



(10) **DE 10 2006 032 406 A1** 2008.01.17

Offenlegungsschrift

B23K 31/00 (2006.01)

WO 04/0 80 640 A1

The diagram illustrates a two-stage process for forming a microstructure. In the top stage, a U-shaped mold contains a liquid meniscus labeled 'a1'. A solidified layer, labeled '2'', is shown at the bottom of the mold. Arrows indicate the movement of the liquid and the growth of the solidified layer. In the bottom stage, the mold is inverted, and the solidified layer '2'' is now at the bottom. A new liquid meniscus, labeled 'a2', is shown at the top of the mold. Arrows indicate the movement of the liquid and the growth of the solidified layer. Labels 3, 4, 5, and 6 indicate different stages or regions of the process.

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung von metallisch verbundenen Konstruktionen, wie beispielsweise von Wärmetauschern, die aus extrem dünnen, eine Kernschicht und eine Korrosionsschutzschicht aufweisenden Aluminiumblechen mittels Umformverfahren hergestellt, zusammengesetzt und verbunden werden, wobei das Verfahren die Herstellung der Bleche und das Löten der Konstruktionen umfasst, wobei das Löten vorzugsweise ein CAB-Lötverfahren ist, bei dem die Konstruktionen mittels einer Transporteinrichtung durch den Lötöfen transportiert werden. (CAB – Controlled Atmosphere Brazing)

[0002] Aus der DE 10 2004 033 457 A1 ist ein Verbundwerkstoff aus einer hochfesten Aluminiumlegierung bekannt, der zur Herstellung von in Fahrzeugen verwendeten hartgelöteten Wärmetauschern eingesetzt werden soll. In dem Dokument ist auch angesprochen worden, dass durch die Forderung der Fahrzeugindustrie, leichtere und dünnwandige Materialien zu verwenden, die Entwicklung von hochfesten Aluminiumlegierungen forciert wird. Es stellen sich jedoch Probleme hinsichtlich der Korrosionsbeständigkeit der Konstruktionen (Wärmetauscher) nach dem Hartlöten ein. Die Aufgabe der dortigen Erfindung besteht demnach darin, einen Verbundwerkstoff bereitzustellen, der eine geringe Masse aufweist und der unter anderem korrosionsbeständiger ausgebildet sein soll. Diese Aufgabe wird dort dadurch gelöst, dass eine Kernschicht, eine die Kernschicht abdeckende Korrosionsschutzschicht und eine auf dieser aufgebrachte Lotschicht vorgesehen werden, wobei die Schichten bestimmte dort beschriebene Legierungsbestandteile aufweisen.

[0003] An diesen Stand der Technik knüpft die vorliegende Erfindung an und stellt sich ebenfalls die Aufgabe, die Korrosionsbeständigkeit der Konstruktionen trotz extrem kleiner Wanddicken der Teile nach dem Hartlöten zu erhalten bzw. zu verbessern. Die erfindungsgemäße Lösung ergibt sich durch ein Verfahren zur Herstellung metallischer Konstruktionen, welches die Merkmale des Anspruchs 1 aufweist. Die Aufgabenlösung stellt sich mit der Umsetzung dieses Verfahrens ein. Es wird ein Herstellungsverfahren bereitgestellt, das sozusagen branchenübergreifend ausgeführt wird. Bestimmte Verfahrensschritte werden von den Herstellern der Aluminiumbleche ausgeführt und andere Verfahrensschritte laufen bei den Herstellern der metallisch verbundenen Konstruktionen ab, welche beispielsweise die Hersteller von Wärmetauschern für Kraftfahrzeuge, aber auch – im weitesten Sinne – die Hersteller von metallisch verbundenen Einheiten, Apparaten, Vorrichtungen für alle möglichen Anwendungen sind. Diese werden von den Herstellern der Aluminiumbleche mit entsprechend vorbehandelten Aluminiumblechen belie-

fert. Unter extrem dünnen Blechen im Sinne der vorliegenden Erfindung werden solche verstanden, die eine Blechdicke im Bereich von etwa 0,03–0,15 mm oder geringfügig darüber hinaus aufweisen.

[0004] Die Kernschicht des einen Aluminiumblechs wird mit einem Titangehalt versehen, der hoch genug ist, um titanreiche Schichten in der Kernschicht des einen Aluminiumbleches auszubilden. Diese titanreichen Schichten in der Kernschicht bewirken, dass sich die Korrosion zunächst horizontal in den Schichten ausbreitet, bevor sie die Kernschicht durchdringen kann. Sie verbessern demnach die Korrosionsbeständigkeit der Konstruktionen, insbesondere die Neigung zum schädlichen Lochfraß. Der Titangehalt in der Kernschicht beträgt etwa 0,05–0,30 Gew. %, bevorzugt etwa 0,10–0,25 Gew. %.

[0005] Die anderen Aluminiumbleche werden mit einer solchen Legierung ausgebildet, dass sie sich anodisch (unedler) zu einer Aluminium und Silizium enthaltenden Lotschicht auf einem der Aluminiumbleche, bzw. anodisch zu einer aus der Lotschicht gebildeten Aluminium-Alpha-Phasen-Schicht, verhalten. Diese Aluminium-Alpha-Phasen-Schicht wird mit einem anodischen elektrochemischen Potential zu der auf dem Aluminiumblech ausgebildeten Korrosionsschutzschicht versehen, die wiederum unedler ausgebildet wird als die mit der titanreichen Schichtung versehene Kernschicht.

[0006] Außerdem soll die Zeit, in der sich die Konstruktionen im Lötzyklus befinden, verkürzt werden, um die Diffusion von Silizium (Si) zu begrenzen. Darunter ist zuerst zu verstehen, dass die Zeit, in der die Konstruktionen dem Lötzyklus ausgesetzt sind, wesentlich kürzer sein soll als beim Löten von Konstruktionen aus Aluminiumblechen deren Dicke deutlich oberhalb der oben erwähnten Dickenbereiche angesiedelt ist.

[0007] Ein Lötzyklus besteht beispielsweise aus der Aufheiz-, Löt-, und Abkühlphase. Unter „wesentlich kürzer“ kann etwa eine Halbierung der Einwirkungszeit verstanden werden. Darunter ist aber auch zu verstehen, dass auch während des Lötens der hier vorgeschlagenen Konstruktionen die Durchlaufgeschwindigkeit der Konstruktionen durch den CAB-Lötöfen variiert werden kann, was praktisch jedoch eher selten vorkommen wird.

[0008] Bei einem Wärmetauscher sind die einen Aluminiumbleche die Rohre und die anderen Aluminiumbleche sind Rippen oder dergleichen, die zwischen den Rohren angeordnet sind.

[0009] Die Dicke der einen Aluminiumbleche liegt etwa im Bereich von 0,08 mm–0,15 mm und die Dicke der anderen Aluminiumbleche ist etwa im Bereich von 0,03–0,09 mm. Es können weitere Aluminiumble-

che vorgesehen werden, die als Inneneinsatz der Rohre wellenartig ausgebildet sind. Diese weiteren Aluminiumbleche können etwa den Aluminiumblechen entsprechen, die als Rippen ausgebildet sind.

[0010] Die Korrosionsschutzschicht ist mit einem leicht anodischen Korrosionspotential gegenüber der Kernschicht ausgebildet, indem beispielsweise Kupfer Cu der Kernschicht hinzugefügt wird. Sie unterbindet oder behindert ebenfalls die Diffusion von Silizium Si aus der Lotschicht in die Kernschicht.

[0011] Falls eine Korrosionsschutzschicht auch an der Innenseite der Rohre vorgesehen wird, verhindert oder unterbindet sie dort die Diffusion von der inneren Lotschicht in den Kern. Diese Korrosionsschutzschicht an der Innenseite kann sich von der erstgenannten unterscheiden, indem sie z. B. aus Reinaluminium mit unvermeidbaren Verunreinigungen bestehen kann.

[0012] Es wurde festgestellt, dass die Diffusion von Silizium Si ferner dadurch unterbunden oder behindert wird, dass der Lötprozess beschleunigt wird, indem die Transportgeschwindigkeit der Transporteinrichtung erhöht wird oder, wie vorne beschrieben, der Lötzyklus verkürzt wird. (siehe oben) Es ist ferner vorgesehen, dass der Legierung des anderen Aluminiumbleches entweder Zink hinzugefügt wird oder der Kupfergehalt auf 0,1% begrenzt wird, um sie anodisch zur Korrosionsschutzschicht zu machen oder zur Lotschicht.

[0013] Die Diffusionstiefe des Siliziums in die Kernschicht geht beim Stand der Technik bis etwa 100 µm oder etwas darüber hinaus. Gemäß der Erfindung bleibt die Diffusionstiefe unter 100 µm, vorzugsweise bei oder unter 50 µm.

[0014] Es ist schließlich vorgesehen, dass eine elektrochemische Spannungspotentialdifferenz von etwa 30 mV zwischen den Schichten bereitgestellt wird.

[0015] Die Erfindung wird in zwei Ausführungsbeispielen näher erläutert, wozu auf die beiliegenden Abbildungen Bezug genommen wird. Aus der folgenden Beschreibung können sich ohne weiteres Merkmale und Wirkungen ergeben, die vorstehend noch nicht erwähnt wurden, die jedoch wesentlich sind.

[0016] Die [Fig. 1](#) zeigt einen Ausschnitt aus einem Wärmetauscher im Verbindungsbereich zwischen den Aluminiumblechen a und b, wobei a1 die Außenwand eines Flachrohrs, a2 die Innenwand des Flachrohrs und b eine Wellrippe darstellen soll, die von Luft durchströmt wird. (Zustand vor dem Löten)

[0017] Die [Fig. 2](#) zeigt den Ausschnitt gemäß [Fig. 1](#) – nach dem Löten

[0018] Die [Fig. 3](#) zeigt einen Ausschnitt aus einem anderen Wärmetauscher im Verbindungsbereich zwischen den Aluminiumblechen a und b, wobei a1 die Außenwand eines Flachrohrs, a2 die Innenwand des Flachrohrs und b eine Wellrippe darstellen soll, die von Luft durchströmt wird. An der Innenwand a2 ist ein Rohr – Inneneinsatz c angelötet. (Zustand vor dem Löten)

[0019] Die [Fig. 4](#) zeigt den Ausschnitt gemäß [Fig. 3](#) – nach dem Löten.

[0020] Die [Fig. 5](#) zeigt die Eindringtiefe von Silizium, für den Stand der Technik und für die Erfindung.

[0021] Die [Fig. 6](#) zeigt einen Ausschnitt aus einem Wärmetauscher.

[0022] In der nachfolgenden Beschreibung eines Ausführungsbeispiels ist die metallisch verbundene Konstruktion ein Wärmetauscher, insbesondere zur Verwendung im Bereich Kraftfahrzeuge.

[0023] Die aus Aluminiumblechen a, b vorgefertigten Komponenten, wie Rippen und Rohre werden zum Netz des Wärmetauschers zusammengelegt. Der Wärmetauscher wird zum Löten vorbereitet. So vorbereitete Wärmetauscher werden auf ein endloses Transportband oder dergleichen Transporteinrichtung gelegt, das die verschiedenen Temperaturbereiche eines CAB-Lötofens durchläuft. Die Löttemperatur liegt bei solchen Wärmetauschern etwa im Bereich von 577–610°C. Beispielsweise bei einem CAB-Lötofen ist die Transportgeschwindigkeit zum Löten von Wärmetauschern aus dem Stand der Technik, also solchen, die Wanddicken von 0,20 mm oder mehr aufweisen, etwa 0,5–1,5 m/min. Diese hängt auch zum Beispiel von der eingesetzten Gesamtmasse der Konstruktionen und von anderen Parametern, wie beispielsweise von der Länge des Lötofens ab. Auch die Aluminiumbleche, die zur Herstellung solcher Wärmetauscher aus dem Stand der Technik gebraucht werden, sind bereits mit einer Lotschicht und gegebenenfalls auch mit einer Korrosionsschutzschicht versehen. (nicht gezeigt)

[0024] Wie aus der [Fig. 1](#) zu sehen ist, die ein erstes erfindungsgemäßes Ausführungsbeispiel zeigt, weist das Aluminiumblech a eine Kernschicht 4 auf. Der Titangehalt in dieser Kernschicht 4 beträgt in den Ausführungsbeispielen etwa 0,20 Gew. % oder etwas mehr. Dieser Anteil ist hoch genug, um Schichten 6 unterschiedlichen Titangehalts in der Kernschicht 4 des Aluminiumbleches a auszubilden. Die titanreichen Schichten 6 weisen demnach einen höheren Titananteil auf als derjenige in den übrigen Schichten der Kernschicht 4. Diese Struktur ergibt sich durch den Gieß – und anschließenden Walz – sowie Wärmebehandlungsprozess bei der Aluminiumblechherstellung. Mittels Walzplattierens werden eine Korrosi-

onsschutzschicht 3 und eine Lotschicht 2 aufgebracht. Das Aluminiumblech a ist zu einem Flachrohr geformt worden, (nicht gezeigt) wobei a1 die Außenseite und a2 die Innenseite des Flachrohrs darstellen soll. Wie zu sehen ist, wurde in diesem Ausführungsbeispiel lediglich die Außenseite a1 mit der Korrosionsschutzschicht 3 und mit der Lotschicht 2 versehen. Die Innenseite a2 bleibt in diesem Ausführungsbeispiel blank. Das andere Aluminiumblech b wurde wellenartig verformt und stellt eine Rippe dar. Durch diese Rippe strömt beispielsweise Kühlluft hindurch. Der Werkstoff des anderen Aluminiumbleches b ist unedler ausgebildet als die nach dem Lötten (Fig. 2) aus der Lotschicht 2 gebildete Aluminium Alpha-Phasen Schicht 2', welche wiederum unedler ist als die walzplattierte Korrosionsschutzschicht 3 am Aluminiumblech a. Die Korrosionsschutzschicht 3 ist wiederum unedler als die sich beim Lötten durch Siliziumdiffusion ausbildende Diffusionsschicht 5. Die Siliziumdiffusion führt zu Manganausscheidungen, die den Werkstoff unedler machen. Die Diffusionsschicht 5 ist somit unedler als der mit titanreichen Schichten 6 ausgebildete Kern 4.

[0025] Die Fig. 3 und Fig. 4 zeigen ein derzeit bevorzugtes Ausführungsbeispiel, bei dem, im Unterschied zu den Fig. 1 und Fig. 2, auch die Innenseite a2 des Flachrohrs mit einer Korrosionsschutzschicht 3 versehen ist, die ebenfalls mittels Walzplattierens aufgebracht wird. Es befindet sich ferner eine weitere Lotschicht 2 auf der Korrosionsschutzschicht 3. Das Flachrohr besitzt als nächsten Unterschied zu den Fig. 1 und Fig. 2 einen Inneneinsatz, welcher aus einem weiteren Aluminiumblech c hergestellt und ebenfalls wellenartig verformt worden ist. Die erwähnte Lotschicht 2 könnte sich auch am weiteren Aluminiumblech c befinden. Das weitere Aluminiumblech c sollte ebenfalls unedler sein als das Aluminiumblech a und/oder unedler als die sich beim Lötten aus der Lotschicht 2 ausbildende Aluminium Alpha-Phasen Schicht 2'. Es könnte in seiner Zusammensetzung etwa dem Aluminiumblech b entsprechen. Auch die Dicke des weiteren Aluminiumbleches c entspricht dem Aluminiumblech b und liegt somit etwa im Bereich von 0,03-0,09 mm. Das Aluminiumblech a hingegen besitzt im Ausführungsbeispiel eine Dicke von etwa 0,10 mm.

[0026] Die Konstruktionen werden lötgerecht vorbereitet, wobei wenigstens an der Außenseite a1 auch ein nicht korrosives Flussmittel zum Einsatz kommt. An der Innenseite a2 kann auf den Einsatz von Flussmittel verzichtet werden. Von den Erfindern wurde festgestellt, dass dort auch ohne die Verwendung von Flussmitteln durch Zusätze von Mg und/oder Lithium zur Lotschicht, Wellblech oder Kernmaterial qualitätsgerechte Lötverbindungen entstehen.

[0027] Die Erfinder haben nun ferner festgestellt, dass der Korrosionsschutz, dessen Bedeutung bei

Wärmetauschern mit sehr geringen Wanddicken sich noch wesentlich erhöht, weiter verbessert wird, wenn die Lötzeit, also die Zeit, in der die Wärmetauscher den Lötzyklus durchlaufen, verkürzt wird. Es wurde gefunden, dass beispielsweise eine Verkürzung von 10% bereits Wirkungen zeigt, die in die richtige Richtung weisen. Bessere Ergebnisse liegen vor, wenn die Lötzeit etwa um die Hälfte verkürzt wird. Die exakte Einwirkungsdauer wird vor Beginn des Lötens experimentell ermittelt und festgelegt, indem mittels mit späteren Serienprodukten identischen Mustern das Temperaturprofil festgelegt wird. (know-how, Trial and Error-Methode) Die Verkürzung der Lötzeit wurde in einem Ausführungsbeispiel durch die Erhöhung der Transportgeschwindigkeit auf beispielsweise 1,5–4,0 m/min oder mehr bewerkstelligt. Mit anderen Worten, die Verweilzeit der Wärmetauscher im Lötöfen wurde um etwa 50 % reduziert. Dadurch wird bewirkt, dass die Diffusionstiefe 5 von Silizium Si aus der AlSi-Lotschicht in das Innere des Aluminiumbleches a hinein deutlich reduziert wird. Die Fig. 2 und Fig. 4 und sollen das verdeutlichen, in denen die gestrichelten Pfeile die Diffusion von Silizium anzeigen sollen. Die Diffusionstiefe 5 liegt bei etwa 50 µm oder auch deutlich darunter. Zum Aufzeigen dieses Sachverhaltes dient auch die graphische Darstellung gemäß der Fig. 5. Die gestrichelte Kurve zeigt den Verlauf der Diffusionstiefe 5 des Siliziums gemäß der Erfindung an, während die durchgezogene Kurve den Verlauf der Diffusionstiefe 5 gemäß dem Stand der Technik darstellen soll.

[0028] Die Fig. 6 zeigt einen deutlich vergrößerten Ausschnitt aus einem Wärmetauscher, der Flachrohre a aufweist, dazwischen angeordnete Weltrippen b und auch Inneneinsätze c, die in den Flachrohren vorhanden sind. (nicht zu sehen) An den Enden der Flachrohre a befinden sich Sammelräume, um ein Medium in die Flachrohre a ein – bzw. ausleiten zu können, die nicht gezeichnet wurden. Ein anderes Medium, meistens Kühlluft, strömt vertikal zur Bildebene durch die Rippen b. Die Konstruktion ist gemäß dem Herstellungsverfahren hergestellt worden.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung von metallisch verbundenen Konstruktionen, wie beispielsweise von Wärmetauschern, die aus extrem dünnen Aluminiumblechen (a, b) mittels Umformverfahren hergestellt, dann zusammengesetzt und schließlich verbunden werden, wobei wenigstens eines der Aluminiumbleche (a, b) eine Kernschicht (4) und an einer oder an beiden Seiten eine Korrosionsschutzschicht (3) und an wenigstens einer Seite eine AlSi-Lotschicht (2) aufweist, wobei das Verfahren die Herstellung der Aluminiumbleche (a, b) und das Lötten der Konstruktionen umfasst, wobei das Lötten vorzugsweise ein CAB-Lötverfahren ist, bei dem die Konstruktionen mittels einer Transporteinrichtung durch

den Lötöfen, in dem eine Schutzgasatmosphäre vorhanden ist, transportiert werden,

dadurch gekennzeichnet, dass die einen Aluminiumbleche (a) mit einer Kernschicht (4) mit einem Titan-gehalt (Ti 0,10-0,30 Gew. %) versehen werden, der hoch genug ist, um titanreiche Schichtungen (6) in der Kernschicht (4) auszubilden, dass die anderen Aluminiumbleche (b) mit einer solchen Legierung ausgebildet werden, dass sie sich anodisch (unedler) zu einer aus der Lotschicht (2) gebildeten Aluminium-Alpha-Phasen-Schicht (2') verhalten, dass diese Aluminium-Alpha-Phasen-Schicht (2') mit einem anodischen elektrochemischen Potential zu der auf einem Aluminiumblech (a, b) ausgebildeten Korrosionsschutzschicht (3) versehen wird, die wiederum unedler ausgebildet wird als die mit der titanreichen Schichtung (6) versehene Kernschicht (4), und dass die Zeit, in der sich die Konstruktionen im Lötzyklus befinden, verkürzt wird, um die Diffusion von Silizium (Si) zu behindern.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die einen Aluminiumbleche (a) die Rohre sind und die anderen Aluminiumbleche (b) sind Rippen oder dergleichen, die zwischen den Rohren (1) angebracht werden.

3. Verfahren nach den Ansprüchen 1 und 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Dicke (D) der einen Aluminiumbleche (a) etwa 0,08 mm–0,15 mm beträgt und die Dicke (d) der anderen Aluminiumbleche (2) etwa 0,03-0,09 mm ist.

4. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Potentialunterschied zwischen der Korrosionsschutzschicht (3) und der Kernschicht (5) dadurch erreicht wird, dass der Kernschicht (5) Kupfer (Cu) und Magnesium (Mg) hinzugefügt werden.

5. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Diffusion von Si dadurch unterbunden wird, dass die Verweilzeit der Konstruktionen im Lötzyklus dadurch verkürzt wird, dass beispielsweise die Transportgeschwindigkeit der Transporteinrichtung erhöht wird.

6. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Legierung des anderen Aluminiumbleches (b) entweder Zink hinzugefügt wird oder der Kupfergehalt auf 0,1 Gew. % begrenzt wird, um sie anodisch zur Korrosionsschutzschicht (3) zu machen und/oder zur Lotschicht (2).

7. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass eine elektrochemische Spannungspotentialdifferenz von etwa 30 mV zwischen den Schichten bereitgestellt wird.

8. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die titanreichen Schichtungen (6) der Kernschicht (4) mittels Gießen, Walzen, und/oder Wärmebehandlung erzeugt werden, sodass sich nach dem Löten elektrochemisch sich differenzierende Schichten ausbilden.

9. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Korrosionsschutzschicht (3) und die Lotschicht (2) mittels Walzplattierens auf wenigstens einem Aluminiumblech (a, b) aufgebracht werden.

10. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Diffusionstiefe (5) des Siliziums bei maximal 100 µm bevorzugt im Bereich von 50 µm oder darunter liegt.

11. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass weitere Aluminiumbleche (c) vorgesehen und als Inneneinsatz für die Flachrohre (a) ausgebildet werden.

12. Wärmetauscher, bestehend aus Rippen und Rohren, die aus Aluminiumblechen (a, b) hergestellt, zusammengefügt und gelötet werden, wobei die Bleche eine Dicke von 0,03-0,15 mm aufweisen, dadurch gekennzeichnet, dass der Wärmetauscher gemäß wenigstens einem der Verfahrensansprüche herstellbar ist.

13. Wärmetauscher nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, dass weitere Aluminiumbleche c vorgesehen sind, die Inneneinsätze der Rohre darstellen.

Es folgen 5 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

FIG. 1

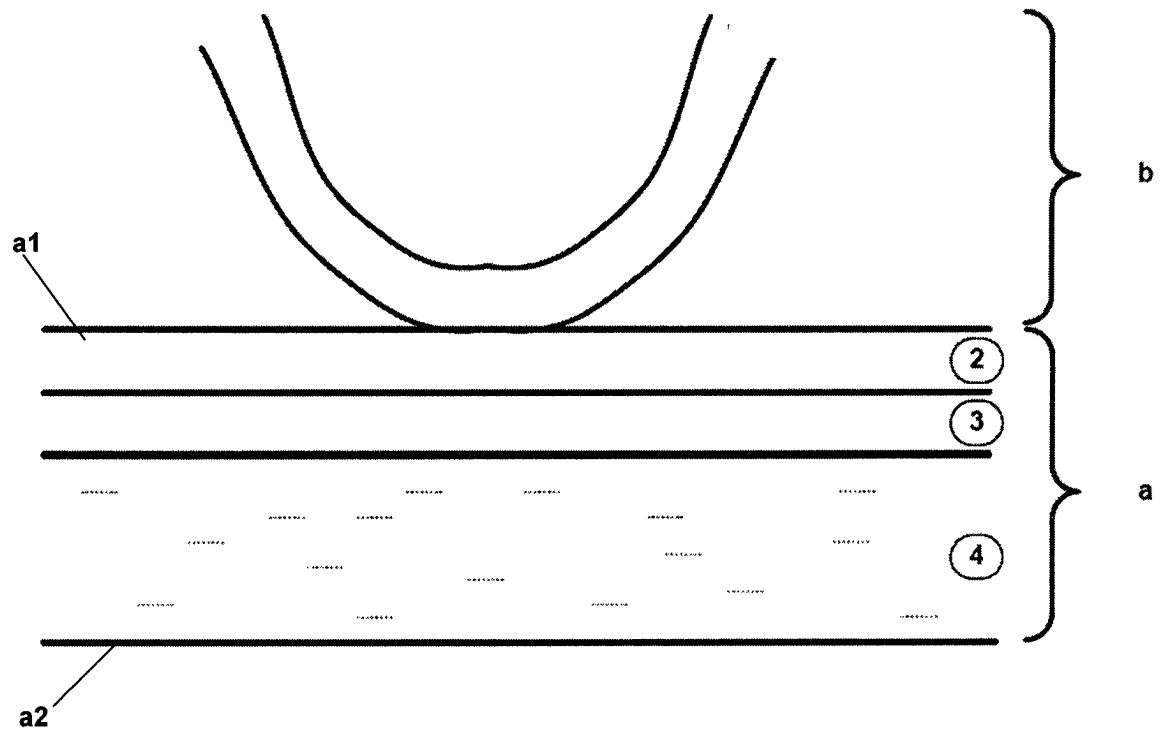


FIG. 2

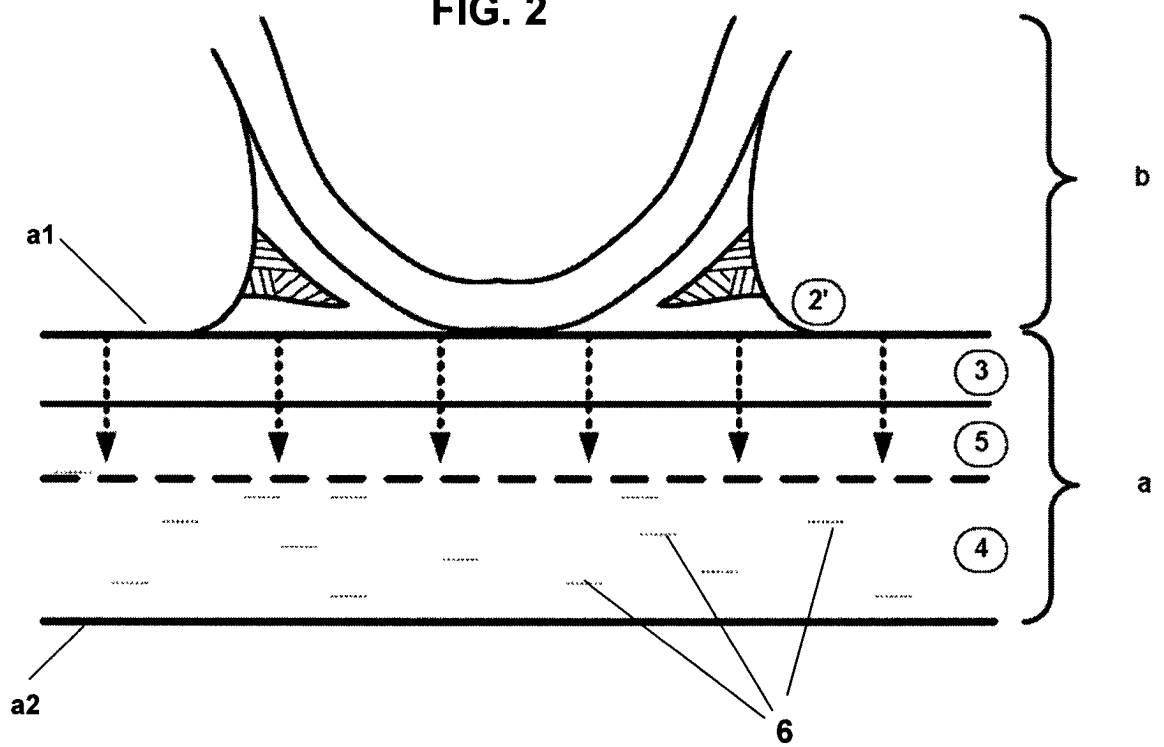


FIG. 3

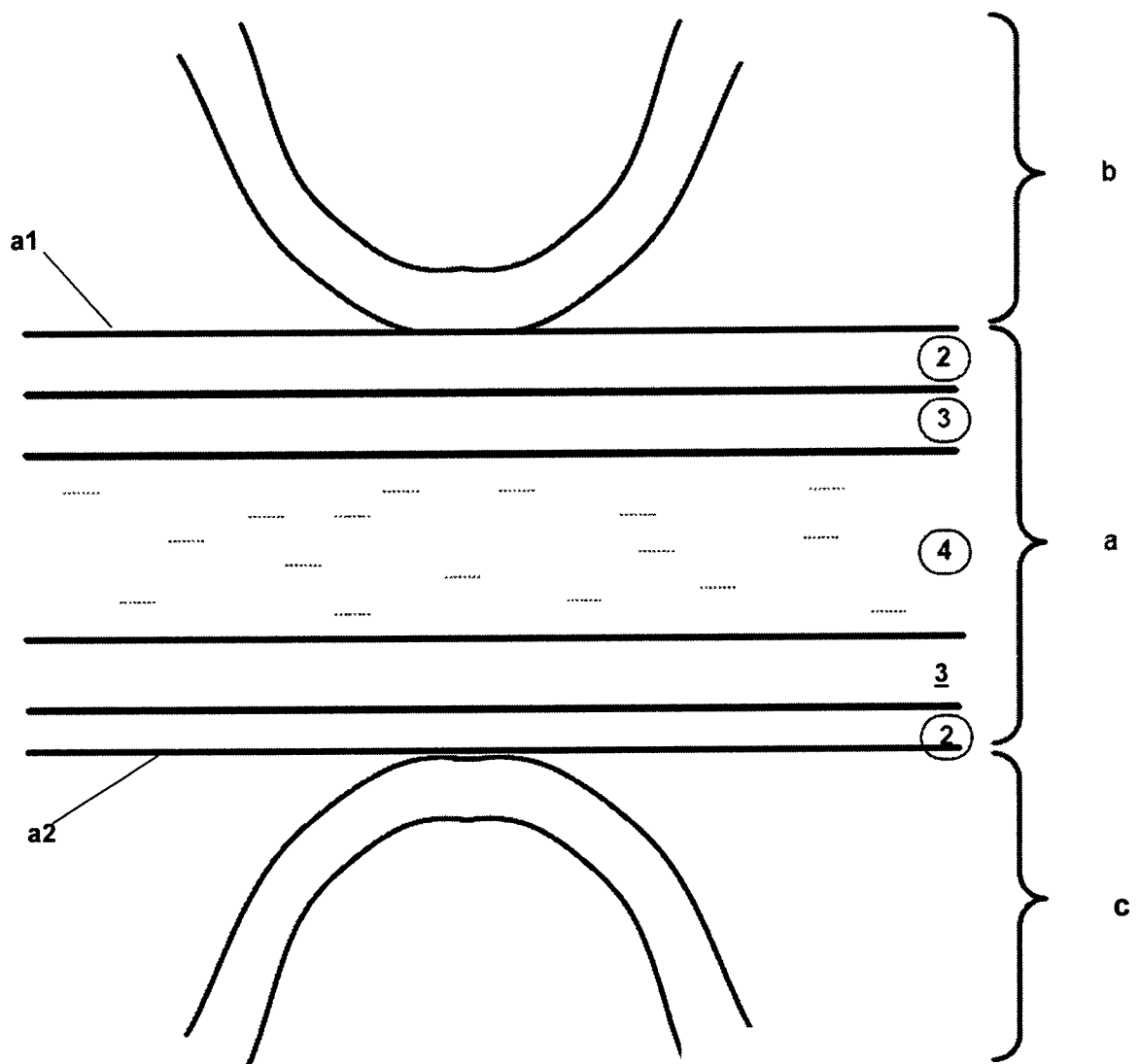


FIG. 4

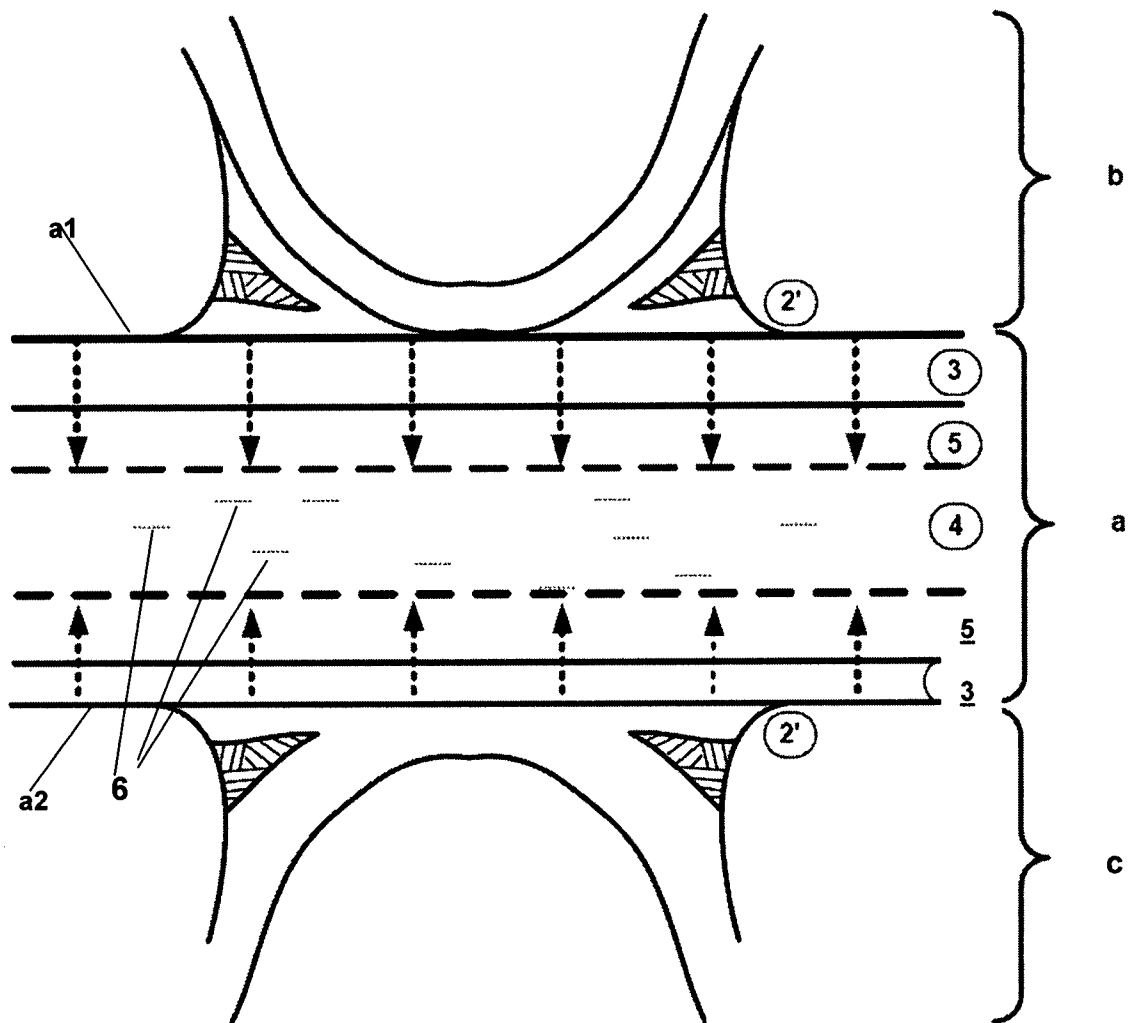


FIG. 5

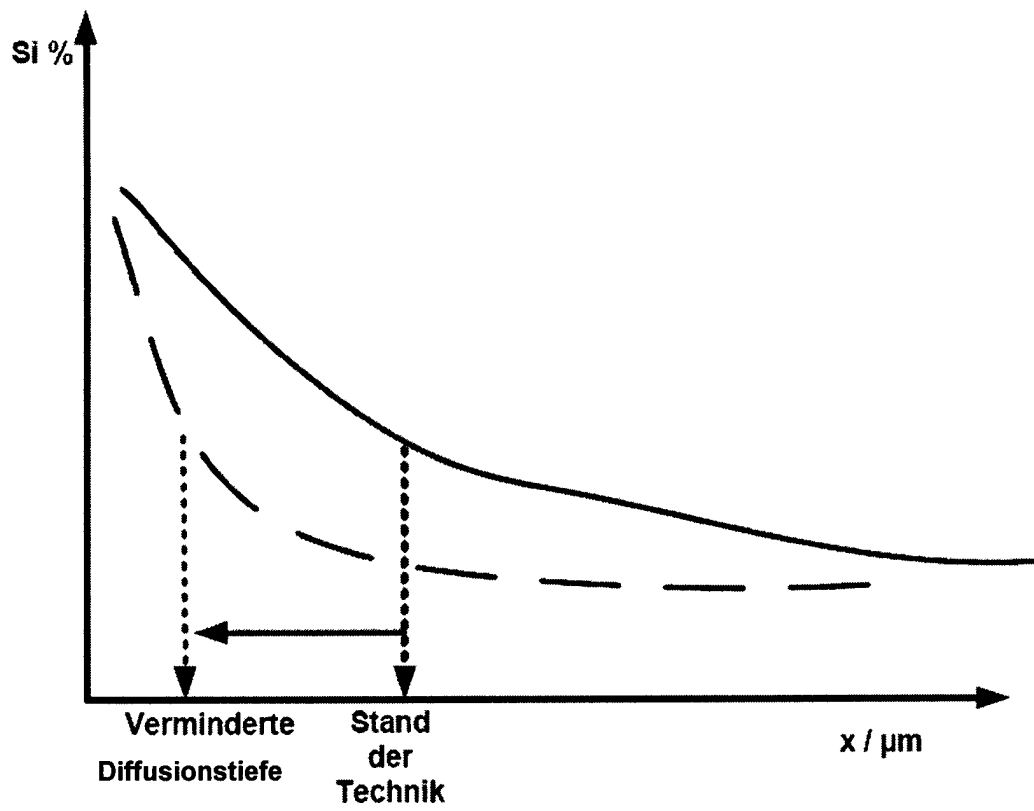


FIG. 6

