



19 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

12 Patentschrift
10 DE 44 26 627 C 2

51 Int. Cl.⁶:
B 22 F 7/04
B 22 F 3/10
B 22 F 3/18
C 22 C 1/08

21 Aktenzeichen: P 44 26 627.8-24
22 Anmeldetag: 27. 7. 94
43 Offenlegungstag: 2. 2. 95
45 Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: 25. 9. 97

DE 44 26 627 C 2

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

66 Innere Priorität:

P 43 25 539.6 29.07.93

73 Patentinhaber:

Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der
angewandten Forschung e.V., 80636 München, DE

72 Erfinder:

Baumeister, Joachim, Dipl.-Phys., 28777 Bremen,
DE; Banhart, John, Dr.rer.nat., 28201 Bremen, DE;
Weber, Markus, Dipl.-Ing., 28717 Bremen, DE

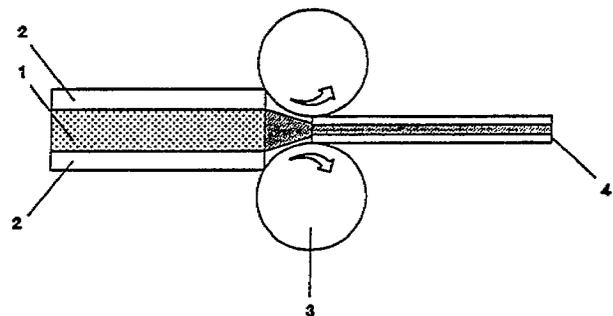
56 Für die Beurteilung der Patentfähigkeit
in Betracht gezogene Druckschriften:

DE 40 18 360 C1
DE-AS 12 96 317
DE 41 01 630 A1

54 Verfahren zur Herstellung eines metallischen Verbundwerkstoffes

57 Verfahren zur Herstellung von metallischen Verbundwerkstoffen aus einer oder mehreren Deckschichten aus massivem Material und aus einem zwischen diesen befindlichen Kern, der durch ein oder mehrere poröse Metallwerkstoffe gebildet ist, mit folgenden Schritten:

- Herstellung des aufschäumbaren Kerns durch Verdichten einer Mischung aus mindestens einem Metallpulver und mindestens einem gasabspaltenden Treibmittelpulver durch Druck- und Temperatureinfluß derart, daß die Metallteilchen sich in einer festen Verbindung untereinander befinden und einen gasdichten Abschluß für die Gasteilchen des Treibmittels bilden,
- Oberflächenbehandlung des hergestellten Kernes und der Deckschichten, die als Metallzuschnitte vorliegen,
- Stapeln des zugeschnittenen Kernes und der damit zu verbindenden Deckschichten zu einem Paket,
- Kalt- oder Warmwalzen oder Diffusionschweißen des Pakets mit einem Umformgrad, bei dem eine innige Verbindung zwischen den Deckschichten und dem Kern entsteht,
- Formgebung des entstandenen Verbundes durch Pressen, Biegen oder Tiefziehen,
- Erwärmung des so hergestellten Verbundes durch ein thermisches Verfahren, in dem die Temperaturführung so gewählt ist, daß ein Aufschäumen des Kerns ausgelöst wird, die Schmelztemperatur der Deckschicht aber nicht erreicht wird.



DE 44 26 627 C 2

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung eines metallischen Verbundwerkstoffes.

Metallische Verbundwerkstoffe, insbesondere Verbundwerkstoffe, die aus einem porösen Metallkern und Deckschichten aus massivem Metall bestehen, sind für viele technische Anwendungen von großer Bedeutung, da sie bei einem geringen Gewicht verbesserte Festigkeits- und Steifigkeitseigenschaften aufweisen. Auch gegenüber Werkstoffen aus porösem Metallwerkstoff haben sie den großen Vorteil, daß die Krafteinleitung in einen mit Deckschichten versehenen Körper einfach vorgenommen werden kann: bei der Krafteinleitung in einen Schaumkörper besteht oft bei punktueller Einwirkung der Kraft die Gefahr des Auftretens lokaler, irreversibler Deformationen des Schaumkörpers. Außerdem bieten Werkstoffe, welche eine glatte metallische Oberfläche aufweisen bessere Möglichkeiten der Oberflächenbeschichtung bzw. Oberflächenbearbeitung (z. B. Lackieren). Außerdem sind solche Oberflächen gas- und flüssigkeitsdicht. Derartige Verbundwerkstoffe wurden bisher mittels einer Klebeverbindung zwischen den Deckschichten und dem porösen Kern hergestellt. Beid- oder einseitig mit Aluminium oder Stahlblechen beklebte Aluminiumschaumplatten sind bekannt. Nachteilig bei diesen Verbindungen ist jedoch ihre geringe Temperaturbeständigkeit. Dadurch kommt ein Hauptvorteil der Verwendung von Metallschäumen, nämlich ihre höhere Temperaturbeständigkeit gegenüber Schäumen aus organischen Polymeren, nicht zum Tragen, da die Grenzen der Temperaturbelastbarkeit durch den eingesetzten Kleber gesetzt sind.

Aus der DE 41 01 630 ist ein Verfahren zur Herstellung von metallischen Verbunden aus porösen Werkstoffen bekannt. Danach wird im Verfahren der Koextrusion von einem aufzuschäumenden Werkstoff, der in Form einer Mischung aus Metallpulver und Treibmittel vorliegt, ein Verbundwerkstoff mit einem massiven Material hergestellt, bei dem ein aufschäumbarer Kern mit einer äußeren Schicht aus massivem Material umgeben ist. In einem anschließenden Schritt wird daraus ein Verbund aus Schaum und massivem Werkstoff hergestellt. Die Deckschicht und der Kern des Verbundwerkstoffes müssen aus Werkstoffen bestehen, die vergleichbare Umformeigenschaften haben, z. B. verschiedene Al-Legierungen.

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, die Verfahren zur Herstellung eines Verbundwerkstoffes mit einem porösen, aufgeschäumten, zwischen zwei oder mehreren Deckschichten angeordneten Kern, das auch die Herstellung von dreidimensionalen Gebilden aus Werkstoffen mit unterschiedlichen Umformeigenschaften erlaubt, anzugeben.

Diese Aufgabe ist durch das im Anspruch 1 angegebene Verfahren gelöst. Die Unteransprüche stellen vorteilhafte Weiterbildungen dar.

Die Herstellung des erfindungsgemäßen metallischen Verbundwerkstoffes aus Metallschaum und massiven Metalldeckschichten durch Walzplattieren besteht aus folgenden Verfahrensschritten:

1. Mischen von einem oder mehreren Metallpulvern mit einem oder mehreren Treibmitteln und gegebenenfalls einem oder mehreren struktur- oder eigenschaftsverändernden Stoffen wie Keramikpartikeln oder Metallfasern. Verdichten der Pulvermischung durch axiales Heißpressen, heiß-

sostatisches Pressen, Strangpressen, Walzen oder durch andere Verfahren zu aufschäumbarem Halbzeug.

2. Zuschnitt des Halbzeugs auf die gewünschten Abmessungen.

3. Auswahl und Zuschnitt der Metallteile, die mit dem Halbzeug metallisch verbunden werden sollen.

4. Oberflächenbehandlung der unter Punkt 2 und 3 vorbereiteten Halbzeug- und Metallteilzuschnitte.

Es kommen mechanische und chemische Behandlungsmethoden in Betracht. Unter den in Frage kommenden mechanischen Methoden sind Schleifen, Bürsten, Schmirgeln und Sandstrahlen, unter den chemischen Methoden sind Behandlung mit Laugen, Säuren, Elektrolyten, organischen Lösungsmitteln etc.

5. Stapeln des zugeschnittenen Halbzeugteils und der damit zu verbindenden Metallteile zu einem Paket.

6. Kalt- oder Warmwalzen des Pakets mit adäquatem Umformgrad.

7. Gegebenenfalls Formgebung des entstandenen Verbundes durch Pressen, Biegen, Tiefziehen, Hydroumformen etc.

8. Aufschäumen des Verbundes aus aufschäumbarem Halbzeug und konventionellem massiven Material durch Erwärmung auf eine Temperatur, die hoch genug ist, um bei dem aufschäumbaren Material eine Vergrößerung des Volumens und damit eine Porenentstehung hervorzurufen, die aber nicht zu einem Schmelzen der konventionellen Metallteile führt.

Das so beschriebene Verfahren kann auch kontinuierlich oder halbkontinuierlich durchgeführt werden. Insbesondere können Bleche, die z. B. von Coils abgewickelt werden, kontinuierlich mit der Kernlage versehen werden. Auch der erforderliche Schäumvorgang kann kontinuierlich, z. B. in einem Durchlaufofen erfolgen. Dadurch, daß zwischen den miteinander verbundenen Schichten des Verbundwerkstoffes und dem porösen Kern metallische Bindung besteht, entspricht die Temperaturbelastbarkeit dem Verbundwerkstoffes der Temperaturbelastbarkeit der verwendeten Metalle.

In Fig. 1 ist schematisch das Herstellungsverfahren dargestellt, in Fig. 2 ist der in diesem Verfahren hergestellte Verbundwerkstoff dargestellt. Ein aus einem aufschäumbaren Halbzeug 1 und zwei Deckschichten 2 aus metallischem Werkstoff bestehender Block wird zwischen zwei Walzen 3 mit dem gewünschten Umformgrad zu einem Verbund 4 mit der gewünschten Dicke gewalzt. Die innere Struktur des Verbundes bzw. des so entstandenen Verbundwerkstoffes ist in Fig. 2 dargestellt. Zwischen den beiden Deckschichten 2 befindet sich das aufschäumbare Halbzeug 1, wobei alle drei Schichten miteinander verbunden sind. Nach einem anschließenden Aufschäumen des porösen Kernes 1 durch Erwärmung auf eine Temperatur, bei der eine Vergrößerung des Volumens und damit eine Porenentstehung hervorgerufen wird, entsteht ein poröser metallischer Kern 5, der durch die Deckschichten 2 umgeben ist. Die Aufschäumtemperatur ist so gewählt, daß sie vorteilhafterweise unterhalb der Schmelztemperatur des metallischen Werkstoffes der Deckschichten liegt.

In der Fig. 3 ist der Herstellungsvorgang eines Verbundes durch Diffusionsschweißen (Beispiel 5) dargestellt.

Beispiel 1

Aluminiumpulver wird mit 12 Gewichtsprozent Siliziumpulver und 0,5 Gewichtsprozent Titanhydridpulver vermischt. Fünf Kilogramm dieser Mischung werden in einem Ofen auf 400°C erwärmt und in den auf 450°C vorgewärmten Rezipienten einer Strangpresse gefüllt. Das Material wird zu einem Strang von 5 × 100 mm Querschnitt und ca. 3 Meter Länge verpreßt. Ein Stück der Länge 300 mm wird abgetrennt. Zwei Al 99.5-Bleche der Dimensionen 300 × 100 × 2,5 mm werden zugeschnitten. Die beiden Oberflächen des stranggepreßten Aluminium-Silizium-Halbzeugs und jeweils eine Oberfläche der Aluminiumbleche werden mit einem Schleifpapier der Körnung 240 angeschmirlgelt und anschließend entstaubt. Das AlSi12-Halbzeug wird zwischen die Aluminiumbleche gelegt, wobei die, wie oben beschrieben, behandelten Oberflächen einander zugewandt sind. Die so gestapelten Bleche werden in einen auf 500°C vorgewärmten Kammerofen gelegt und angewärmt. Anschließend wird das Paket dem Ofen entnommen und in einem Walzschritt von 10 mm Ausgangsdicke auf eine Dicke von 6,5 mm gewalzt. Die Walzgeschwindigkeit beträgt dabei etwa 0,2 m/s. Es ist darauf zu achten, daß zwischen der Entnahme des Pakets aus dem Ofen und dem Walzen möglichst wenig Zeit vergeht, damit nur wenig Abkühlung der Bleche stattfinden kann. Nach dem Walzen liegt ein Verbund aus Aluminium-Silizium-Halbzeug und Aluminiumblech vor. Der Verbund wird in einen vorgeheizten Ofen auf eine ebene, ebenfalls vorgeheizte Unterlage, vorzugsweise aus einem feuerfesten Keramikmaterial, gelegt. Nach ca. 6 Minuten beginnt der aus aufschäumbarem AlSi12 (Schmelzpunkt 577°C) bestehende Kern des Verbundes zu expandieren und entwickelt durch Zersetzung des einkompaktierten Treibmittels eine hochporöse Struktur. Die aus reinem Aluminium bestehenden Deckschichten (Schmelzpunkt 660°C) schmelzen nicht, solange der Expansionsprozeß des Aluminium-Silizium-Kernes anhält. Nachdem der gesamte Verbund auf etwa seine fünffache Dicke expandiert ist, wird er dem Ofen entnommen und an Luft auf Raumtemperatur abgekühlt. Die entstehende Verbundstruktur Aluminiumblech/Aluminium-Silizium-Schaum/Aluminiumblech hat eine integrale Dichte von 0,85 g/cm³.

Beispiel 2

Aluminiumpulver wird mit 4 Gewichtsprozent Kupferpulver und 0,6 Gewichtsprozent Titanhydridpulver vermischt. 500 Gramm dieser Mischung werden bei 450°C zu einer Scheibe von 150 mm Durchmesser und 10 mm Dicke verpreßt. Die Scheibe wird zu einem Blech von 2 mm Dicke ausgewalzt, aus dem eine Platine der Abmessungen 150 × 150 mm zugeschnitten wird. Zwei Bleche aus St37-Stahl von 1 mm Dicke werden auf die gleichen Abmessungen zugeschnitten. Die beiden Oberflächen des aufschäumbaren Halbzeugs und je eine Oberfläche der Stahlbleche werden mit einem Schleifpapier der Körnung 240 geschmirlgelt und anschließend entstaubt. Das aufschäumbare Aluminium wird zwischen die Stahlbleche gelegt, wobei die behandelten Oberflächen einander zugewandt sind. Die so gestapelten Bleche werden in einem Kammerofen auf 450°C erwärmt und anschließend warm gewalzt. Dabei reduziert sich die Dicke des Pakets von 5 auf 3 mm. Die Bleche sind nach dem Walzen fest miteinander verbunden. Zum Aufschäumen wird der Verbund in einen auf

850°C vorgewärmten Kammerofen gelegt. Nach ca. 4 Minuten wird der aus Aluminium bestehende Kern des Verbundes weich und entwickelt durch die Zersetzung des Treibmittels seine schaumige Konsistenz. Nach Expansion des gesamten Verbundes auf ca. 10 mm Dicke wird die Probe dem Ofen entnommen und am Luftstrom abgekühlt, wobei der Metallschaum erstarrt und fest wird. Die entstandene Verbundstruktur St37/AlCu4-Schaum/St37 hat eine integrale Dichte von 2,1 g/cm³.

Beispiel 3

Aluminiumpulver wird mit 1 Gewichtsprozent Siliziumpulver und 0,5 Gewichtsprozent Titanhydridpulver vermischt. 30 Kilogramm dieser Mischung werden mittels einer Strangpresse zu einem Flachprofil des Querschnittes 6 × 150 mm verpreßt. Anschließend wird das Halbzeug (wie im Beispiel 2) mit Stahlblechen der Dicke 1 mm plattiert. Der entstandene Verbund wird durch Tiefziehen zu einem Halbrohr umgeformt. Das Verbundhalbrohr wird in einen auf 750°C vorgeheizten Ofen gelegt und auf diese Weise der Schäumvorgang ausgelöst. Resultat ist ein dreidimensional geformtes Sandwich.

Beispiel 4

Aluminiumpulver wird mit 12 Gewichtsprozent Siliziumpulver und 0,6 Gewichtsprozent Titanhydridpulver vermischt. 30 Kilogramm dieser Mischung werden mittels einer Strangpresse zu einem Flachprofil des Querschnittes 10 × 100 mm verpreßt. Ein Aluminiumblech der Dicke 2,5 mm (Legierung 6061) wird auf die Maße des aufschäumbaren Halbzeugs zugeschnitten. Nach einer Oberflächenbehandlung analog zu der in Beispiel 1 und 2 beschriebenen wird das aufschäumbare Material auf einer Seite durch Walzen in einem Walzstich mit dem Aluminiumdeckblech plattiert. Der entstandene Verbund hat dabei nach dem Plattieren eine Dicke von 6,5 mm. Der Verbund wird zugeschnitten und danach mit der Deckschichtseite nach unten in eine verschließbare Kastenform aus hitzebeständigem Stahlblech gelegt, die eine Höhe von 22 mm aufweist. Die Form wird geschlossen und in einen auf 750°C vorgeheizten Kammerofen gestellt. Nach 9 Minuten beginnt die Expansion des Halbzeugs und die Füllung der Form mit Schaum. Durch die schnelle Erwärmung bedingt entwickelt sich eine feine Porenstruktur. Außerdem wird ein Aufschmelzen der Deckschichten durch Diffusion von Silizium vom schäumenden Material in die Deckbleche verhindert. Nachdem die ganze Form mit Al-Schaum gefüllt ist, wird die Form dem Ofen entnommen und an der Luft abgekühlt. Resultat ist ein Schaumteil, das auf einer Seite durch eine massive Deckschicht begrenzt wird und eine Gesamthöhe von 22 mm hat.

Beispiel 5

Aluminiumpulver wird mit 6 Gewichtsprozent Siliziumpulver und 0,6 Gewichtsprozent Titanhydridpulver vermischt. 30 Kilogramm dieser Mischung werden mittels einer Strangpresse zu einer Rundstange von 40 mm Durchmesser verpreßt. Eine konventionelle Aluminiumscheibe (Werkstoff 6061) mit 80 mm Durchmesser und 20 mm Höhe wird mit dem aufschäumbaren Halbzeug durch Diffusionsschweißen axial verbunden. Die zum Diffusionsschweißen nötige Wärme und der

erforderliche Druck werden dadurch erzeugt, daß die Halbzeugstange in schnelle Rotation versetzt und gegen die konventionelle Scheibe gedrückt wird. Dies kann z. B. in einer handelsüblichen Reibschweißmaschine geschehen. Der entstandene Verbund kann in einer zylindrischen Stahlform von 80 mm Innendurchmesser zu einem Verbund aus Aluminium und Aluminiumschaum aufgeschäumt werden, der über die ganze Länge einen Durchmesser von 80 mm aufweist (Fig. 3). Die Prozeßtemperaturen und Zeiten sind mit den in Beispiel 2 genannten vergleichbar.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung von metallischen Verbundwerkstoffen aus einer oder mehreren Deckschichten aus massivem Material und aus einem zwischen diesen befindlichen Kern, der durch ein oder mehrere poröse Metallwerkstoffe gebildet ist, mit folgenden Schritten:

— Herstellung des aufschäumbaren Kerns durch Verdichten einer Mischung aus mindestens einem Metallpulver und mindestens einem gasabspaltenden Treibmittelpulver durch Druck- und Temperatureinfluß derart, daß die Metallteilchen sich in einer festen Verbindung untereinander befinden und einen gasdichten Abschluß für die Gasteilchen des Treibmittels bilden,

— Oberflächenbehandlung des hergestellten Kernes und der Deckschichten, die als Metallzuschnitte vorliegen,

— Stapeln des zugeschnittenen Kerns und der damit zu verbindenden Deckschichten zu einem Paket,

— Kalt- oder Warmwalzen oder Diffusions-schweißen des Pakets mit einem Umformgrad, bei dem eine innige Verbindung zwischen den Deckschichten und dem Kern entsteht,

— Formgebung des entstandenen Verbundes durch Pressen, Biegen oder Tiefziehen,

— Erwärmung des so hergestellten Verbundes durch ein thermisches Verfahren, in dem die Temperaturführung so gewählt ist, daß ein Aufschäumen des Kerns ausgelöst wird, die Schmelztemperatur der Deckschicht aber nicht erreicht wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das Verfahren kontinuierlich oder halbkontinuierlich durchgeführt wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß der Kern aus zwei Werkstoffen hergestellt wird, die unterschiedliche Aufschäumtemperaturen aufweisen.

Hierzu 3 Seite(n) Zeichnungen

- Leerseite -

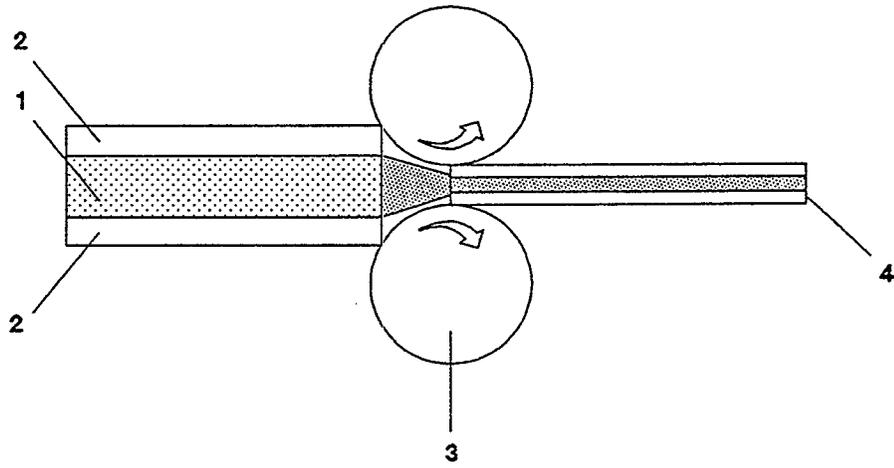


Fig. 1

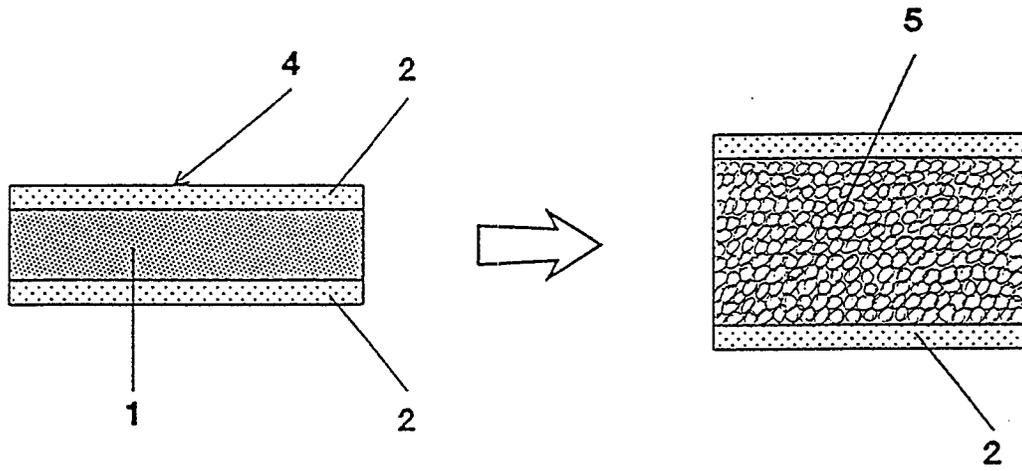


Fig. 2

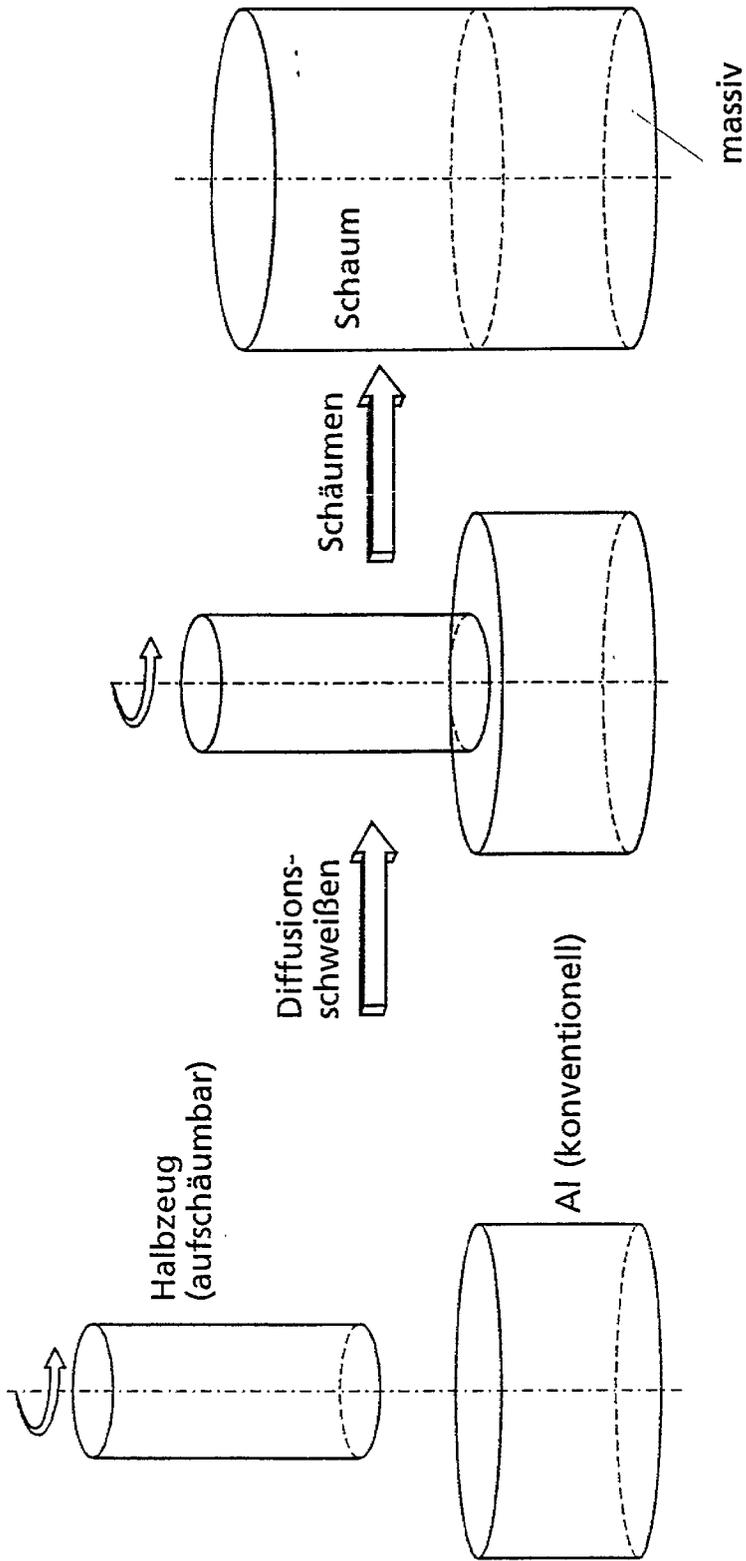


Fig. 3