentriebwerk entwickelt eine beträchtliche Wärmebelastung, und die Wände der Brennkammer und der für die Expansion des Gases verwendeten Düse sind sehr hohen Temperaturen ausgesetzt. Um zu vermeiden, dass die Wände schmelzen oder auf andere Weise zerstört werden, wird eine effiziente Kühlung benötigt. Bei Raketentriebwerken mit flüssigem Treibmittel, d.h. Raketentriebwerken, die flüssigen Brennstoff verwenden, wird das Kühlen üblicherweise dadurch erreicht, dass kalter Brennstoff, beispielsweise Wasserstoff oder Kerosin, in Kanäle innerhalb der Wände geführt und auf diese Weise der Brennstoff als Kühlmedium verwendet wird.

**[0003]** Die Erhitzung des Baumaterials der Wand führt zu einer Wärmeausdehnung des Materials. Bei einer starken Wärmebelastung auf der heißen Seite der Wand und bei gleichzeitiger Kühlung von innerhalb der Wand entwickelt sich in der Wand ein beträchtlicher Temperaturgradient. Dieser führt zu einem Wärmeausdehnungsgradienten, der eine beträchtliche Wärmespannung in der Wand erzeugt und die Lebensdauer der Raketenelemente, wie der Brennkammer, d.h. der Verbrennungsraum und der Düse, begrenzt. Die die stärkste Begrenzung ergebende Stelle ist der innere Teil der Wand in dem Verbrennungsraum, d.h. die heiße Seite der Wand, die sich zwischen den Kühlkanälen und der Wandfläche befindet, die dem Verbrennungsraum zugewandt ist.

**[0004]** Sowohl wiederverwendbare als auch nicht wiederverwendbare Raketentriebwerke müssen eine thermische Belastung aushalten. Wiederverwendbare Raketentriebwerke müssen auch aushalten, dass sie wiederholt einer thermischen Belastung ausgesetzt werden, wenn sie eine Vielzahl von Starts durchlaufen, d.h. solche Triebwerke müssen eine lange Kurzzeit-Dauerfestigkeit haben. Je höher der Widerstand gegen Niedriglastwechsel-Ermüdungsbelastungen ist, desto öfter kann es verwendet werden.

**[0005]** Die Gesamtbeanspruchung des Innenteils der Wand hängt von dem Wärmegradienten durch diesen Teil der Wand sowie auch von dem Wärmegradienten durch die gesamte Wand von der heißen Seite zur kalten Seite ab. Durch Absenken der Bean-

spruchung kann die Betriebszeit verlängert werden. Eine geringe Beanspruchung im inneren Teil der Wand wird auch zu einer niedrigeren Beanspruchung im äußeren Teil der Wand, da die Kräfte in den Wänden jeweils die Kraft und Reaktionskraft sind.

**[0006]** Der Treibstoff ist gewöhnlich Wasserstoff. Eine Komplikation, die sich einstellt, wenn Wasserstoff als Kühlmedium verwendet wird, besteht darin, dass metallische Materialien häufig gegen einen Wasserstoffkontakt empfindlich sind, der gewöhnlich zu einer reduzierten Materialfestigkeit führt. Dies beschränkt die Optionen hinsichtlich der Materialauswahl.

**[0007]** Materialien mit hoher Wärmeleitfähigkeit verringern den Wärmegradienten und dadurch die thermische Beanspruchung in dem Wandaufbau. Kupfer und Aluminium sind Materialien mit hohem Wärmeleitvermögen, jedoch ist die Verwendung dieser Materialien begrenzt, da die höchste zulässige Betriebstemperatur in Phasen des Flugzyklus überschritten werden können, wenn kein Kühlmittel zur Verfügung steht, wie beispielsweise in der Wiedereintrittsphase. Materialien mit geringer Wärmeausdehnung verringern auch die thermische Beanspruchung in dem Wandaufbau. Es ist jedoch schwierig, Materialien mit niedriger Wärmeausdehnung zu finden, die auch formänderungsfähig sind, dem Ausgesetztwerden von Wasserstoff Widerstand entgegenzusetzen und für die Verarbeitung geeignet sind.

**[0008]** Im Stand der Technik wird eine Anzahl von unterschiedlichen Wandaufbauten vorgeschlagen. Bei einem Aufbau wird das Kühlmedium durch Rohre mit Kreisquerschnitt geführt, die parallel zueinander zusammengeschweißt sind. Ein solcher Aufbau ist in eine Richtung senkrecht zur Längsachse der Rohre flexibel, weil die Wärmeausdehnung durch Ausbiegen der Rohre derart, dass sie eine ovale Querschnittsform annehmen, absorbiert werden kann. Der Aufbau ist jedoch in der Axialrichtung der Rohre starr. Ein weiterer Nachteil besteht darin, dass die wellige Topologie des Aufbaus zu sehr hohen Temperaturen an heißen Stellen an den Wellenbergen der Rohre auf der heißen Seite der Wand führt.

**[0009]** Bei einem anderen Aufbau werden Rohre mit Rechtecksquerschnitt auf der kalten Seite, der Außenseite der Wand, zusammengeschweißt. Dieser Aufbau hat keine Teile, die aus der heißen Seite der Wand vorstehen. Außerdem ermöglicht der Aufbau die Ausbildung eines Abstands zwischen den Rohren auf der inneren Seite der Wand während einer Kühlperiode, da die Rohre nur an der Außenseite der Wand verbunden sind. Dies verringert die thermische Beanspruchung während des Kühlens. Da die Abstände jedoch zwischen den Rohren gebildet werden, ist die innere Wand nicht glatt, was zu einer erhöhten Reibung und somit zu einer verringerten mitt-

leren Flammgeschwindigkeit führt.

**[0010]** Ein anderes Beispiel ist ein so genannter Sandwich-Aufbau, bei welchem eine Primärplatte beispielsweise durch Fräsen mit Kühlkanälen versehen ist, während eine Sekundärplatte mit der Primärplatte als Deckel auf den Kühlkanälen verschweißt ist. Bei einem solchen Aufbau ist die innere Wand in einer Tangentialrichtung durchgehend, so dass der Aufbau eine sehr geringe Flexibilität zur Reduzierung der Beanspruchung aufweist, die aus der Wärmeausdehnung entsteht.

**[0011]** Aus dem Stand der Technik ist auch bekannt, die innere Wand mit einer thermischen Sperrbeschichtung unter Verwendung eines Materials mit niedriger Wärmeleitfähigkeit, beispielsweise eines keramischen Materials, zu verwenden, um den lasttragenden metallischen Aufbau zu isolieren. Die geringe Wärmeleitfähigkeit dieses Materials hat zur Wirkung, dass die Temperatur in der Beschichtung für eine konstante thermische Belastung zunimmt. Aufgrund der Wärmeausdehnung wird die Beschichtung stark druckbelastet, was zusammen mit der hohen thermischen Belastung zu einem Abblättern der Beschichtung führt. Ein allgemeiner Nachteil solcher thermischer Sperrbeschichtungen, beispielsweise bei Anwendungen in Raketentriebwerken, besteht darin, dass die beschichtete Komponente zusätzliches Gewicht aufweist.

**[0012]** Die US 3 897 316 offenbart eine Verbundwand für eine regenerativ gekühlte Brennkammer eines Flüssigtreibstoff-Raketentriebwerks. Die Verbundwand hat eine äußere Wandkomponente, die als bauliche Hülle der Brennkammer wirkt, eine mittlere Wandkomponente, die Kühlmittelkanäle aufweist, und eine innere Wandkomponente mit hoher Wärmeleitfähigkeit. Die innere Wandkomponente begrenzt die Kühlmittelkanäle.

#### OFFENBARUNG DER ERFINDUNG

**[0013]** Das Hauptziel der vorliegenden Erfindung besteht darin, einen Wandaufbau bereitzustellen, der eine intensive Wärmebelastung aushält und verglichen mit dem Stand der Technik eine längere Lebensdauer hat. Dieses Ziel wird mit den im Anspruch 1 enthaltenen Merkmalen erreicht. Die abhängigen Ansprüche enthalten vorteilhafte Ausführungsformen, Weiterentwicklungen und Varianten der Entwicklung.

**[0014]** Die Erfindung bezieht sich auf einen Wandaufbau, der einer thermischen Belastung ausgesetzt werden soll und der wenigstens zwei Schichten aufweist, nämlich eine erste Schicht und eine zweite Schicht, wobei die zweite Schicht näher an einer Quelle für die thermische Belastung als die erste Schicht positioniert ist, die Schichten so angeordnet

sind, dass die Wärmeleitung von der zweiten Schicht zur ersten Schicht möglich ist, jede der ersten und zweiten Schichten für ein Tragen eines beträchtlichen Teils einer strukturellen Belastung angepasst ist und die zweite Schicht eine höhere Leitfähigkeit und/oder eine niedrigere Wärmeausdehnung als die erste Schicht hat. Diese Auslegung hat den vorteilhaften Effekt, dass sie die thermische Beanspruchung und ihre Einflüsse in dem Wandaufbau verringert, was wiederum die Lebensdauer vergrößert. Dies lässt sich kurz wie folgt erklären. Das erste Merkmal, d.h. dass beide Schichten eine strukturelle Belastung tragen, hat zur Wirkung, dass die Dicke der Wand auf einem Minimum gehalten werden kann, d.h. es ist nicht nötig, die Wandstärke zu erhöhen, gerade weil der Aufbau zwei Schichten hat. Das zweite Merkmal kann in zwei Merkmale unterteilt werden:

i) Eine höhere Wärmeleitfähigkeit in der zweiten Schicht verringert sowohl die Temperaturniveaus als auch den Temperaturgradienten in dem Wandaufbau. Da die thermische Beanspruchung von der Temperatur und der Wärmeausdehnung des Materials abhängt, senkt dies die Absolutwerte der thermischen Beanspruchung ab und macht das Profil der thermischen Beanspruchung über dem Wandaufbau gleichförmiger;

ii) Eine niedrigere Wärmeausdehnung in der zweiten Schicht verringert die Ausdehnung in dem heißesten Teil des Aufbaus, was sowohl die extremste thermische Beanspruchung verringert als auch ein gleichförmigeres Wärmebeanspruchungsprofil ergibt. Sowohl die abgesenkten Beanspruchungswerte als auch das gleichförmigere Beanspruchungsprofil haben einen günstigen Einfluss auf die Lebensdauer des Wandaufbaus.

**[0015]** Ein weiterer Vorteil der Verwendung beider Schichten zum Tragen der strukturellen Belastung besteht darin, dass in dem Aufbau kein zusätzliches "Totgewicht" hinzugefügt wird, wie es beispielsweise bei thermischen Sperrbeschichtungen der Fall ist. Außerdem macht das Fehlen einer thermischen Sperrbeschichtung die lasttragenden Teile des Wandaufbaus für eine Inspektion zugänglich. Ein weiterer vorteilhafter Effekt von abgesenkten Temperaturpegeln besteht darin, dass er zu verbesserten Materialeigenschaften, beispielsweise einer höheren strukturellen Festigkeit führt.

**[0016]** Die Erfindung hat einen Wandaufbau mit Kühlkanälen, die sich auf einer Seite der zweiten Schicht befinden, die der Wärmequelle gegenüberliegt, wobei die Kühlkanäle für einen Durchstrom des Kühlmediums angepasst sind, sowie Kühlkanäle, die sich in einem Abstand von der zweiten Schicht befinden.

**[0017]** Auf diese Weise angeordnete Kühlkanäle führen zu einem großen Temperaturgradienten in dem Wandaufbau, der den vorteilhaften Effekt der Er-

findung steigert. Weiterhin ermöglicht es eine solche Auslegung, wasserstoffempfindliches Material in der zweiten Schicht auch in Situationen zu verwenden, in denen Wasserstoff als Kühlmedium verwendet wird.

**[0018]** Bei einer ersten vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung hat die zweite Schicht sowohl eine höhere Wärmeleitfähigkeit als auch eine niedrigere Wärmeausdehnung als die erste Schicht. Auf diese Weise können die vorteilhaften Effekte einer jeden dieser Materialeigenschaften zusammenwirken und einen noch besseren Aufbau ergeben.

**[0019]** Bei einer zweiten vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung sind die Kühlkanäle in Verbindung mit der ersten Schicht angeordnet, vorzugsweise befinden sich die Kühlkanäle wenigstens teilweise in der ersten Schicht. Eine solche Anordnung ergibt einen günstigen Aufbau.

**[0020]** Bei einer dritten vorteilhaften Ausführungsform der Erfindung wird die erste Schicht im Wesentlichen von einem ersten metallischen Material und die zweite Schicht im Wesentlichen von einem zweiten metallischen Material gebildet, wobei das zweite metallische Material eine höhere Wärmeleitfähigkeit und/oder eine niedrigere Wärmeausdehnung als das erste metallische Material hat. Da Metall ein geeignetes Baumaterial ist, gibt es einen günstigen Aufbau.

**[0021]** Bei einer vierten vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung enthält die zweite Schicht Keramikteilchen. Auf diese Weise kann die Wärmeausdehnung der zweiten Schicht verringert werden.

#### KURZBESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

**[0022]** Die Erfindung wird nun näher unter Bezug auf die folgenden Zeichnungen beschrieben, in denen

**[0023]** [Fig. 1](#) eine vorteilhafte Ausgestaltung der Erfindung,

**[0024]** [Fig. 2](#) schematisch die vorteilhafte Wirkung der Erfindung in einem Temperaturdiagramm, und

**[0025]** [Fig. 3](#) die vorteilhafte Wirkung der Erfindung in einem Dehnungsdiagramm zeigt.

#### INS EINZELNE GEHENDE BESCHREIBUNG DER ERFINDUNG

**[0026]** [Fig. 1](#) zeigt eine vorteilhafte Ausführungsform der Erfindung, in welcher ein Wandaufbau **2** eine Brennkammer **1** bildet. Wie in dem vergrößerten Teil von [Fig. 1](#) gezeigt ist, hat der Wandaufbau **2** eine erste Schicht **5** und eine zweite Schicht **6**. Die zweite Schicht **6** befindet sich auf einer heißen Seite **8** des Wandaufbaus **2**, d.h. auf der Seite des Wandaufbaus

**2**, die der Wärmequelle zugewandt ist, welche wenigstens gelegentlich den Wandaufbau **2** einer thermischen Belastung aussetzt. In diesem Fall sind die Wärmequelle die heißen Gase innerhalb der Brennkammer. Die erste Schicht **5** ist mit Kühlkanälen **7** versehen, die für den Durchstrom eines Kühlmediums angepasst sind.

**[0027]** Jede der Schichten **5**, **6** trägt einen beträchtlichen Teil einer strukturellen Belastung. Bei der in [Fig. 1](#) gezeigten Ausführungsform haben die beiden Schichten **5**, **6** ähnliche Festigkeitseigenschaften, was bedeutet, dass die Gesamtdicke des Wandaufbaus **2** nicht aus dem Grund erhöht werden muss, dass der Aufbau zwei Schichten aufweist. Wenn die Dicke der zweiten Schicht **6** um einen bestimmten Wert vergrößert wird, kann im Prinzip die Dicke der ersten Schicht **5** um einen gleichen Wert verringert werden. Weiterhin sind die beiden Schichten **5**, **6** so miteinander verbunden, dass Wärme von einer Schicht zur anderen geleitet werden kann, und die zweite Schicht **6** hat eine höhere Wärmeleitfähigkeit und eine niedrigere Wärmeausdehnung als die erste Schicht **5**.

**[0028]** Die strukturelle Belastung besteht aus Lasten, die von dem Aufbau in Form von Spannungen getragen werden. Der Ursprung der Belastungen in dem Aufbau können beispielsweise Druck, Wärmespannung, Massenkräfte (d.h. Beschleunigung) und mechanische Kräfte an Trennflächen sein. Wenn gesagt wird, dass jede der Schichten **5**, **6** zum Tragen eines beträchtlichen Teils einer strukturellen Belastung angepasst ist, bedeutet dies, dass beide Schichten **5**, **6** zum Abstützen des Aufbaus beitragen. Dies steht im Gegensatz zum bisher erwähnten Stand der Technik, bei welchem die Innenwand mit einer Wärmesperrbeschichtung versehen ist, die einen beträchtlichen Teil der strukturellen Belastung nicht trägt.

**[0029]** Wenn die Temperatur in der Brennkammer **1** ansteigt, d.h. wenn die thermische Belastung an dem Wandaufbau anliegt, steigt die Temperatur in dem Wandaufbau **2**, und es entwickelt sich in dem Wandaufbau **2** ein Temperaturgradient. Natürlich findet man die höchsten Temperaturen des Wandaufbaus **2** in den äußersten Teilen der zweiten Schicht **6**, die der Wärmequelle am nächsten liegen. In der Richtung zu den Kühlkanälen **7** und zur anderen kühleren Seite **9** des Wandaufbaus **2** nimmt die Temperatur allmählich ab. Der größte Temperaturgradient, d.h. das steilste Temperaturprofil in dem Wandaufbau **2** findet man natürlich in dem Teil zwischen der heißen Seite **8** und den Kühlkanälen **7**, durch welche ein Kühlmedium strömt. Ein solcher Teil hat in [Fig. 1](#) das Bezugszeichen **10**.

**[0030]** Insgesamt expandiert das Baumaterial, wenn die Temperatur steigt. Je höher die Temperatur

ist, desto größer ist die Ausdehnung. Wenn diese Ausdehnung nicht vollständig, beispielsweise durch Verformung des Aufbaus, absorbiert werden kann, entsteht eine Druckspannung, d.h. eine negative thermische Beanspruchung in dem Aufbau. Die thermische Beanspruchung hängt in einem bestimmten Punkt sowohl von der Temperatur als auch von der Wärmeausdehnung des Materials ab. Ein Wärmebeanspruchungsprofil in einem bestimmten Material hat somit prinzipiell die gleiche Form wie das Temperaturprofil. Eine hohe Wärmebeanspruchung verringert die Festigkeit des Materials. Die Erfindung senkt thermische Beanspruchung in dem Wandaufbau oder beseitigt wenigstens die extremsten Werte in dem Wärmebeanspruchungsprofil. Dies wird nachstehend näher beschrieben.

[0031] [Fig. 2](#) zeigt ein typisches Temperaturdiagramm über dem Teil mit dem größten Wärmegradienten in dem Wandaufbau **2**, d.h. über dem Teil **10** in [Fig. 1](#). Der obere Abschnitt des Diagramms stellt die erste Schicht **5**, der untere Abschnitt die zweite Schicht **6** dar. Ein typisches Temperaturprofil des Teils **10**, wenn es einer thermischen Belastung ausgesetzt ist, wird durch eine ausgezogene Linie K auf der rechten Seite des Diagramms gezeigt. Um den vorteilhaften Effekt der Erfindung deutlich zu zeigen, ist [Fig. 2](#) das Temperaturprofil für einen Aufbau mit einer herkömmlichen einschichtigen Bauweise hinzugefügt. Bei diesem Aufbau gibt es keine zweite Schicht **6**, stattdessen ist die Dicke der ersten Schicht **5** so vergrößert, dass sie die zweite Schicht **6** ersetzt, so dass die Gesamtdicke die gleiche ist und der ganze Teil **10** die gleiche Wärmeleitfähigkeit und Wärmeausdehnung wie die erste Schicht **5** hat. Eine gestrichelte Linie L auf der rechten Seite des Diagramms zeigt das Temperaturprofil für den herkömmlichen Aufbau. Wie in [Fig. 2](#) zu sehen ist, ist das Temperaturprofil für den herkömmlichen Aufbau eine gerade Linie (gestrichelte Linie L), während die für den Wandaufbau **2** nach der Erfindung eine unterschiedliche vorteilhafte Neigung in der zweiten Schicht (ausgezogene Linie K) aufgrund der hohen Wärmeleitfähigkeit dieser Schicht hat. Die Temperaturen in dem Hochtemperaturteil des Temperaturprofils sind somit in dem Wandaufbau **2** nach der Erfindung niedriger als in einem Aufbau herkömmlicher Art.

[0032] Das typische Temperaturprofil in [Fig. 2](#) lässt ein entsprechendes typisches Dehnungsprofil stehen. Ein solches typisches Dehnungsdiagramm über dem Teil **10** von [Fig. 1](#) ist in [Fig. 3](#) gezeigt. Der obere Abschnitt des Diagramms stellt die erste Schicht **5**, der untere Abschnitt die zweite Schicht **6** dar. Wie vorstehend erwähnt, hat die zweite Schicht **6** sowohl eine höhere Wärmeleitfähigkeit als auch eine niedrigere Wärmeausdehnung als die erste Schicht **5**. Ein übliches Dehnungsprofil des Teils **10**, während es einer Wärmebelastung ausgesetzt ist, ist durch eine ausgezogene Linie K auf der linken Seite des Dia-

gramms gezeigt. Der negative Wert der Dehnung ( $\epsilon$ ) ist ein Ergebnis der Druckkräfte, die durch die Wärmeausdehnung verursacht werden. Ähnlich wie bei dem Temperaturdiagramm von [Fig. 2](#) wurde [Fig. 3](#) zum Vergleich ein typisches Dehnungsprofil für den Aufbau herkömmlicher Art hinzugefügt, um den vorteilhaften Effekt der Erfindung deutlich zu zeigen. Bei diesem Aufbau gibt es keine zweite Schicht **6**, stattdessen wurde die Dicke der ersten Schicht **5** als Austausch der zweiten Schicht **6** erhöht, so dass die Gesamtdicke die gleiche ist und der ganze Teil **10** die gleiche Wärmeleitfähigkeit und Wärmeausdehnung wie die erste Schicht **5** hat. Eine gestrichelte Linie L auf der linken Seite des Diagramms zeigt das Temperaturprofil für den Aufbau herkömmlicher Art. Wie in [Fig. 3](#) zu sehen ist, ist das Dehnungsprofil für den herkömmlichen Aufbau eine gerade Linie, während das Dehnungsprofil für den Wandaufbau **2** nach der Erfindung sowohl eine unterschiedliche vorteilhafte Neigung hat als auch in der zweiten Schicht **6** auf einer Dehnung von Null gebracht wird. Die vorteilhafte Neigung ergibt sich aufgrund der hohen Wärmeleitfähigkeit der zweiten Schicht **6**, während die Annäherung des Profils an einer Dehnung von Null sich aus der geringeren Wärmeausdehnung der zweiten Schicht ergibt. Die thermische Dehnung in dem hochbeanspruchten Teil des Dehnungsprofils ist somit bei dem Wandaufbau **2** nach der Erfindung kleiner als bei dem Aufbau herkömmlicher Art.

[0033] In [Fig. 3](#) sind auch zwei weitere Linien K' und K'' gezeigt. Die Linie K' stellt einen Fall dar, in welchem die Wärmeausdehnung der zweiten Schicht **6** ähnlich zu der der ersten Schicht **5** ist, während die Wärmeleitfähigkeit der zweiten Schicht **6** höher als die der ersten Schicht **5** ist. Die Linie K'' stellt einen anderen Fall dar, in welchem die Wärmeleitfähigkeit der zweiten Schicht **6** ähnlich zu der der ersten Schicht **5** ist, während die Wärmeausdehnung der zweiten Schicht **6** geringer ist als die der ersten Schicht **5**. Wie in [Fig. 3](#) zu sehen ist, ist die thermische Dehnung in dem Wandaufbau **2** in diesen beiden Fällen kleiner als bei dem Aufbau herkömmlicher Art (gestrichelte Linie L). Somit genügt es, dass die zweite Schicht **6** entweder eine höhere Wärmeleitfähigkeit oder eine niedrigere Wärmeausdehnung als die erste Schicht hat, um den vorteilhaften technischen Effekt zu erzielen, dass die thermische Beanspruchung in dem Wandaufbau **2** verglichen mit einem Aufbau herkömmlicher Art verringert ist. Es ist sogar möglich, diesen Effekt zu erreichen, wenn die zweite Schicht **6** eine Wärmeleitfähigkeit hat, die etwas niedriger als die der ersten Schicht **5** ist, vorausgesetzt, dass die Wärmeausdehnung der zweiten Schicht **6** ausreichend niedriger als die der ersten Schicht **5** ist. Umgekehrt ist es auch möglich, den Effekt zu erreichen, wenn die zweite Schicht **6** eine Wärmeausdehnung hat, die etwas niedriger als die der ersten Schicht **5** ist, vorausgesetzt, dass die Wärmeleitfähigkeit der zweiten Schicht **6** ausreichend

größer als die der ersten Schicht **5** ist. Natürlich wird der größte Effekt erreicht, wenn die zweite Schicht **6** sowohl eine höhere Wärmeleitfähigkeit als auch eine niedrigere Wärmeausdehnung als die erste Schicht **5** hat, wie dies bei der Ausführungsform der Erfindung von [Fig. 1](#) der Fall und durch die Linie K in [Fig. 3](#) gezeigt ist.

**[0034]** Es nicht erforderlich, dass die beiden Schichten **5**, **6** gleiche Festigkeitseigenschaften haben, um die Erfindung zu nutzen. Somit ist es nicht erforderlich, dass die kombinierte Wanddicke der ersten und zweiten Schicht **5**, **6** zu der des herkömmlichen einschichtigen Aufbaus gleich ist, wie es vorstehend unter Bezug auf die gestrichelte Linie L in [Fig. 2](#) und [Fig. 3](#) beschrieben ist. Die Erfindung hat eine vorteilhafte Wirkung auf die thermische Beanspruchung auch dann, wenn die Dicke verglichen mit dem herkömmlichen Aufbau etwas vergrößert ist, vorausgesetzt, dass die Wirkung der Benutzung unterschiedlicher Materialeigenschaften in der zweiten Schicht **6** ausreicht. Es ist somit nicht erforderlich, dass die beiden Schichten **5**, **6** gleich angepasst sind, um die strukturelle Belastung zu tragen, da die Möglichkeit besteht, die Dicke von einer oder beiden der zwei Schichten **5**, **6** zu erhöhen. Die vorteilhafte Wirkung nach der Erfindung tritt jedoch dann besonders hervor, wenn die Wanddicke auf einem Minimum erhalten wird und der Effekt mit zunehmender Wanddicke abnimmt. Natürlich ist eine Verringerung der Wanddicke in jedem Fall wichtig, um das Gewicht niedrig zu halten.

**[0035]** Der zweischichtige Aufbau nach der Erfindung ermöglicht die Verwendung eines ersten Materials in der ersten Schicht **5** und eines zweiten Materials in der zweiten Schicht **6** und somit eine Kombination unterschiedlicher physikalischer Eigenschaften von unterschiedlichen Materialien auf vorteilhafte Weise. Neben der Kombination der vorstehend beschriebenen thermischen Eigenschaften ermöglicht die Erfindung die Kombination von Eigenschaften, die beispielsweise kosten- und behandlungsbezogen sind. Beispielsweise kann ein Material, das für den Einsatz in der zweiten Schicht **6** aufgrund seiner thermischen Eigenschaften geeignet ist, für die Verwendung über dem gesamten Wandaufbau **2** zu teuer, schwer oder schwierig zu bearbeiten sein. Erfindungsgemäß kann ein solches Material mit einem anderen Material kombiniert werden, das zur Bildung der ersten Schicht **5** billiger, leichter und einfacher zu verarbeiten ist.

**[0036]** Für die Verwendung der Erfindung ist es nicht nötig, dass der Wandaufbau **2** mit Kühlkanälen **7** versehen ist oder dass ein Kühlmedium, das für diesen Zweck vorgesehen ist, überhaupt verwendet wird, jedoch steigern sich die Vorteile der Erfindung in einem solchen Fall, insbesondere wenn Wasserstoff als Kühlmedium verwendet wird. Erstens führt das

Vorhandensein von sowohl einer Wärmequelle als auch eines Kühlmediums zu einem großen Temperaturgradienten. In einem solchen Fall ist es besonders wichtig, Maßnahmen zu treffen, um die Wärmebeanspruchung in dem Wandaufbau zu verringern. Zweitens kann ein bestimmtes Material physikalische Eigenschaften haben, die zur Verwendung bei dem Wandaufbau der hier diskutierten Art besonders geeignet sind, mit der Ausnahme, dass das Material empfindlich ist, wenn es Wasserstoff ausgesetzt wird. Gemäß der in [Fig. 1](#) gezeigten Ausführungsform der Erfindung kann ein solches Material noch in der zweiten Schicht **6** verwendet werden, da die Kühlkanäle **7** sich in einem Abstand von der zweiten Schicht befinden, so dass das diese Schicht bildende Material nicht mit dem Kühlmedium, d.h. dem Wasserstoff, in Kontakt kommt.

**[0037]** Vorzugsweise wird die erste Schicht **5** aus einem ersten metallischen Material und die zweite Schicht **6** aus einem zweiten metallischen Material gebildet, wobei das zweite metallische Material eine höhere Wärmeleitfähigkeit und eine niedrigere Wärmeausdehnung als das erste metallische Material hat.

**[0038]** Eine geeignete Kombination von metallischen Materialien sind die Verwendung von austenitischem rostfreien Stahl in der ersten Schicht **5** und von ferritischem-martensitischem rostfreien Stahl in der zweiten Schicht **6**. Ein Beispiel besteht darin, Nitronic 40 in der ersten Schicht **5** und INCO 600 oder Greek-Legierung in der zweiten Schicht **6** zu verwenden. Eine solche Kombination verringert die Dehnung in dem Wandaufbau bis auf etwa 75% von der, wie sie auftreten würde, wenn in beiden Schichten nur Nitronic 40 eingesetzt würde. Eine noch stärkere Dehnungsreduzierung erhält man bei Verwendung von Nitronic 40 in der ersten Schicht **5** und reinem Nickel in der zweiten Schicht **6**.

**[0039]** Eine Reduzierung der Beanspruchung auf 75% verlängert die Lebensdauer beträchtlich, annähernd um das Dreifache. Anstatt die Lebensdauer zu verlängern, kann eine reduzierte Beanspruchung verwendet werden, um die Fertigung zu vereinfachen, beispielsweise durch Steigern der Toleranzen oder durch Verringern der Anzahl von Kühlkanälen, wodurch die Herstellungskosten verringert werden.

**[0040]** Eine typische Dicke für das Teil **10**, d.h. eine typische Länge der Entfernung von der heißen Seite **8** zu den Kühlkanälen **7** liegt im Bereich von 0,6 bis 0,9 mm. Vorzugsweise beträgt die Dicke der zweiten Schicht **6** etwa die Hälfte der Dicke des Teils **10**, d.h. etwa 0,4 mm.

**[0041]** Bei einer Weiterentwicklung der Ausgestaltung der Erfindung nach [Fig. 1](#) enthält die zweite Schicht **6** Keramikteilchen, um die thermische Bean-

spruchung weiter zu verringern. Im Allgemeinen hat ein keramisches Material eine sehr niedrige Wärmeausdehnung verglichen mit einem metallischen Material, und durch Zumischen eines solchen Materials in die zweite Schicht **6** wird die Wärmeausdehnung der zweiten Schicht **6** verringert. Viele keramische Materialien erweisen sich auch als zufriedenstellend für hervorragende Wärmeleiteigenschaften. Wenn die Wärmeleitfähigkeit des keramischen Materials niedrig ist, ist die Menge des keramischen Materials begrenzt, die in die zweite Schicht **6** eingemischt werden kann, ohne den vorteilhaften thermischen Effekt zu verlieren. Ein sehr großer Anteil an keramischem Material in der zweiten Schicht **6** würde zu einer beträchtlichen Verringerung der Fähigkeit der zweiten Schicht **6** führen, die strukturelle Belastung zu tragen. In einem solchen Fall muss die Wanddicke vergrößert werden, was das thermische Beanspruchungsprofil steigert und dem Wandaufbau **2** Gewicht hinzufügt. In bestimmten Situationen kann man eine erhöhte Wandstärke zulassen, vorausgesetzt, dass die thermischen Eigenschaften in einem ausreichenden Ausmaß verbessert werden.

**[0042]** Für das Zumischen in die zweite Schicht **6** ist eine große Anzahl von verschiedenen keramischen Materialien, wie Oxide, Carbide und Nitride, geeignet. Wenn die zweite Schicht **6** auf die erste Schicht **5** durch eine Laser-Sinterung aufgebracht wird, werden Carbide und Nitride bevorzugt, da Oxide zu viel Laserenergie absorbieren. Beispiele für geeignete keramische Materialien sind Aluminiumnitrid, Titanitrid, Aluminiumcarbid, Titancarbid und Siliciumcarbid. Vorzugsweise ist die Form der in die zweite Schicht **6** eingeschlossenen Keramiktteilchen sphärisch, um die Spannungskonzentration an dem mit dem Teilchen gefüllten Hohlraum zu minimieren. Die Keramiktteilchen sind vorzugsweise viel kleiner als die Dicke der zweiten Schicht **6**.

**[0043]** Es wird nun ein bevorzugtes Verfahren zur Herstellung eines Wandaufbaus **2** gemäß [Fig. 1](#) beschrieben. Das Ausgangsmaterial ist eine Primärplatte, und in einem ersten Schritt des Herstellungsverfahrens wird die Platte in eine geeignete Form gebracht, beispielsweise einen Konus. In einem zweiten Schritt wird die zweite Schicht **6** auf die Primärplatte unter Verwendung von Laser-Sintern von Metallpulver aufgebracht. Die Primärplatte bildet so einen Teil der ersten Schicht **5** nach [Fig. 1](#). Bei dem zweiten Schritt ist wichtig, dass die Dicke der aufgetragenen zweiten Schicht **6** in jedem Punkt einen bestimmten Minimalwert überschreitet. In einem dritten Schritt wird die zweite Schicht **6** spanend bearbeitet, vorzugsweise durch Abdrehen, um eine gleichförmige Dicke zu erhalten. In einem vierten Schritt wird die Primärplatte, d.h. der Teil der ersten Schicht **5**, von der kalten Seite **5** des Wandaufbaus **2** gefräst, um Nuten zu bilden, die später die Kühlkanäle **7** bilden. In einem fünften Schritt wird eine Sekundärplatte auf

die Primärplatte geschweißt, d.h. auf den Teil der ersten Schicht **5** derart, dass die Nuten/Kühlkanäle **7** abgedeckt sind. Durch Verwendung des gleichen Materials für die Primärplatte und die Sekundärplatte bilden diese beiden Platten zusammen die erste Schicht **5** nach [Fig. 1](#). Es ist natürlich auch möglich, unterschiedliche Materialien für die Primär- und Sekundärplatte zu verwenden.

**[0044]** Wenn in die zweite Schicht **6** ein keramisches Material eingemischt werden soll, wird vorzugsweise ein keramisches Pulver mit dem metallischen Pulver in dem zweiten Schritt gemischt.

**[0045]** Eine vorteilhafte Technik ist das Laser-Sintern, da es eine gute Haftung an der Primärplatte ergibt. Es können tatsächlich zwei Teile zur Bildung eines Teils integriert werden. Zusätzlich bildet das Laser-Sintern ein dichtes und festes Material.

**[0046]** Als Alternative zum Laser-Sintern ist es möglich, beispielsweise eine Elektroabscheidung oder eine Plasmazerstäubung zu verwenden, um die zweite Schicht **6** auf der Primärplatte aufzubringen. Eine andere Alternative besteht darin, die zweite Schicht **6** während eines Blechwalzens aufzubringen und somit das Herstellungsverfahren mit einem gewalzten Verbundmetallblech zu beginnen, das sowohl die erste als auch die zweite Schicht **5, 6** enthält. Wieder eine andere Alternative besteht darin, die Primärplatte in eine geeignete Form zu bringen und zum Aufbringen der zweiten Schicht **6** auf die Primärplatte eine Explosionsplattierung zu verwenden.

**[0047]** Die Erfindung ist nicht auf die vorstehend beschriebenen Ausführungsformen beschränkt, vielmehr ist eine Anzahl von Modifizierungen innerhalb des Umfangs der folgenden Ansprüche möglich. Beispielsweise kann der Wandaufbau zusätzliche Schichten mit anderen Materialeigenschaften aufweisen. Als Beispiel kann der Deckel auf den Nuten/Kühlkanälen **7** aus einem anderen Material bestehen, um die Beanspruchung zu verringern, die durch den Temperaturgradienten durch die gesamte Wand hindurch verursacht wird, d.h. von der heißen Seite **8** zur kalten Seite **9**. Es können auch zusätzliche Schichten direkt an der ersten und der zweiten Schicht **5, 6** oder dazwischen positioniert werden. Bei Verwendung von unterschiedlichen Materialeigenschaften in diesen zusätzlichen Schichten wäre es möglich, einen Mehrschichtaufbau zu bilden, um die negativen Wirkungen der thermischen Beanspruchungen in der Wand zu verringern.

**[0048]** Bei einigen Anwendungen kann es vorteilhaft sein, die Innenseite der Kühlkanäle **7** mit einem Material abzudecken, das gegenüber dem Kühlmedium unempfindlich ist.

**[0049]** Ferner ist der Wandaufbau nach der Erfin-

nung nicht auf Raketentriebwerkbauteile beschränkt, er kann auch bei anderen Anwendungen zum Einsatz kommen, bei denen sich eine beträchtliche Wärmebelastung einstellt, beispielsweise bei Verbrennungskammern, Düsentriebwerken und Turbinen.

### Patentansprüche

1. Wandaufbau (2), der einer thermischen Belastung ausgesetzt werden soll und der wenigstens zwei Schichten hat, nämlich eine erste Schicht (5) und eine zweite Schicht (6), wobei

- die zweite Schicht (6) näher an einer Quelle für die thermische Belastung als die erste Schicht (5) positioniert ist,
- die Schichten (5, 6) so angeordnet sind, dass die Wärmeleitung von der zweiten Schicht (6) zur ersten Schicht (5) möglich ist,
- jede der ersten und zweiten Schichten (5, 6) für ein Tragen eines beträchtlichen Teils einer strukturellen Belastung angepasst ist,
- die zweite Schicht (6) eine höhere Wärmeleitfähigkeit und/oder eine niedrigere Wärmeausdehnung als die erste Schicht (5) hat,
- der Wandaufbau (2) Kühlkanäle (7) aufweist, die sich auf einer Seite der zweiten Schicht (6) befinden, die der der Wärmequelle gegenüber liegt,
- die Kühlkanäle (7) zum Kühlen eines Mediumdurchstroms angepasst sind und
- die Kühlkanäle (7) in einem Abstand von der zweiten Schicht (6) angeordnet sind.

2. Wandaufbau (2) nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Kühlkanäle (7) in Verbindung mit der ersten Schicht (5) vorzugsweise wenigstens teilweise innerhalb der ersten Schicht (5) angeordnet sind.

3. Wandaufbau (2) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet,  
 – dass die erste Schicht (5) im Wesentlichen von einem ersten metallischen Material gebildet wird und  
 – dass die zweite Schicht (6) im Wesentlichen von einem zweiten metallischen Material gebildet wird, wobei das zweite metallische Material eine höhere Wärmeleitfähigkeit und/oder eine niedrigere Wärmeausdehnung als das erste metallische Material hat.

4. Wandaufbau nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass die zweite Schicht Keramiktteilchen enthält.

5. Raketentriebwerksbauteil (1), dadurch gekennzeichnet, dass es einen Wandaufbau (2) nach einem der Ansprüche 1 bis 4 aufweist.

Es folgen 2 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

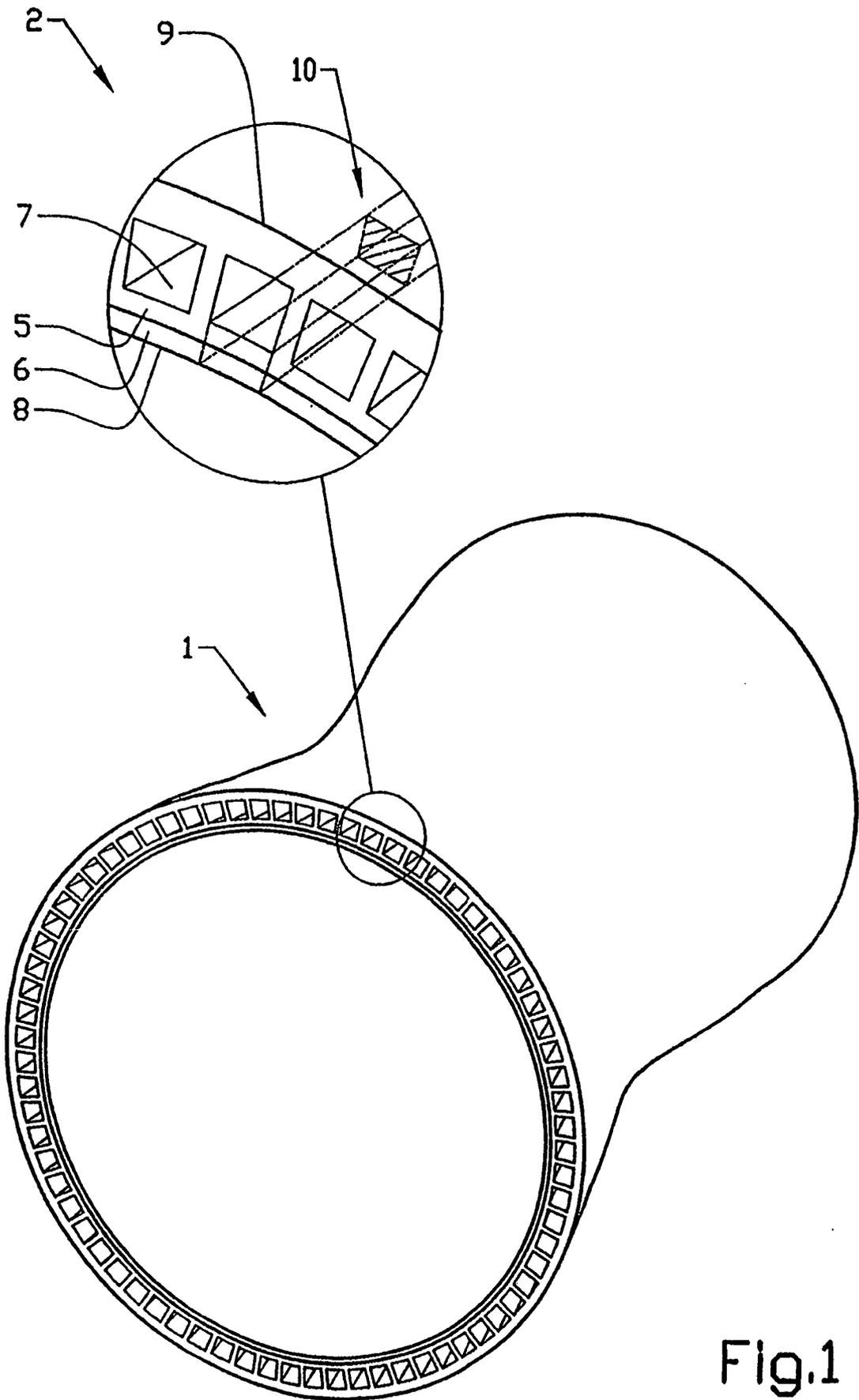


Fig.1

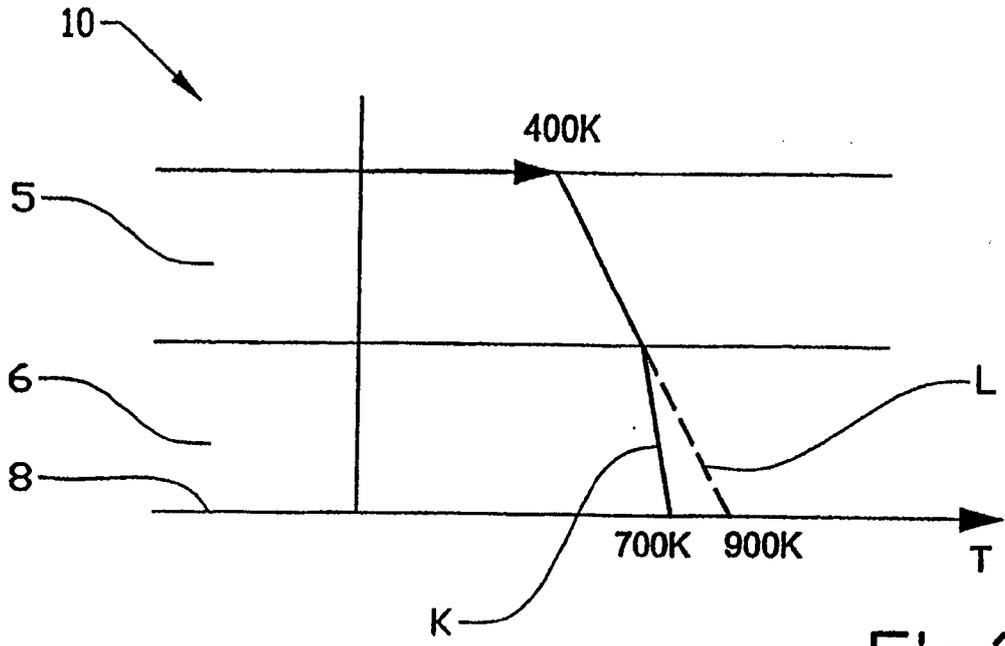


Fig.2

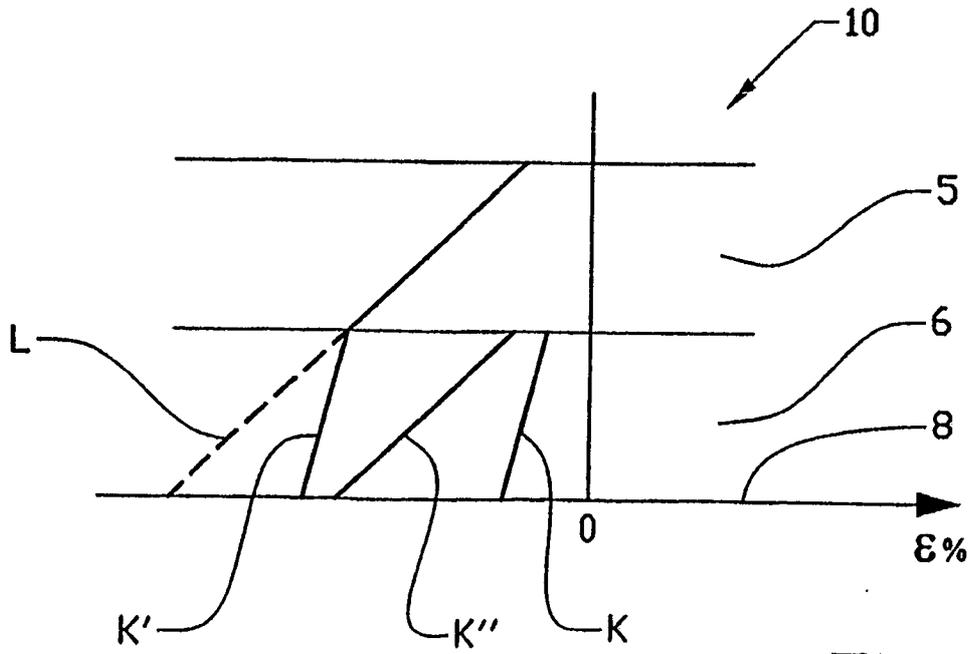


Fig.3