

(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
15. Juli 2010 (15.07.2010)

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2010/079212 A2

(51) Internationale Patentklassifikation:

B29C 44/44 (2006.01) B29C 44/58 (2006.01)
B29C 44/42 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2010/050151

(22) Internationales Anmeldedatum:
8. Januar 2010 (08.01.2010)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2009 004 386.1
12. Januar 2009 (12.01.2009) DE

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme
von US): **FAGERDALA CAPITAL AB** [SE/SE]; Odel-
bergsvagen 11, S-134 82 Gustavsberg (SE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **BRUNING, Jürgen**
[DE/DE]; Leinagrund 5, 99898 Finsterbergen (DE).

(74) Anwalt: **LIEDTKE, Markus**; Liedtke & Partner, Elisa-
bethstraße 10, 99096 Erfurt (DE).

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL,

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

(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW,
GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG,
ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU,
TJ, TM), europäisches (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE,
DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT,
LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, SE, SI,
SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN,
GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

— ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu
veröffentlichen nach Erhalt des Berichts (Regel 48 Absatz
2 Buchstabe g)

(54) Title: METHOD AND DEVICE FOR PRODUCING MOLDED PARTS FROM PARTICLE FOAMS

(54) Bezeichnung : VERFAHREN UND VORRICHTUNG ZUR HERSTELLUNG VON FORMTEILEN AUS PARTIKEL-
SCHÄUMEN

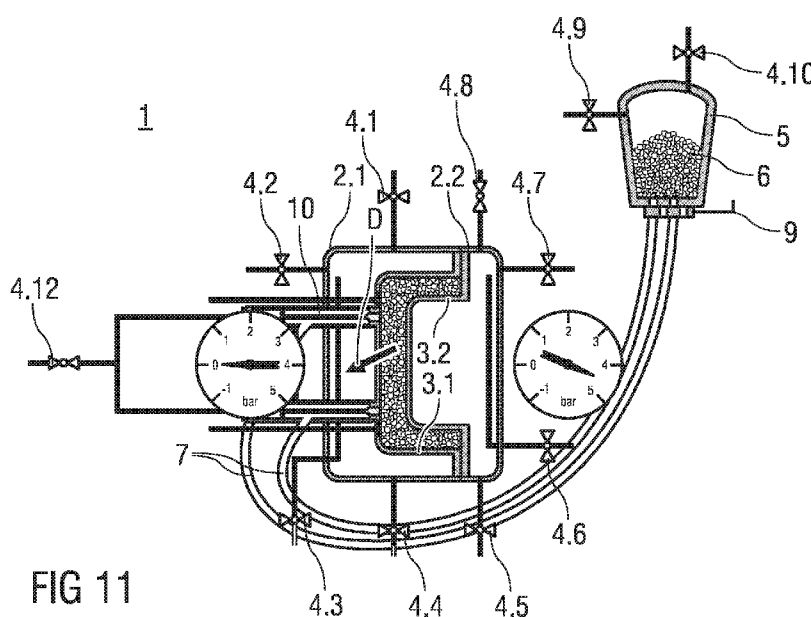


FIG 11

(57) Abstract: The invention relates to a method for producing a molded part (11), wherein a cavity of a mold (3) is filled with foam particles (6) composed of a thermoplastic material. The filled cavity is loaded with hot pressurized steam (D) in order to cause the foam particles (6) to expand, to soften the foam particles (6) and weld them to each other thermoplastically, and to form a thermoplastic surface of the molded part (11) composed of the welded foam particles (6) at a wall of the cavity. The cavity is loaded with steam (D) through at least one valve (4.1, 4.8) in a time-controlled manner at least once in such a way that the steam (D) reaches a plurality of the foam particles (6) as a largely uncondensed, dry steam (D) within a short steam treatment time before the thermoplastic surface of the molded part (11) forms. Energy is fed to the foam particles (6) from the steam (D) so fast that the foam particles (6) first become superficially thermoplastic and only afterwards expand.

(57) Zusammenfassung:

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2010/079212 A2



Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung eines Formteils (11), bei dem eine Kavität eines Formwerkzeugs (3) mit aus einem thermoplastischen Material gebildeten Schaumpartikeln (6) gefüllt wird. Die gefüllte Kavität wird mit unter Druck stehendem heißen Wasserdampf (D) beaufschlagt, um eine Expansion der Schaumpartikel (6) zu bewirken, die Schaumpartikel (6) zu erweichen und miteinander thermoplastisch zu verschweißen und eine thermoplastische Oberfläche des aus den verschweißten Schaumpartikeln (6) gebildeten Formteils (11) an einer Wandung der Kavität auszubilden. Die Beaufschlagung mit Wasserdampf (D) wird über mindestens ein Ventil (4.1, 4.8) zeitgesteuert mindestens einmal so durchgeführt, dass der Wasserdampf (D) als weitgehend unkondensierter, trockener Wasserdampf (D) innerhalb einer kurzen Bedampfungszeit eine Mehrzahl der Schaumpartikel (6) erreicht, bevor die thermoplastische Oberfläche des Formteils (11) sich ausbildet. Den Schaumpartikeln (6) wird aus dem Wasserdampf (D) Energie so schnell zugeführt, dass die Schaumpartikel (6) zuerst oberflächlich thermoplastisch werden und erst anschließend expandieren.

Verfahren und Vorrichtung zur Herstellung von Formteilen aus Partikelschäumen

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung eines Formteils, bei dem eine Kavität eines Formwerkzeugs mit aus einem thermoplastischen Material gebildeten Schaumpartikeln gefüllt wird, wobei die gefüllte Kavität mit unter Druck stehendem heißen Wasserdampf beaufschlagt wird, um eine Expansion der Schaumpartikel zu bewirken, die Schaumpartikel zu erweichen und miteinander thermoplastisch zu verschweißen und eine thermoplastische Oberfläche des aus den verschweißten Schaumpartikeln gebildeten Formteils an einer Wandung der Kavität auszubilden.

Formteilautomaten zur Herstellung von Partikelschaumformteilen sind gewöhnlich mit einer Dampfkammer ausgerüstet, in die über Stellventile Wasserdampf zugeführt wird. In der Dampfkammer ist ein Formwerkzeug mit einer Kavität angeordnet, die mit Schaumpartikeln, beispielsweise in Form kleiner Kügelchen gefüllt wird. Der Wasserdampf fließt über Dampfdüsen durch die Kavität und führt zu einer Verschweißung der darin befindlichen Schaumstoffpartikel. Üblicherweise werden so Schaumstoffformteile aus expandiertem Polypropylen (EPP) und expandiertem Polystyrol (EPS) hergestellt.

Ein derartiger Aufbau bietet die Möglichkeit, im Rahmen einer gestaffelten Maschinengröße unterschiedliche Formwerkzeuge mittels eines Aufspannrahmens in der Dampfkammer zu befestigen. Zum Einsatz kommen gefräste oder gegossene Formwerkzeuge.

Der überwiegende Teil der in Form von Wasserdampf eingesetzten Energie beim Formteilprozess wird zum zyklischen Aufheizen des Werkzeugs und der umgebenden Dampfkammer benötigt und nach jedem Verschweißungsvorgang durch Kühlung abgeführt. Geringere Anteile gehen als Spül- und Übertragungsverluste oder Abstrahlung verloren.

Zur Reduzierung des erheblichen Energieaufwandes zur Bereitstellung des Heissdampfes wurden bereits verschieden Ansätze verfolgt, beispielsweise die Anordnung einer wärmeisolierenden Auskleidung in der Dampfkammer. In der EP 0 666 796 ist eine wärmeisolierende Auskleidung der Werkzeuge offenbart. Nachteilig ist hierbei insbesondere die deutlich verschlechterte Wärmeleitung bei der Kühlung des Formteiles, vor allem aber die Beschränkung des Einsatzbereiches auf expandiertes Polystyrol. Die Beschichtung des Werkzeuges entspricht nicht den Anforderungen der höheren Schweißdrücke und -temperaturen, die bei der Verarbeitung von EPP gefordert werden. EPS wird bei Temperaturen um 110 °C und bei Drücken um 1,5 bar verarbeitet, während EPP entsprechend dem höheren Schmelzpunkt bei ca. 160°C und bei bis zu 7,5 bar verarbeitet wird. Die im Einsatz befindliche Technik verwendet zumeist den beschriebenen Werkzeugaufbau innerhalb einer Dampfkammer. Die Formwerkzeuge müssen dabei auf die Dampfkammerabmessungen angepasst sein.

Während der Energieeinsatz durch die Isolation des Werkzeuges verringert ist, geht die Dampfkammermasse selbst weiterhin in die Wärmebilanz ein. Der in EP 0 666 796 beschriebene Prozess weist jedoch auch auf die Möglichkeit der direkten Dampfzuführung zum Werkzeug hin. Hierbei ist das Werkzeug als konventionelles Werkzeug mit einer Innenbeschichtung aufgebaut. Die Dampfverteilung erfolgt in einem weiteren, vorgeschalteten Dampfverteiler. Der Dampfkammerrahmen ist dabei weithin limitierend für die möglichen Werkzeugabmessungen. Der Dampfverbrauch kann durch die erhöhte Anzahl der Dampfleitungen ebenfalls nicht maßgeblich gesenkt werden. Weiterhin ist eine homogene Durchflutung des Werkzeuges mit Wasserdampf nicht sichergestellt. Eine Kühlung mittels Wasserstrahlkühlung ist bei diesem System nicht mehr möglich. Eine dort beschriebene Kühlung mittels Vakuum ist nur mit EPS möglich. Die erhöhten Kühl- bzw. Stabilisierungszeiten erhöhen die gesamte Taktzeit. Weiterhin ist bei EPP neben der zu hohen mechanischen Belastung beim Bedampfen, eine ausschließliche Kühlung mittels Vakuum durch die geringe Restfeuchte (bezogen auf die gesamt notwendige Temperaturdifferenz von 160°C auf ca. 70°C) nicht möglich.

Für den EPS-Bereich werden insbesondere durch die Firmen Hirsch und Kurtz Maschinen nach dem sogenannten Transfervverfahren angeboten, bei denen Verschweißung und Kühlung der Formteile in jeweils unterschiedlichen Werkzeugen erfolgen. Hierbei werden die Formteile während des Prozesses automatisiert vom Verschweiß- in das Stabilisierwerkzeug übergeben. Das jeweilige Werkzeug mit zugehöriger Dampfkammer muss dabei nicht den gesamten Temperaturwechsel zwischen Verschweißungs- und Entformtemperatur mitmachen, sondern bleibt annähernd auf konstanter Temperatur.

Dieses Verfahren ist ebenfalls auf EPS beschränkt, da andere Partikelschäume nach der Bedampfung bzw. -verschweissung einen hohen Partikelinnendruck, den sogenannten Schaumdruck, aufweisen, der beim zwangsläufigen Öffnen der Form vor der Kühlung zum Aufplatzen des Formteils und der interpartikulären Schweissverbindungen führt.

Aus der DE 10 2004 004 657 A1 ist ein Formteilautomat bekannt, bei dem die Medienverteilung ausschließlich werkzeugseitig erfolgt.

Sämtlichen technischen Ausführungen zur Reduzierung des Energiebedarfes ist gemein, dass diese nur unzureichend den Wirkungsgrad des Formteilprozesses senken. In allen Fällen wird aufgrund des erheblichen Dampfbedarfes bzw. der hohen Dampfantnahmemenge bei nahezu konstantem Druck eine separate, ausreichend große Dampferzeugungseinheit benötigt. Aufgrund der hohen Investitionskosten für einen derartigen Dampferzeuger und -speicher ist eine Formteilmfertigung meist nur bei spezialisierten Formteilschäumern mit mehreren Formteilautomaten vorzufinden.

Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zu Grunde, ein verbessertes Verfahren mit geringerem Energiebedarf und eine verbesserte Vorrichtung zur Herstellung eines Formteils anzugeben.

Die Aufgabe wird erfindungsgemäß gelöst durch ein Verfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 1 und eine Vorrichtung mit den Merkmalen des Anspruchs 14.

Vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung sind Gegenstand der Unteransprüche.

Bei einem erfindungsgemäßen Verfahren zur Herstellung eines Formteils wird mindestens eine Kavität eines Formwerkzeugs mit aus einem thermoplastischen Material gebildeten Schaumpartikel gefüllt. Das Formwerkzeug kann eine oder mehrere Kavitäten umfassen. Die gefüllte Kavität wird mit unter Druck stehendem heißen Wasserdampf beaufschlagt, um eine Expansion der Schaumpartikel zu bewirken, eine Thermoplastizität einer Oberfläche der Schaumpartikel zu bewirken, die Schaumpartikel durch Expansionsdruck miteinander thermoplastisch zu verschweißen, sowie eine thermoplastische Oberfläche des aus den verschweißten Schaumpartikeln gebildeten Formteils an einer Wandung der Kavität auszubilden.

Thermoplastizität ist ein weicher, klebriger Zustand, den einige Stoffe beim Überschreiten einer Erweichungstemperatur erreichen. Die Beaufschlagung mit Wasserdampf wird über mindestens ein Ventil zeitgesteuert, insbesondere bei einem unregelmäßigen Maximaldruck mindestens einmal so durchgeführt, dass der Wasserdampf als weitgehend unkondensierter, trockener Wasserdampf innerhalb einer kurzen Bedampfungszeit eine Mehrzahl der Partikel erreicht, bevor die thermoplastische Oberfläche des Formteils sich ausbildet. Mit trockenem Wasserdampf ist solcher Wasserdampf gemeint, der nur wenig Kondensat enthält und zu einem großen Teil aus gasförmigem Wasser besteht. Dabei wird den Partikeln Energie aus dem Wasserdampf so schnell zugeführt, dass die Partikel zuerst oberflächlich thermoplastisch werden und erst anschließend expandieren. Um den Wasserdampf als weitgehend unkondensierten, trockenen Wasserdampf zuzuführen, muss eine Zuleitung zwischen dem Ventil und der Kavität möglichst kurz sein, damit keine Kondensation des Dampfes eintritt. Vorzugsweise ist diese Zuleitung kürzer als 500 mm. Die Zuführung des Drucks erfolgt unregelmäßig über einen kurzen Bedampfungszeitraum statt druckregelmäßig, wie aus dem Stand der Technik bekannt. Während bei regelmäßigem Druck durch intervallartiges Öffnen und Schließen des Ventils

die Druckverhältnisse in der Zuleitung ein orts- und zeitabhängiges Kondensieren und wieder Verdampfen im Wasserdampf bewirken und damit Energie aus dem Wasserdampf entweicht, wird bei schnellem Energieeintrag in die Schaumpartikel, wie im erfindungsgemäßen Verfahren, ein wesentlich größerer Anteil der Energie zur Bildung des Formteils verwendet. Das bedeutet, dass weniger Energie als Abwärme frei wird, so dass die Herstellungskosten durch geringeren Dampfverbrauch pro Formteil drastisch sinken. Durch die nur kurzzeitige Beaufschlagung der Kavität mit Wasserdampf erwärmt sich auch das Formwerkzeug nicht in dem Maße wie bei Bedampfung mit geregelter Druck über einen längeren Zeitraum. Damit verkürzt sich eine Zykluszeit für die Herstellung des Formteils nicht nur durch die kürzere Bedampfungszeit selbst sondern auch durch die kürzere Zeit, die zum anschließenden Herunterkühlen des Formwerkzeugs erforderlich ist. Eine für das Tempern des Formteils erforderliche Zeit verkürzt sich ebenfalls. Beim Tempern wird durch Kühlen und Stabilisieren ein Innendruck in den Schaumpartikeln abgebaut. Durch das Abkühlen in den Schaumpartikeln enthaltener Flüssigkeit entsteht ein leichtes Vakuum. Da durch die Verwendung von trockenem Wasserdampf weniger Feuchtigkeit in den Schaumpartikeln enthalten ist, kann die Zeit für das Tempern verkürzt werden ohne dass der Formkörper zu sehr schrumpft. Der weitgehend trockene Wasserdampf an den Schaumpartikeln bewirkt, dass die Energie weniger schnell in das Innere der Schaumpartikel vordringt, wodurch die Schaumpartikel zunächst an der Oberfläche thermoplastisch werden und erst anschließend expandieren. Dadurch wird vermieden, dass bei zu früher Expansion der Wasserdampf nicht zu allen Schaumpartikeln gelangt.

Die Zuführung des Dampfes erfolgt insbesondere so kurzzeitig, dass das thermoplastische Material der Schaumpartikel nicht durch Überhitzung zerstört wird.

Vorzugsweise werden Schaumpartikel aus expandierbarem Polystyrol (EPS) und/oder aus expandierbarem Polypropylen (EPP) und/oder aus expandierbarem Polyethylen (EPE) und/oder aus einem anderen expandierbaren Polyolefin verwendet. Weiter können Schaumpartikel aus mindestens einem bioplastischen Material,

insbesondere Stärke, Maisstärke oder anderen nachwachsenden Rohstoffen oder thermoplastisch beschichtete Materialien verwendet werden.

Es können auch Gemische mehrerer der genannten Stoffe verwendet werden. EPP weist eine höhere Expansionsgeschwindigkeit auf als EPS. Der vergleichsweise hohe Druck des Dampfes bewirkt, dass die EPP-Partikel nicht zu sehr expandieren, wenn ihre Oberfläche thermoplastisch ist.

Der für die Bedampfung verwendete Maximaldruck liegt vorzugsweise in einem Bereich von 5 bar bis 10 bar, insbesondere bei etwa 7 bar und entspricht dem unregelmäßigen Vordruck aus einer Vorrichtung für die Erzeugung des Dampfes. Somit entfällt anderenfalls erforderlicher Aufwand für die Druckreduzierung.

Die Bedampfungszeit liegt vorzugsweise zwischen 0,2 s und 3 s, insbesondere bei etwa 1,5 s.

Die Schaumpartikel werden bevorzugt mehrmals von verschiedenen Seiten bedampft (Querbedampfung). Dies hat den Vorteil, dass im Wesentlichen alle Schaumpartikel vom Wasserdampf erreicht werden auch wenn sich auf einer der Seiten bereits eine thermoplastische Oberfläche ausgebildet hat und das Einstromen von Wasserdampf von dieser Seite entsprechend behindert wird. Hierzu sind bevorzugt an verschiedenen Seiten des Formwerkzeugs mehrere Dampfzuleitungen mit entsprechenden Ventilen vorgesehen.

Vorzugsweise werden die Kavität und/oder die zur Bedampfung vorgesehenen Dampfzuleitungen mittels Druckluft gespült um Kondensat zu entfernen. Da die Ausbildung von Kondensat sich nicht vollständig verhindern lässt, sollen die Dampfzuleitungen und/oder die Kavität beispielsweise nach der Bedampfung mit Druckluft gespült, das heißt getrocknet werden, damit die Vorteile des Verfahrens auch in einem nachfolgenden Zyklus bestehen bleiben.

Insbesondere werden mit einem Treibmittel versehene Schaumpartikel verwendet. Beispielsweise wird bei Verwendung von EPS Pentan als Treibmittel verwendet. Dieses dehnt sich beim Erwärmen aus und sorgt für die Expansion des durch die Erwärmung erweichten thermoplastischen Materials. Zumindest ein Teil des Treibmittels wird dabei vom Wasserdampf aufgenommen.

Das Einbringen der Schaumpartikel in die Kavität erfolgt vorzugsweise mittels Einblasen, insbesondere unter Druck so, dass die Schaumpartikel komprimiert werden. Durch die Vorkompression wird ein Expansionsgrad der Schaumpartikel bei späterer Beaufschlagung mit Wasserdampf erhöht. Ebenso können die Schaumpartikel eingeschüttet werden.

Eine das Formwerkzeug aufnehmende Dampfkammer kann mit einer Wärmeisolierung versehen sein, so dass ein Wärmeübergang vom Wasserdampf auf das Formteil und auf die Kavität konzentriert und auf eine Umgebung verringert wird. Auf diese Weise werden der Energiebedarf und der Dampfverbrauch weiter reduziert.

Weiter kann eine zwischen dem Ventil und dem Formwerkzeug angeordnete Dampfleitung an einer Innenseite wärmeisoliert sein, insbesondere dann, wenn das Ventil zu weit vom Formwerkzeug entfernt ist, um auf andere Weise sicherzustellen, dass der Wasserdampf als trockener Wasserdampf in die Kavität gelangt.

Der Wasserdampf kann dem Formwerkzeug direkt zugeführt werden. Alternativ kann das Formwerkzeug in einer Dampfkammer angeordnet sein. Die Dampfkammer ist vorzugsweise möglichst klein im Verhältnis zur Größe der Kavität, um den Wasserdampf am Kondensieren zu hindern und die Energieverluste gering zu halten.

Das Formwerkzeug wird nach der Bedampfung bevorzugt mit Wasser gekühlt.

Nach der Bedampfung kann eine Kühlung des Formteils mit Vakuum durchgeführt werden. Dabei wird noch vorhandenes Kondensat verdunstet und dessen Verdunstungskälte zum Kühlen des Formwerkzeugs genutzt.

Ausführungsbeispiele der Erfindung werden im Folgenden anhand von Zeichnungen näher erläutert.

Darin zeigen:

- Figur 1 eine Vorrichtung zur Herstellung eines Formteils mit einem geöffneten Formwerkzeug und einem Vorratsbehälter für Schaumpartikel,
- Figur 2 die Vorrichtung mit geschlossenem Formwerkzeug,
- Figur 3 die Vorrichtung beim Befüllen des Formwerkzeugs mit Dampf,
- Figur 4 die Vorrichtung mit dem mit Druckluft beaufschlagten Vorratsbehälter,
- Figur 5 die Vorrichtung mit einem geöffneten Ventil an einem Füllzylinder,
- Figur 6 die Vorrichtung beim Befüllen des Formwerkzeugs mit den Schaumpartikeln aus dem Vorratsbehälter,
- Figur 7 die Vorrichtung beim Rückblasen noch in den Schläuchen befindlicher Schaumpartikel,
- Figur 8 die Vorrichtung beim Absenken des Druckes im Formwerkzeug,

- Figur 9 die Vorrichtung beim Spülen des Formwerkzeugs mit Wasserdampf,
- Figur 10 die Vorrichtung während einer Querbedampfung aus einer ersten Richtung,
- Figur 11 die Vorrichtung während einer Querbedampfung aus einer anderen Richtung,
- Figur 12 die Vorrichtung während einer Autoklavbedampfung,
- Figur 13 die Vorrichtung während einer Abkühlung des Formwerkzeugs,
- Figur 14 die Vorrichtung während einer Stabilisierung des gebildeten Formteils durch Vakuum,
- Figur 15 die Vorrichtung beim Entformen des Formteils aus einem der Formwerkzeugteile,
- Figur 16 die Vorrichtung beim Entformen des Formteils aus dem anderen der Formwerkzeugteile,
- Figur 17 die Vorrichtung mit geöffnetem Formwerkzeug und ausgestoßenem Formteil, und
- Figur 18 ein Dampfzustandsdiagramm zur Veranschaulichung des Begriffs „trockener Dampf“.

Einander entsprechende Teile sind in allen Figuren mit den gleichen Bezugszeichen versehen.

Figur 1 zeigt eine Vorrichtung 1 zur Herstellung eines Formteils. Die Vorrichtung 1 umfasst eine Dampfkammer 2, die aus zwei Dampfkammerteilen 2.1, 2.2 gebildet ist. In der Dampfkammer 2 ist ein Formwerkzeug 3 angeordnet, das ebenfalls zwei Formwerkzeugteile 3.1, 3.2 umfasst, von denen jedes je einem der Dampfkammerteile 2.1, 2.2 zugeordnet ist. Die Formwerkzeugteile 3.1, 3.2 sind so perforiert, dass Wasserdampf und Luft, jedoch keine größeren Partikel ein- und austreten können. Die Dampfkammer 2 kann über Ventile 4.1 bis 4.8 mit Dampf, Druckluft, Wasser oder Vakuum versorgt werden. Weiter ist ein Vorratsbehälter 5 vorgesehen, in dem Schaumpartikel 6 aus einem thermoplastischen Material bevorratet sind. Der Vorratsbehälter ist ebenfalls mit Ventilen 4.9, 4.10 versehen. Aus dem Vorratsbehälter 5 können dem Formwerkzeug 3 Schaumpartikel 6 über Schläuche 7 und Füllzylinder 8 zugeführt werden. Eine Verbindung zwischen dem Vorratsbehälter 5 und den Schläuchen 7 ist durch einen Schieber 9 herstellbar oder unterbrechbar. Der Füllzylinder weist ebenfalls zwei Ventile 4.11, 4.12 auf. Das Formwerkzeug 1 ist zu Beginn eines Zyklus zur Herstellung des Formteils in einem Zustand gezeigt, in dem die Dampfkammerteile 2.1, 2.2 mit den Formwerkzeugteilen 3.1, 3.2 geöffnet sind.

Als nächstes werden die Dampfkammerteile 2.1, 2.2 und die Formwerkzeugteile 3.1, 3.2 zusammengeführt und geschlossen, wie in **Figur 2** dargestellt. Die Formwerkzeugteile 3.1, 3.2 schließen nun eine Kavität ein, die die Form des herzustellenden Formteils aufweist.

In **Figur 3** sind alle Ventile 4.2 bis 4.7 geschlossen während die Ventile 4.1 und 4.8 geöffnet sind um die Dampfkammer 2 und das Formwerkzeug 3 mit Druckluft L zu befüllen um einen Staudruck von beispielsweise 2 bar aufzubauen.

In **Figur 4** wird das Ventil 4.9 am Vorratsbehälter 5 geöffnet während das Ventil 4.10 geschlossen ist. Dabei wird der Vorratsbehälter mit Druckluft L beaufschlagt und auf einen etwas höheren Druck, beispielsweise 2,5 bar, gebracht als die Dampfkammer 2 mit dem Formwerkzeug 3.

In **Figur 5** wird das Ventil 4.11 an den Füllzylindern 8 geöffnet während das Ventil 4.12 geschlossen wird. Dadurch werden Füllkolben 10 in den Füllzylindern 8 durch Druckluft so bewegt, dass in den Füllzylindern 8 ein Fülldruck, beispielsweise von 5 bar entsteht. Der Druck im Vorratsbehälter 5 ist hierzu höher als der Druck in der Kavität des Formwerkzeugs 3.

In **Figur 6** ist der Schieber 9 geöffnet. Durch das Druckgefälle werden die Schaumpartikel 6 aus dem Vorratsbehälter 5 in das Formwerkzeug 3 gefüllt.

In **Figur 7** wird das Ventil 4.9 geschlossen und die Ventile 4.10 und 4.12 geöffnet. Der Fülldruck in den Füllzylindern 8 bewirkt nun, dass noch in den Schläuchen befindliche Schaumpartikel 6 in den Vorratsbehälter 5 zurückgeblasen werden, da dort der Druck über das Ventil 4.10 entweichen kann. Der dabei abfallende Fülldruck in den Füllzylindern 8 bewirkt ein Rückstellen der Füllkolben 10, so dass das Formwerkzeug 3 verschlossen ist.

In **Figur 8** wird die Zufuhr von Druckluft L in die Dampfkammer 2 durch Schließen der Ventile 4.1, 4.8 unterbrochen. Durch Öffnen der Ventile 4.4, 4.5 wird der Staudruck in der Dampfkammer und im Formwerkzeug 3 auf Umgebungsdruck abgesenkt. Die Schaumpartikel 6 im Formwerkzeug 3 sind bei Umgebungsdruck komprimiert und füllen die Kavität des Formwerkzeugs 3 so sicher aus.

In **Figur 9** werden die Ventile 4.1, 4.8 zur Zuführung von Wasserdampf geöffnet, der über die ebenfalls geöffneten Ventile 4.4, 4.5 wieder entweicht. Das Formwerkzeug 3 wird dabei mit Wasserdampf gespült. Dadurch wird Luft aus dem Formwerkzeug 3 verdrängt, die anderenfalls als Wärmeisolator wirken würde.

In **Figur 10** wird eine so genannte Querbedampfung durchgeführt. Hierzu wird über das geöffnete Ventil 4.1 nur dem Dampfkammerteil 2.1 Wasserdampf D unter hohem, nicht durch das Ventil 4.1 geregelten Druck zeitgesteuert über einen kurzen Zeitraum zugeführt. Die Ventile 4.2 bis 4.8 sind geschlossen. Der Wasserdampf D durchströmt die im Formwerkzeug 3 befindlichen Schaumpartikel 6 dem Druckge-

fälle folgend in Richtung des Dampfkammerteils 2.2. Anschließend wird das Ventil 4.1 geschlossen und die Dampfzufuhr unterbrochen. Der Druck in der Dampfkammer 2 wird durch Öffnen des Ventils 4.5 abgebaut.

In **Figur 11** erfolgt in gleicher Weise eine Querbedampfung aus der anderen Richtung durch Beaufschlagen mit unter Druck stehendem Wasserdampf über das Ventil 4.8. Anschließend entweicht der Druck durch Öffnen des Ventils 4.4. Durch die Bedampfung wird eine Erweichung und Expansion der Schaumpartikel 6 bewirkt. Dabei verschweißen die Schaumpartikel 6 thermoplastisch miteinander und bilden das Formteil 11 mit einer thermoplastischen Oberfläche an einer Wandung der Kavität des Formwerkzeugs 3. Die Bedampfung in den Figuren 10 und 11 erfolgt zeitgesteuert so, dass der Wasserdampf D als weitgehend unkondensierter, trockener Wasserdampf innerhalb einer kurzen Bedampfungszeit eine Mehrzahl der Schaumpartikel 6 erreicht, bevor die thermoplastische Oberfläche des Formteils 11 sich ausbildet. Dabei wird den Schaumpartikeln 6 aus dem Wasserdampf D Energie so schnell zugeführt, dass die Schaumpartikel 6 zuerst oberflächlich thermoplastisch werden und erst anschließend expandieren.

In **Figur 12** erfolgt durch Öffnen der Ventile 4.1, 4.8 und nochmalige Beaufschlagung der gesamten Dampfkammer 2 mit Wasserdampf eine so genannte Autoklavbedampfung. Die Kavität wird dabei mit Wasserdampf so erwärmt, dass die Oberfläche des gebildeten Formkörpers verbacken wird. Der Druck wird anschließend über die Ventile 4.4, 4.5 abgelassen.

In **Figur 13** werden die Ventile 4.3 und 4.6 geöffnet und das Formwerkzeug 3 von außen mit Wasser besprüht, um es abzukühlen, beispielsweise von etwa 140°C auf etwa 80°C.

In **Figur 14** wird über die geöffneten Ventile 4.4, 4.5 ein Vakuum in der Dampfkammer 2 erzeugt. Dabei wird das Formteil 11 stabilisiert. Gleichzeitig wird noch vorhandenes Kondensat verdunstet und dessen Verdunstungskälte zum Kühlen des Formwerkzeugs 3 genutzt.

In **Figur 15** wird das Ventil 4.1 geöffnet und Druckluft eingefüllt, die ein Entformen des Formteils 11 aus dem Formwerkzeugteil 3.1 bewirkt. In gleicher Weise erfolgt ein Entformen aus dem Formwerkzeugteil 3.2 durch Öffnen des Ventils 4.8 und Beaufschlagen mit Druckluft in Figur 16.

In **Figur 17** sind die Dampfkammerteile 2.1, 2.2 auseinandergezogen und das Formteil 11 aus dem Formwerkzeug 3 herausgestoßen.

Die Vorrichtung 1 ist nun bereit für einen neuen Zyklus, beginnend mit Figur 1.

Es kann eine andere Anzahl Ventile 4.1 bis 4.12 vorgesehen sein.

Die Zuführung des Dampfes D erfolgt insbesondere so kurzzeitig, dass das thermoplastische Material der Schaumpartikel 6 nicht durch Überhitzung zerstört wird.

Vorzugsweise werden Schaumpartikel 6 aus expandierbarem Polystyrol (EPS) und/oder aus expandierbarem Polypropylen (EPP) und/oder aus expandierbarem Polyethylen (EPE) und/oder aus einem anderen expandierbaren Polyolefin verwendet. Es können auch Gemische mehrerer der genannten Stoffe verwendet werden.

Der für die Bedampfung verwendete Maximaldruck liegt vorzugsweise in einem Bereich von 5 bar bis 10 bar, insbesondere bei etwa 7 bar und entspricht dem ungeregelten Vordruck aus einer Vorrichtung für die Erzeugung des Dampfes D.

Die Bedampfungszeit liegt vorzugsweise zwischen 0,2 s und 3 s, insbesondere bei etwa 1,5 s.

Die Kavität und/oder die zur Bedampfung vorgesehenen Dampfzuleitungen können mittels Druckluft L gespült werden, um Kondensat zu entfernen.

Insbesondere werden mit einem Treibmittel versehene Schaumpartikel 6 verwendet. Beispielsweise wird bei Verwendung von EPS Pentan als Treibmittel verwendet.

Das Formwerkzeug 3 kann mit einer Wärmeisolierung so versehen sein, dass ein Wärmeübergang vom Wasserdampf D und/oder von den Schaumpartikeln 6 auf das Formwerkzeug 3 und/oder auf eine Umgebung verringert wird.

Der Wasserdampf D kann dem Formwerkzeug 3 alternativ direkt ohne eine Dampfkammer 2 zugeführt werden.

Figur 18 stellt ein Dampfzustandsdiagramm (Mollier-(h, s)-Diagramm) dar. Auf der Abszisse ist die Entropie s des Dampfes mit der Einheit $\text{kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$ und auf der Ordinate die zugehörige Enthalpie h mit der Einheit kJ/kg aufgetragen. Weiter sind der Druck p in bar, die Temperatur T in $^{\circ}\text{C}$ und das spezifische Volumen v in m^3/kg angegeben. Isobare, das heißt Linien gleichen Drucks p , verlaufen im Wesentlichen diagonal von links unten nach rechts oben und sind durchgehend dargestellt. Isochore, das heißt Linien gleichen spezifischen Volumens v , verlaufen ähnlich wie die Isobaren und sind gestrichelt dargestellt. Die Wertangaben des spezifischen Volumens sind zur Unterscheidung gerahmt dargestellt. In dem Dampfzustandsdiagramm ist eine so genannte Sattdampflinie SDL eingezeichnet. Ab der Sattdampflinie SDL und darüber ist der Dampf trocken bis überhitzt. Unterhalb der Sattdampflinie SDL spricht man von Nassdampf. Nassdampf enthält einen Anteil x Dampf (dargestellt ist der Bereich von etwa 0,57 bis 1) und einen verbleibenden Anteil Wasser, der sich mit x zur Summe 1 ergänzt. Beispielsweise enthält Nassdampf mit $x=0,95$ 95% Dampf und 5% Wasser. Die Sattdampflinie SDL markiert den Wert $x=1$. Ab der Sattdampflinie SDL ist kein kondensiertes Wasser mehr im Dampf enthalten. Isotherme, das heißt Linien gleicher Temperatur T sind beginnend auf der Sattdampflinie SDL im Wesentlichen waagrecht verlaufend dargestellt. Um die Bedampfung der Schaumpartikel mit trockenem Dampf sicherzustellen, werden die Parameter Druck p und Temperatur T vorzugsweise so geführt, dass der Dampfzustand oberhalb der Sattdampflinie SDL liegt. Vorzugsweise liegt

die Enthalpie dabei in einem Enthalpiebereich Bh1 von 2370 kJ/kg bis 2980 kJ/kg, besonders bevorzugt in einem Enthalpiebereich Bh2 von 2700 kJ/kg bis 2900 kJ/kg.

Für die Expansion von Schaumpartikeln 6 aus EPS wird vorzugsweise ein Druck p in einem Druckbereich Bp1 von etwa 0,5 bar bis 1,5 bar gewählt.

Für die Expansion von Schaumpartikeln 6 aus EPP wird bei Autoklavmaterial vorzugsweise ein Druck p in einem Druckbereich Bp2 von etwa 2 bar bis 5 bar und bei Extrusionsmaterial in einem Druckbereich Bp3 von etwa 5 bar bis 8 bar gewählt.

In Figur 18 ist weiter ein Zusammenhang zwischen einer Strömungsgeschwindigkeit c des Dampfes und einer Enthalpiedifferenz Δh des Dampfes dargestellt. Angestrebt wird eine möglichst hohe Strömungsgeschwindigkeit c und damit eine entsprechend hohe Enthalpiedifferenz Δh .

BEZUGSZEICHENLISTE

1	Vorrichtung zur Herstellung eines Formteils
2	Dampfkammer
2.1, 2.2	Dampfkammerteil
3	Formwerkzeug
3.1, 3.2	Formwerkzeugteil
4.1 bis 4.n	Ventil
5	Vorratsbehälter
6	Schaumpartikel
7	Schlauch
8	Füllzylinder
9	Schieber
10	Füllkolben
11	Formteil
D	Dampf
L	Druckluft
s	Entropie
h	Enthalpie
p	Druck
T	Temperatur
v	spezifisches Volumen
SDL	Sattdampflinie
x	Anteil Dampf
Bh1, Bh2	Enthalpiebereich
Bp1, Bp2	Druckbereich

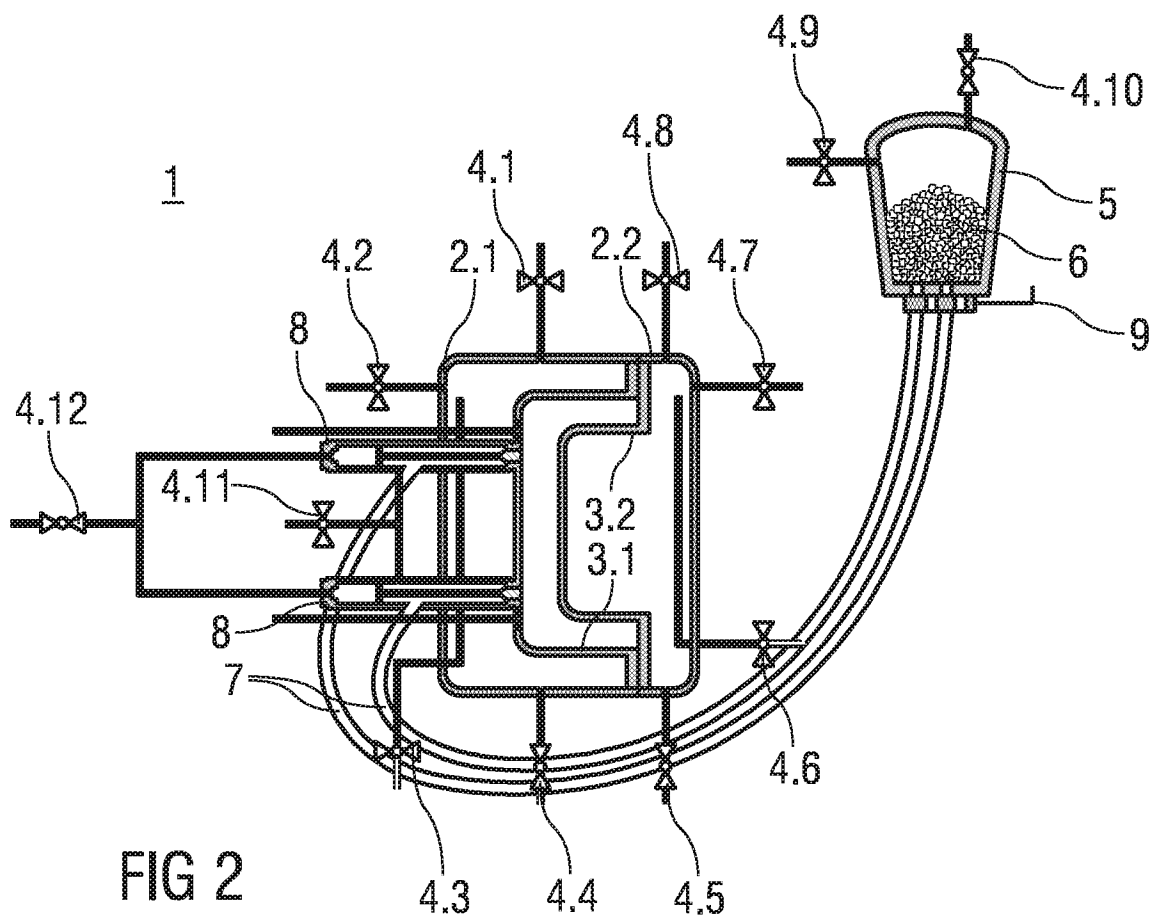
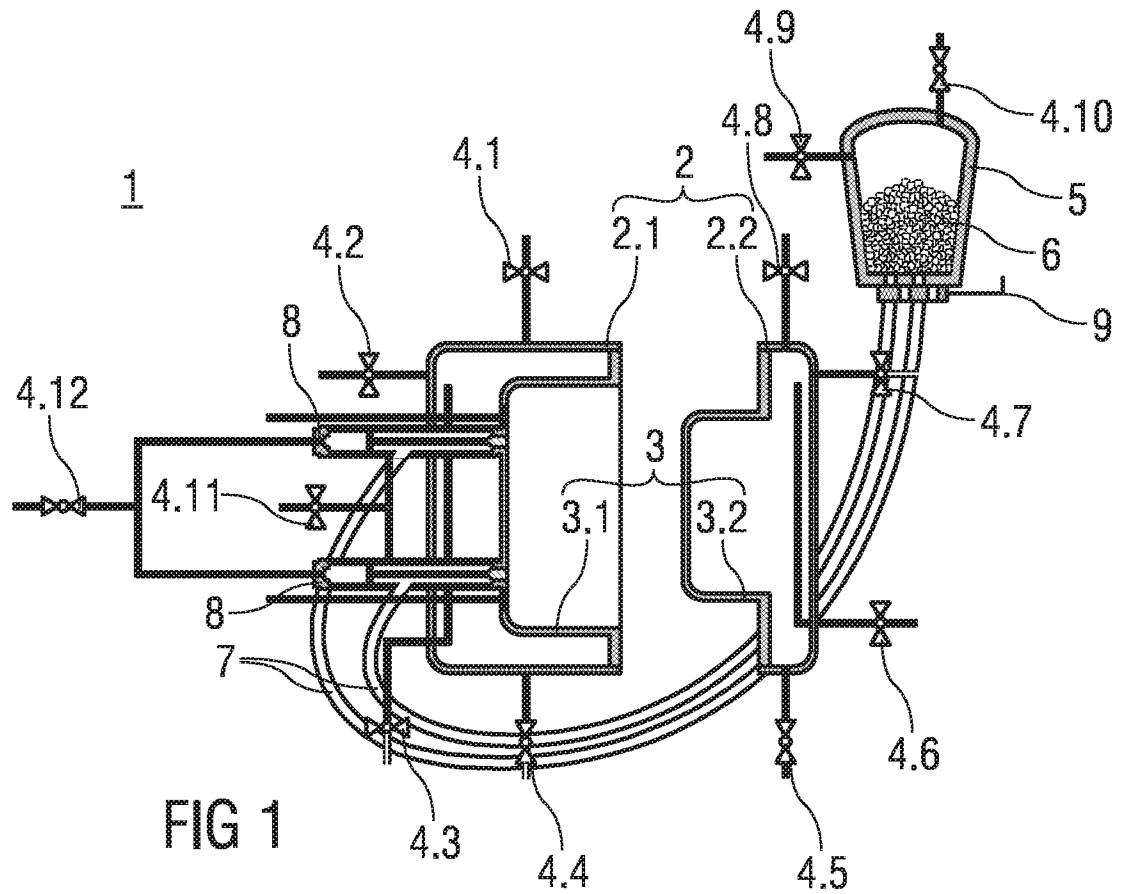
PATENTANSPRÜCHE

1. Verfahren zur Herstellung eines Formteils (11), bei dem mindestens eine Kavität eines Formwerkzeugs (3) mit aus einem thermoplastischen Material gebildeten Schaumpartikeln (6) gefüllt wird, wobei die gefüllte Kavität mit unter Druck stehendem Wasserdampf (D) beaufschlagt wird, um eine Expansion der Schaumpartikel (6) zu bewirken, eine Thermoplastizität einer Oberfläche der Schaumpartikel (6) zu bewirken, die Schaumpartikel durch Expansionsdruck miteinander thermoplastisch zu verschweißen und eine thermoplastische Oberfläche des aus den verschweißten Schaumpartikeln (6) gebildeten Formteils (11) an einer Wandung der Kavität auszubilden, dadurch gekennzeichnet, dass die Beaufschlagung mit Wasserdampf (D) über mindestens ein Ventil (4.1, 4.8) zeitgesteuert mindestens einmal so durchgeführt wird, dass der Wasserdampf (D) als weitgehend unkondensierter, trockener Wasserdampf (D) innerhalb einer kurzen Bedampfungszeit eine Mehrzahl der Schaumpartikel (6) erreicht, bevor die thermoplastische Oberfläche des Formteils (11) sich ausbildet, wobei den Schaumpartikeln (6) aus dem Wasserdampf (D) Energie so schnell zugeführt wird, dass die Schaumpartikel (6) zuerst oberflächlich thermoplastisch werden und anschließend expandieren.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass Schaumpartikel (6) aus mindestens einem der Materialien expandierbares Polypropylen, expandierbares Polystyrol, anderes expandierbares Polyolefin, bioplastisches Material, insbesondere Stärke, Maisstärke, anderer nachwachsender Rohstoff, thermoplastisch beschichtetes Material verwendet werden.
3. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass der Maximaldruck in einem Bereich von 5 bar bis 10 bar liegt.

4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Bedampfungszeit zwischen 0,1 s und 3 s liegt.
5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Schaumpartikel (6) mehrmals von verschiedenen Seiten bedampft werden.
6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass mit einem Treibmittel versehene Schaumpartikel (6) verwendet werden, wobei zumindest beim Erreichen einer Erweichungstemperatur des thermoplastischen Materials das Treibmittel die Expansion der Schaumpartikel (6) bewirkt.
7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Schaumpartikel (6) in die Kavität eingeblasen oder eingeschüttet werden.
8. Verfahren nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass die Schaumpartikel (6) unter Druck so in die Kavität eingeblasen werden, dass sie komprimiert werden.
9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass eine das Formwerkzeug (3) aufnehmende Dampfkammer mit einer Wärmeisolierung versehen ist, so dass ein Wärmeübergang vom Wasserdampf (D) auf das Formteil und auf die Kavität konzentriert und auf eine Umgebung verringert wird.
10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Ventil (4.1, 4.8) so in der Nähe des Formwerkzeugs (3) angeordnet ist, dass eine Kondensation des Dampfes (D) zwischen dem Ventil (4.1, 4.8) und dem Formwerkzeug (3) minimiert wird.

11. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass eine zwischen dem Ventil und dem Formwerkzeug angeordnete Dampfleitung an einer Innenseite wärmeisoliert ist.
12. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Kavität nach der Bedampfung mit Wasser gekühlt wird.
13. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass eine Stabilisierung des Formteils (11) mit Vakuum durchgeführt wird.
14. Vorrichtung (1) zur Herstellung eines Formteils (11), umfassend ein Formwerkzeug (3) mit mindestens einer Kavität, die mit aus einem thermoplastischen Material gebildeten Schaumpartikeln (6) füllbar ist, wobei die gefüllte Kavität mit unter Druck stehendem heißen Wasserdampf (D) beaufschlagbar ist, um eine Expansion der Schaumpartikel (6) zu bewirken, die Schaumpartikel (6) zu erweichen und miteinander thermoplastisch zu verschweißen und eine thermoplastische Oberfläche des aus den verschweißten Schaumpartikeln (6) gebildeten Formteils (11) an einer Wandung der Kavität auszubilden, dadurch gekennzeichnet, dass mindestens eine Dampfzuleitung zur Kavität und/oder zu einer das Formwerkzeug (3) aufnehmenden Dampfkammer (2) vorgesehen ist, wobei mindestens ein Ventil (4.1, 4.8) vorgesehen ist, wobei die Kavität über das Ventil (4.1, 4.8) und die Dampfzuleitung zeitgesteuert so mit dem Wasserdampf (D) beaufschlagbar ist, dass der Wasserdampf (D) als weitgehend unkondensierter, trockener Wasserdampf (D) innerhalb einer kurzen Bedampfungszeit eine Mehrzahl der Schaumpartikel (6) erreicht, bevor die thermoplastische Oberfläche des Formteils (11) sich ausbildet, wobei den Schaumpartikeln (6) aus dem Wasserdampf (D) Energie so schnell zuführbar ist, dass die Schaumpartikel (6) zuerst oberflächlich thermoplastisch werden und anschließend expandieren, wobei das Ventil (4.1, 4.8) so in der Nähe des Formwerkzeugs (3) angeordnet ist, dass eine Kondensation des Dampfes (D) zwischen dem Ventil (4.1, 4.8) und dem Formwerkzeug (3) minimiert ist.

15. Vorrichtung (1) nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, dass das Formwerkzeug (3) mit einer Wärmeisolierung versehen ist.
16. Vorrichtung (1) nach einem der Ansprüche 14 oder 15, dadurch gekennzeichnet, dass das Formwerkzeug (3) so ausgebildet ist, dass die Schaumpartikel (6) von verschiedenen Seiten bedampfbar sind.
17. Vorrichtung (1) nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, dass mehrere Dampfzuleitungen und mehrere Ventile (4.1, 4.8) vorgesehen sind.



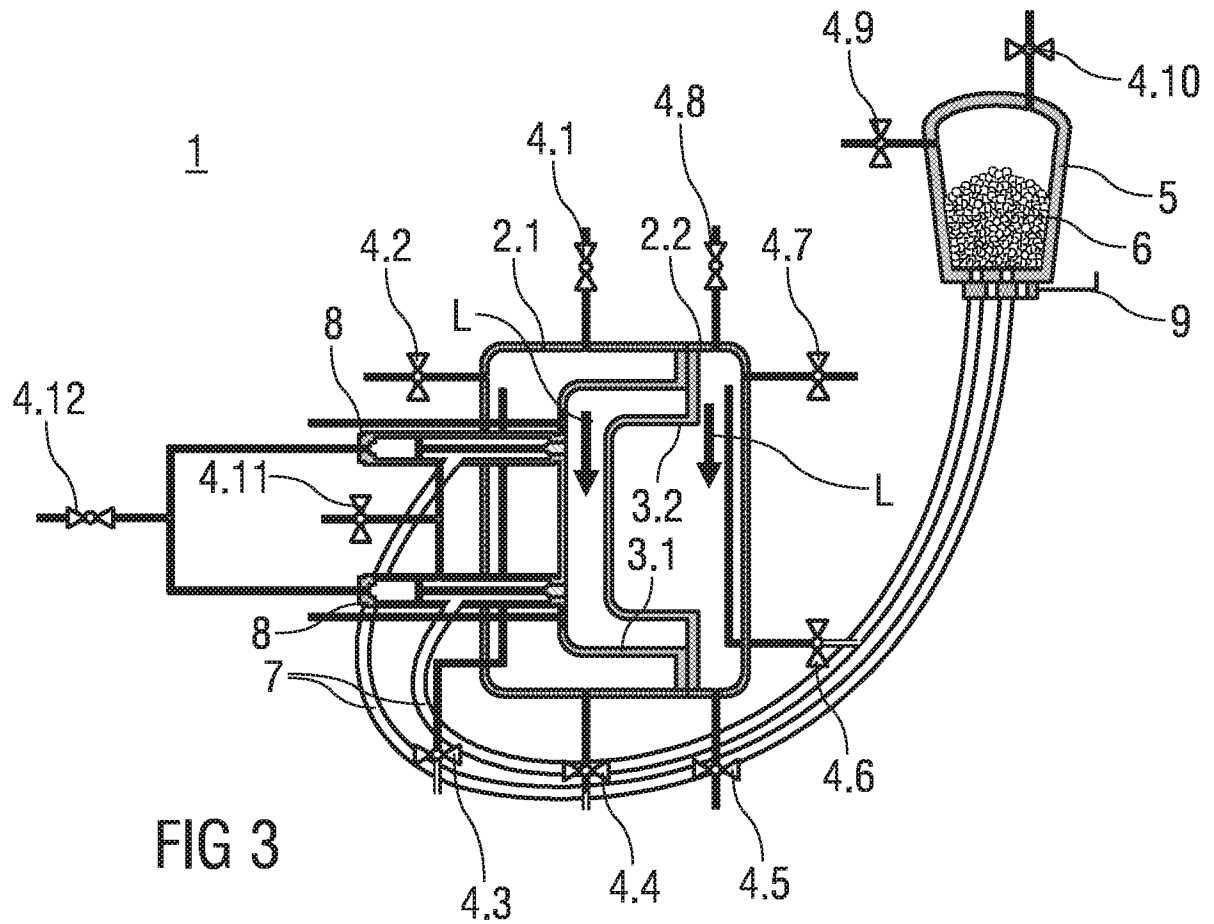


FIG 3

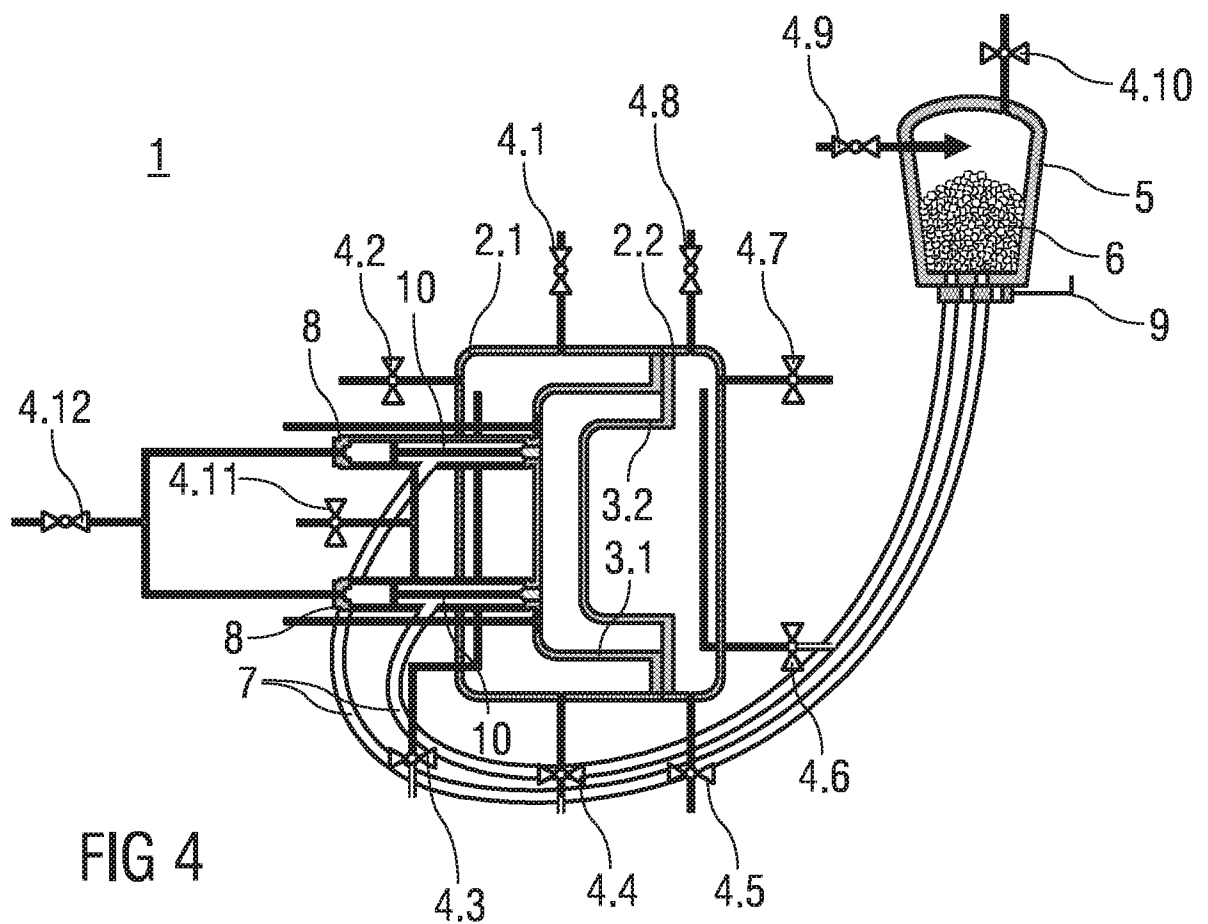
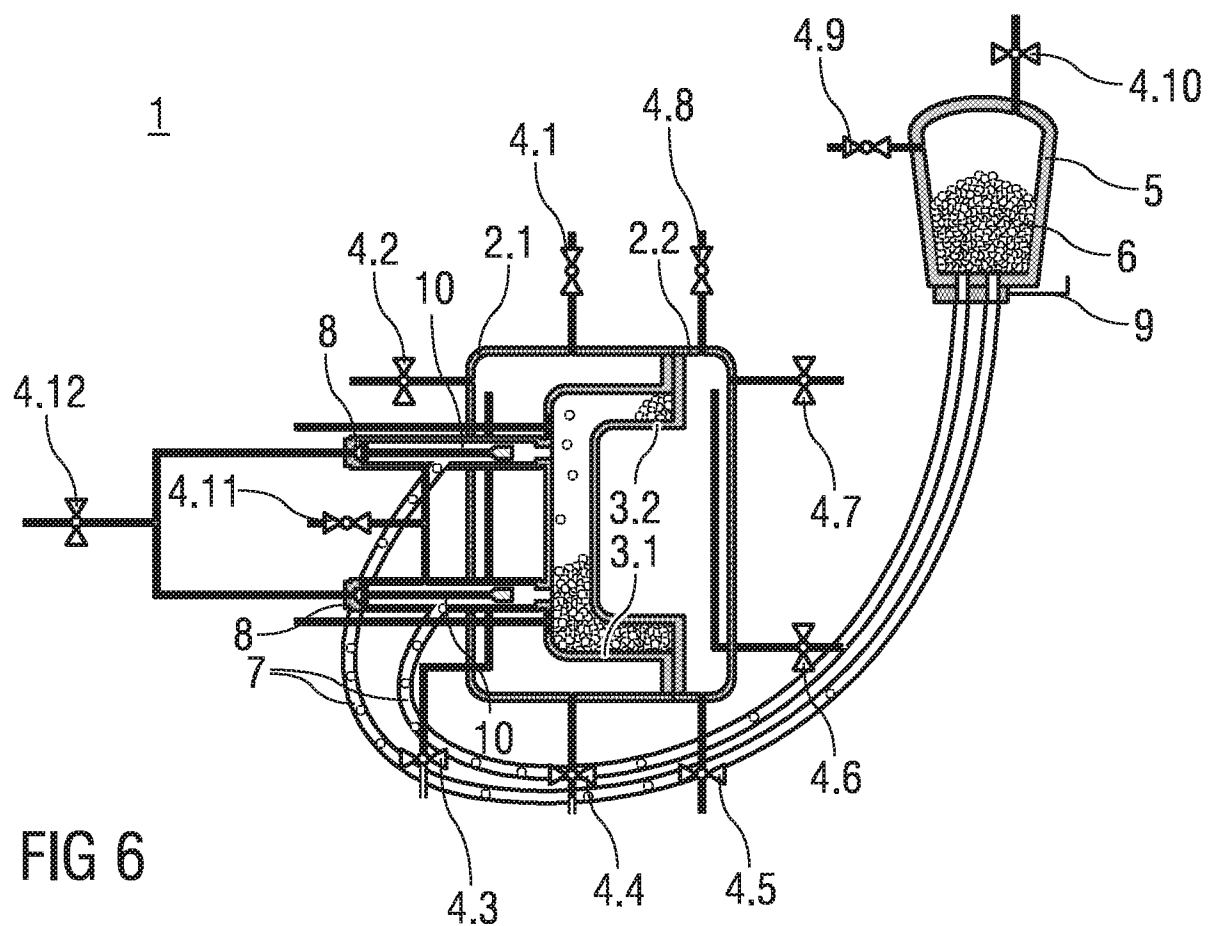
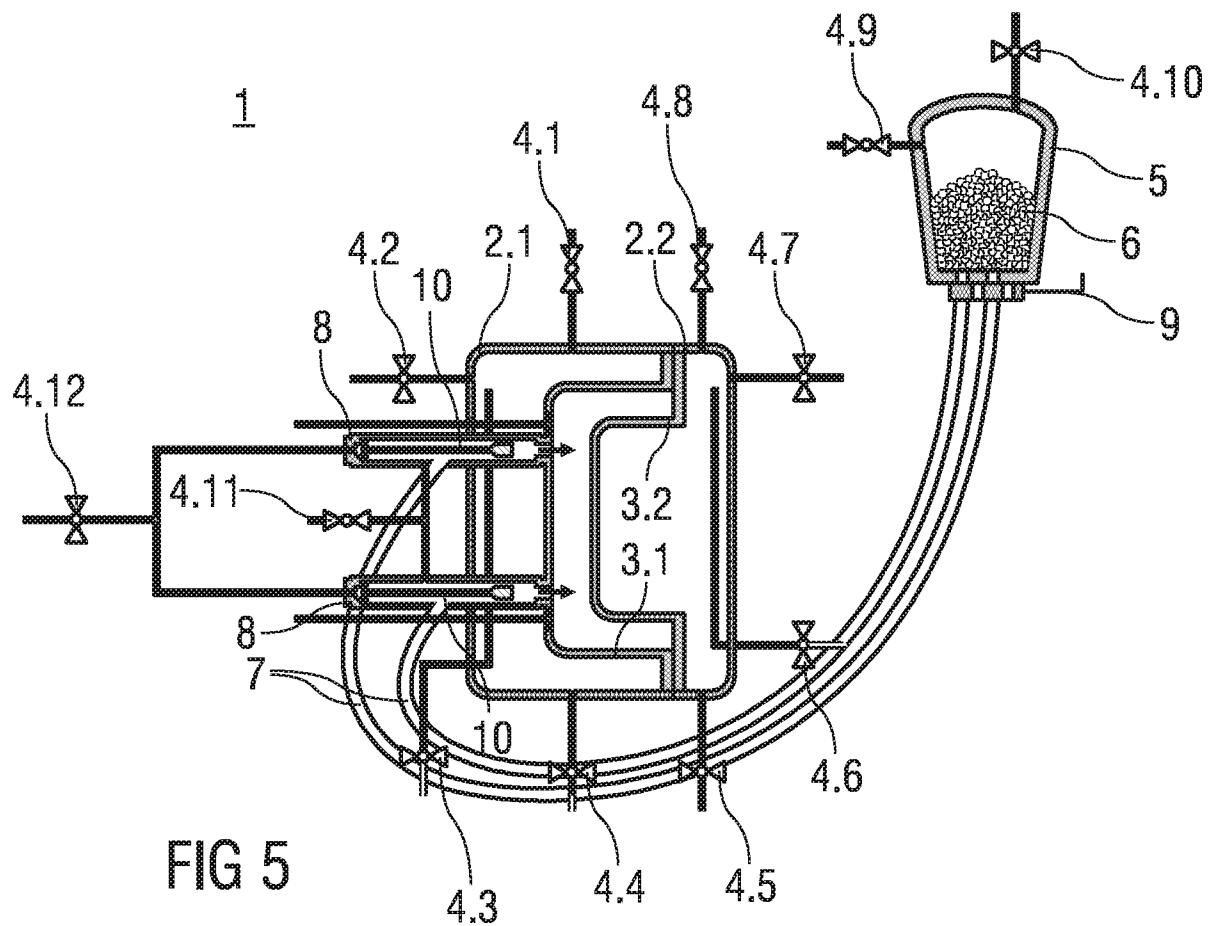
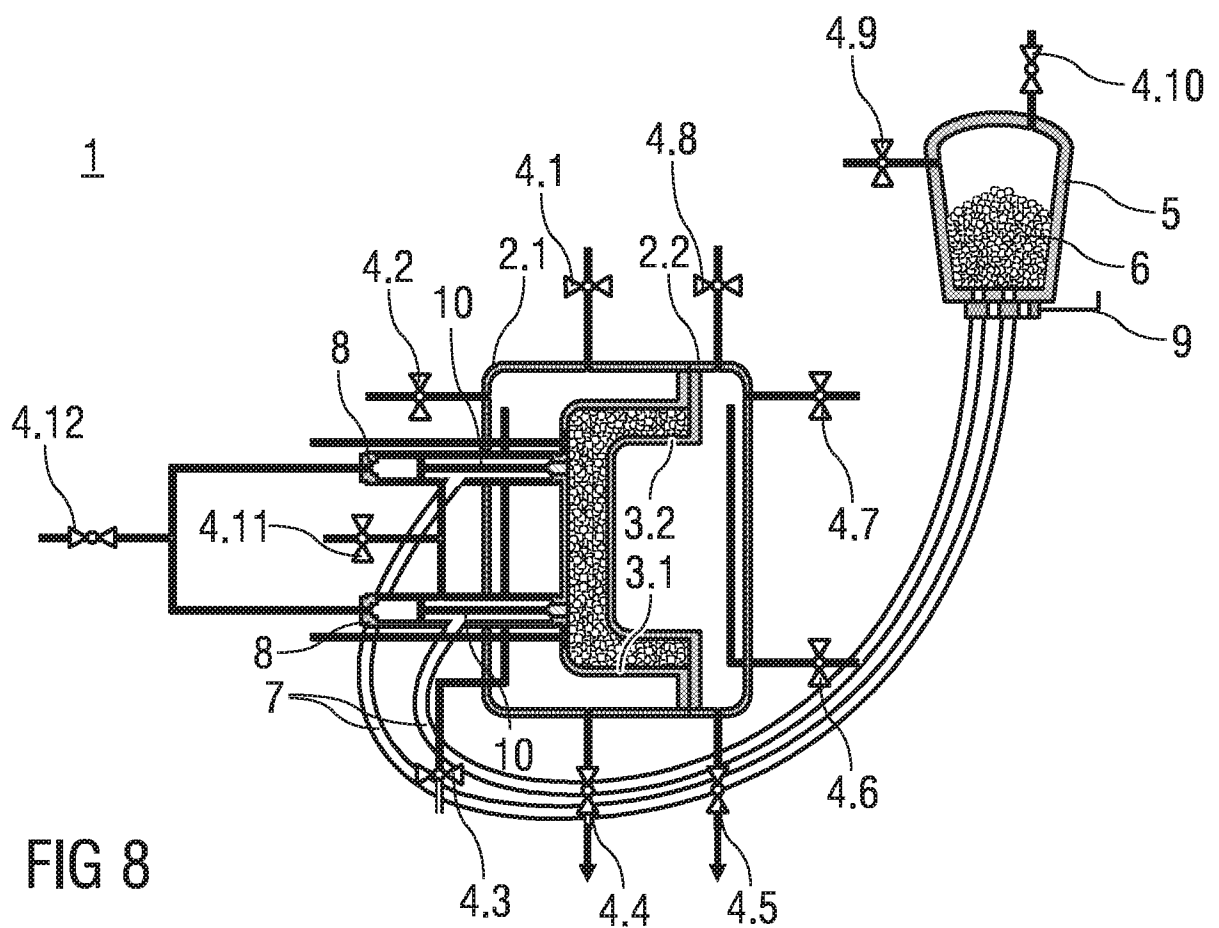
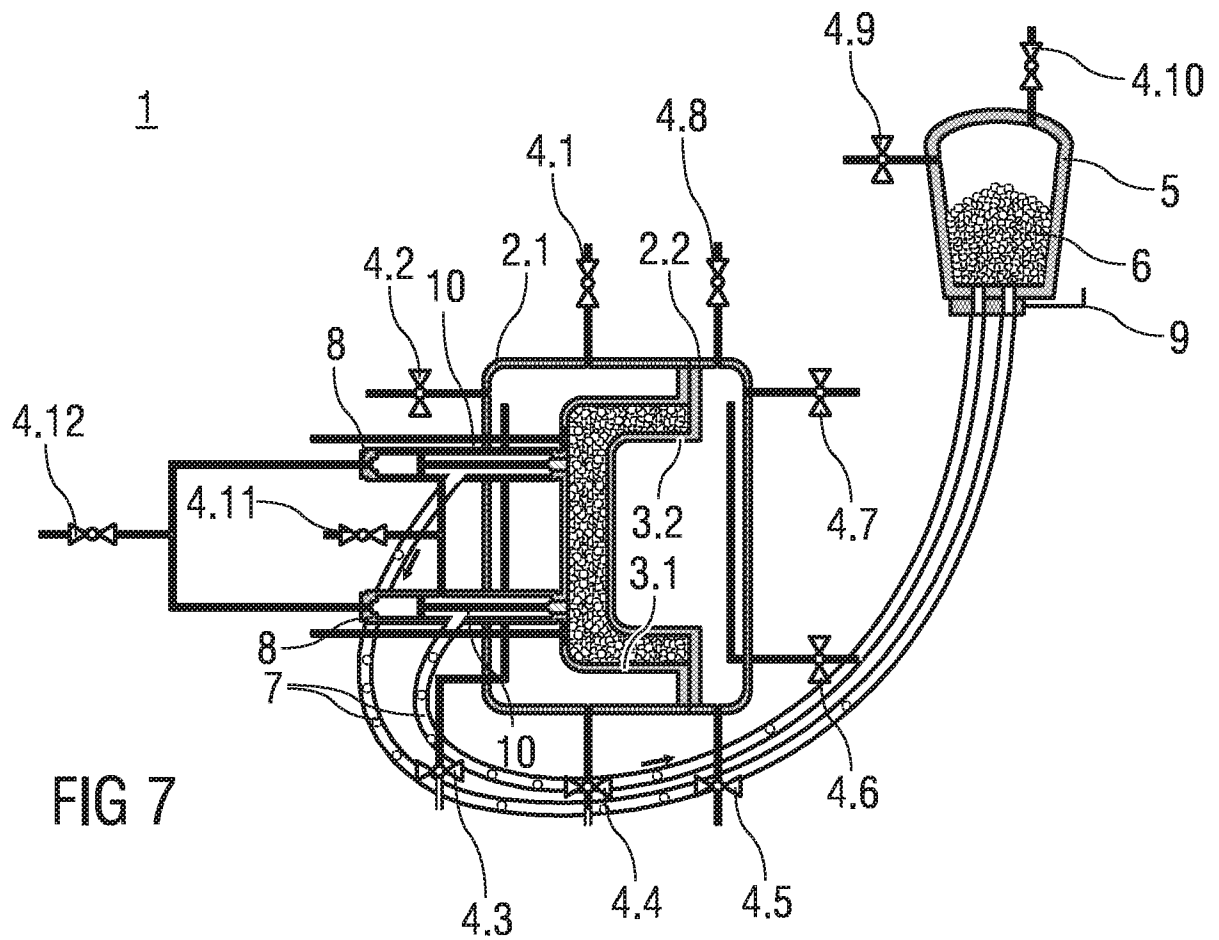
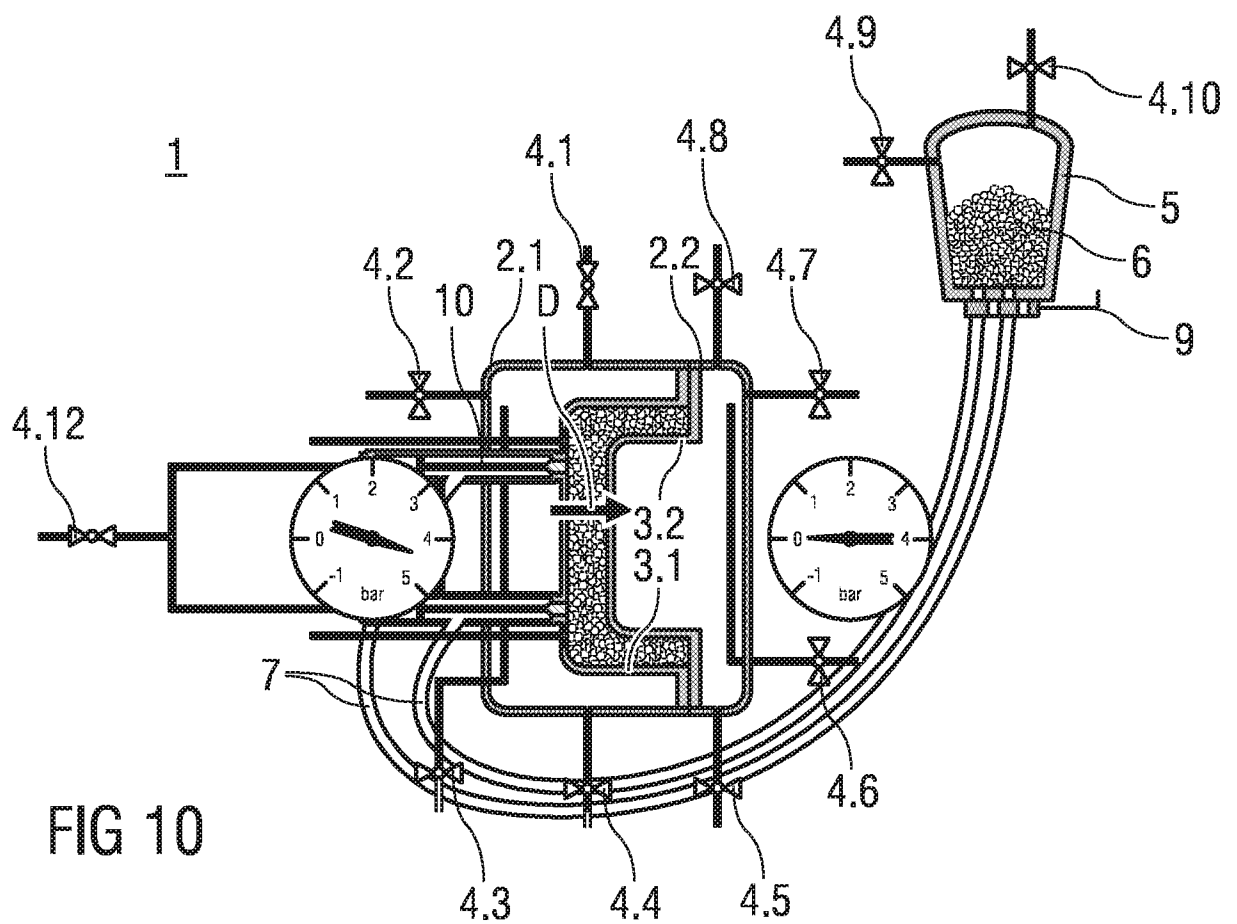
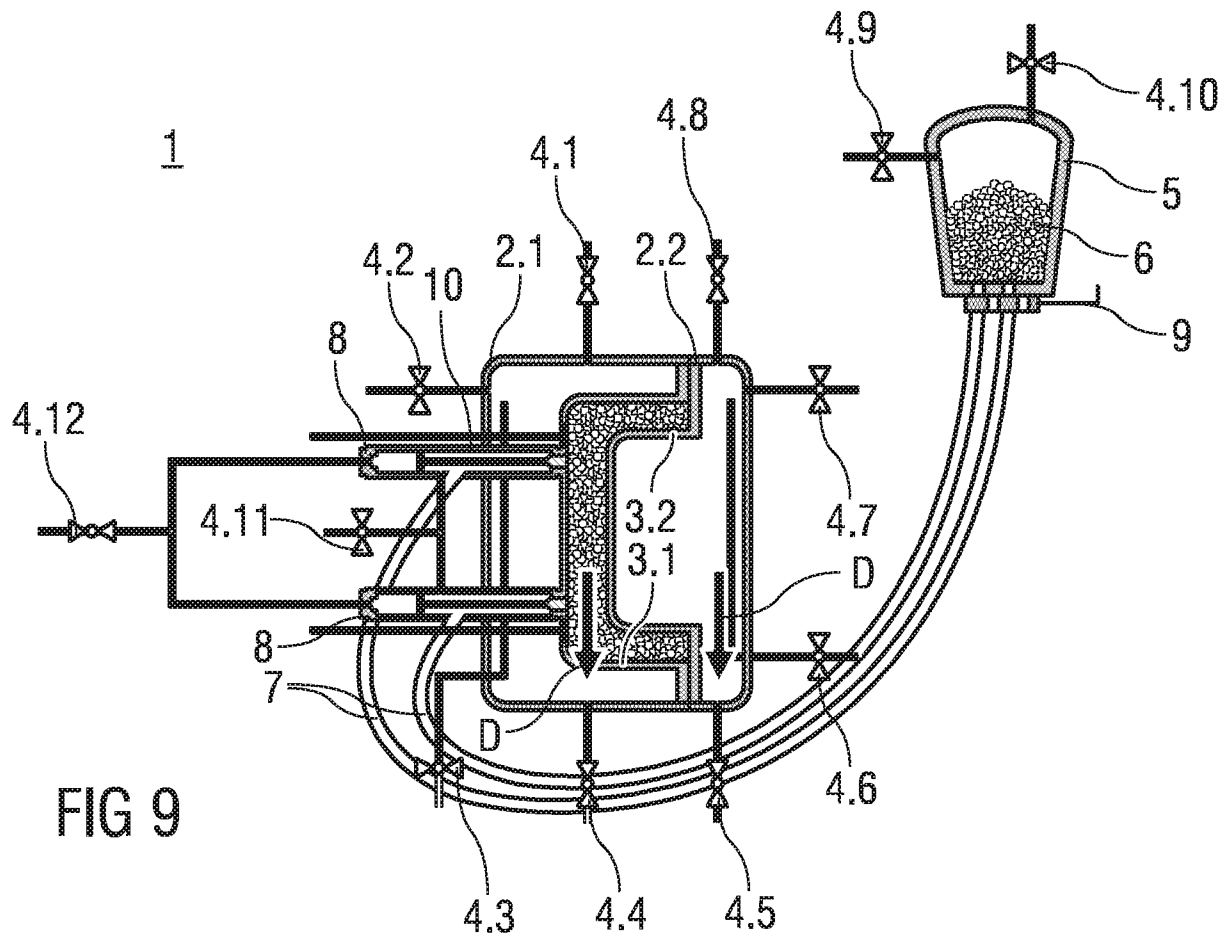
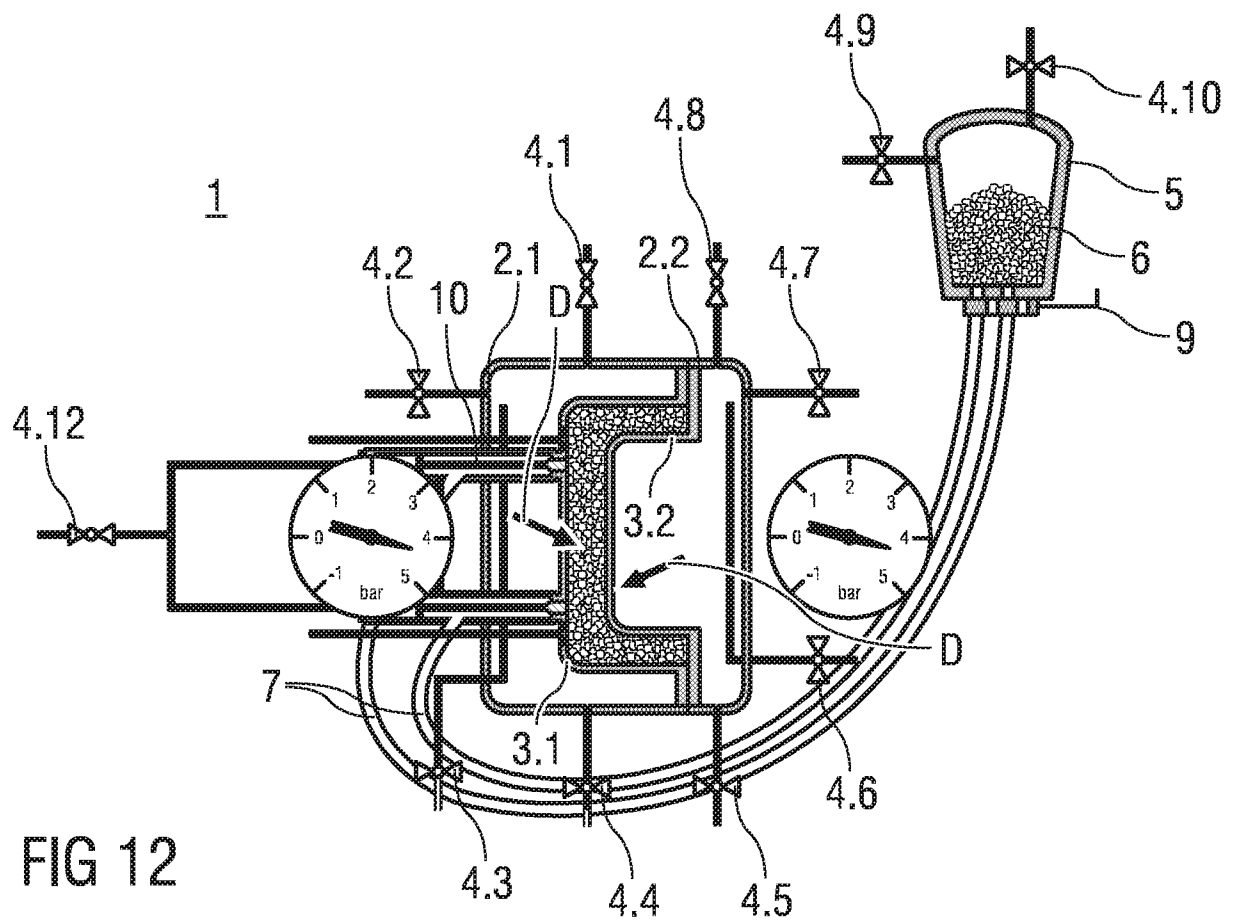
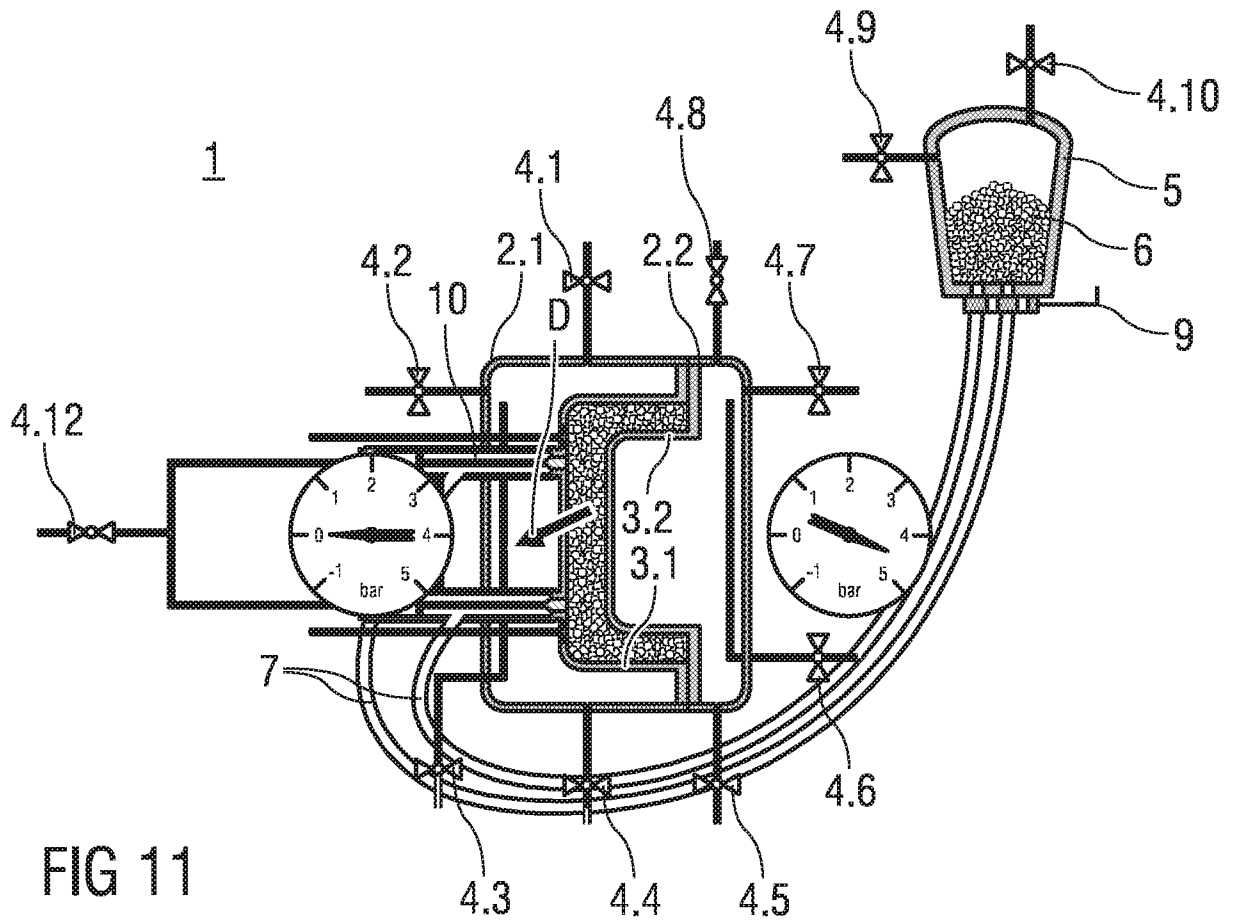


FIG 4









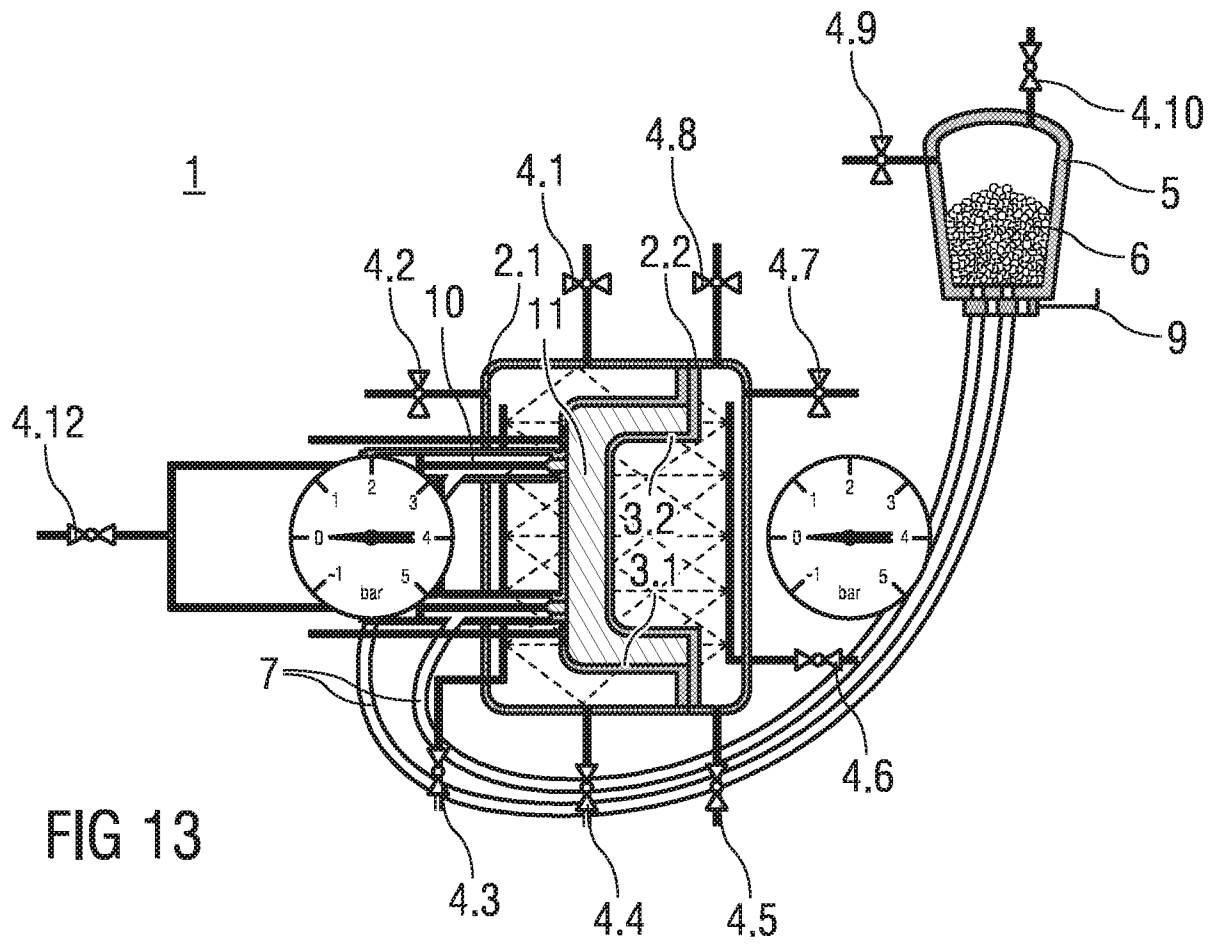


FIG 13

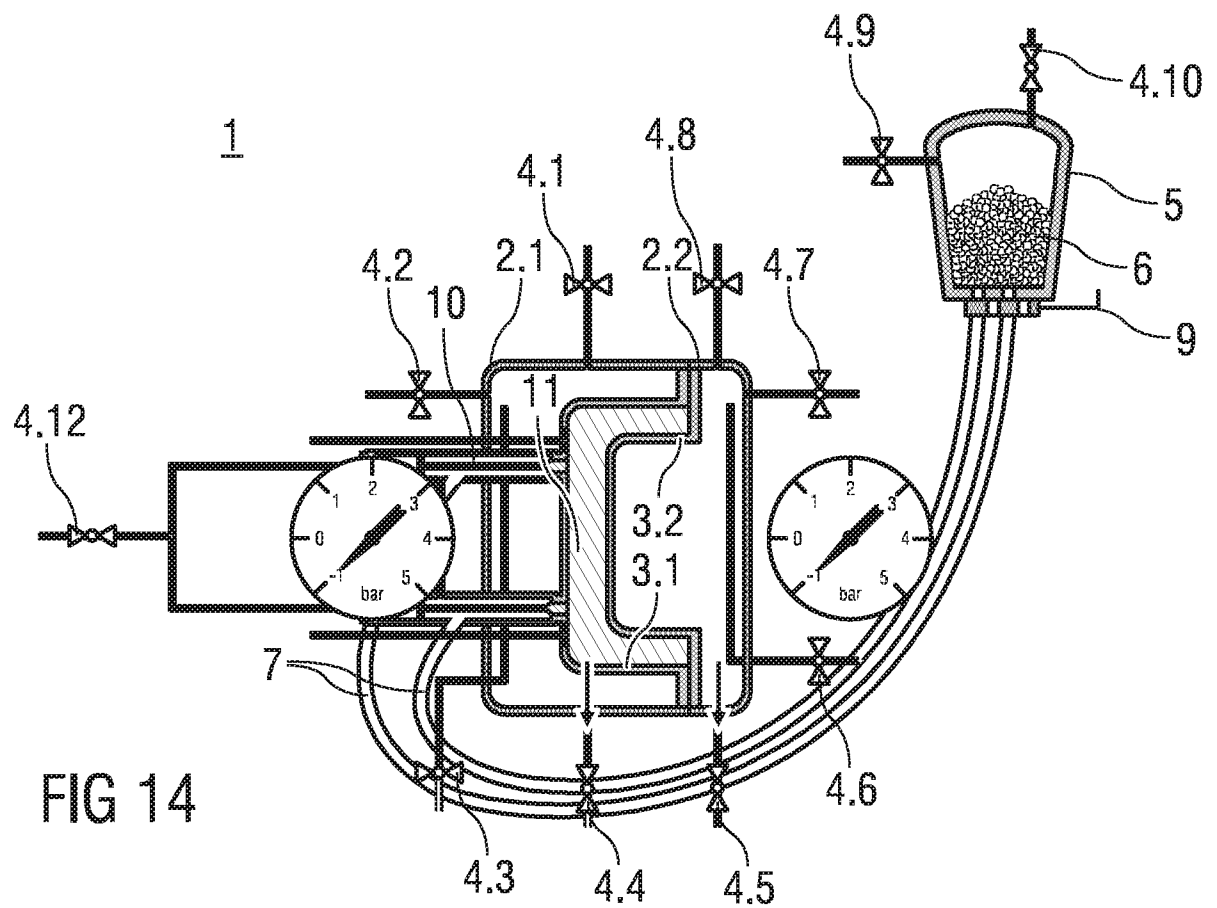
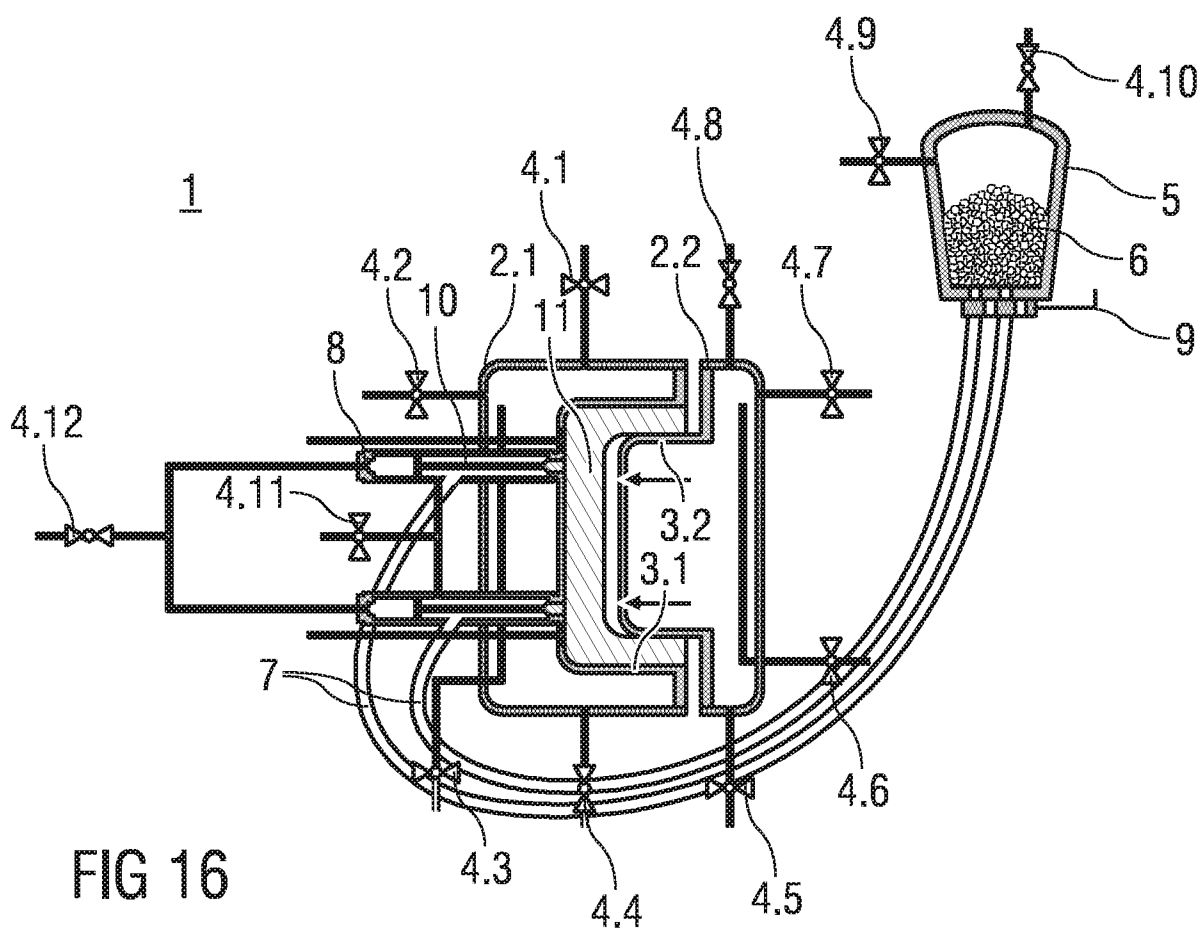
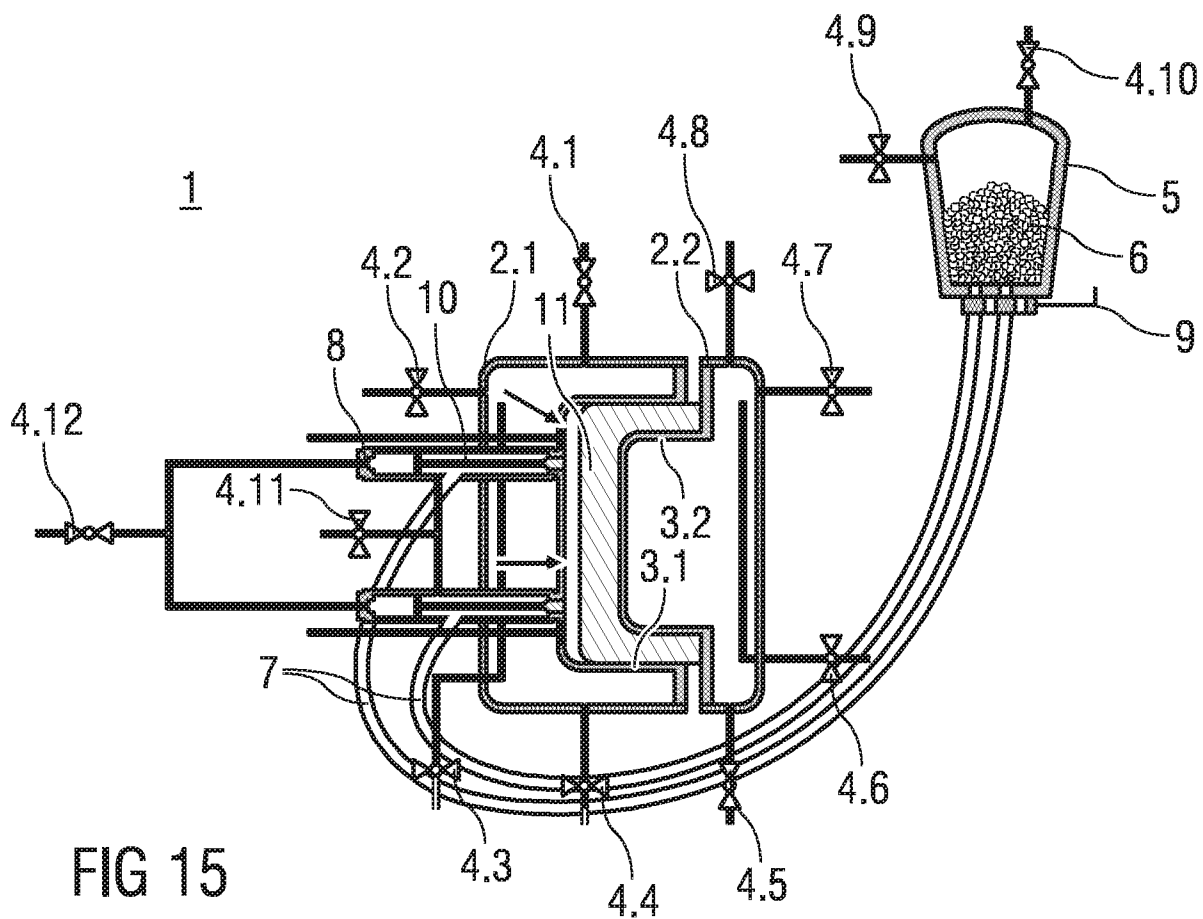


FIG 14



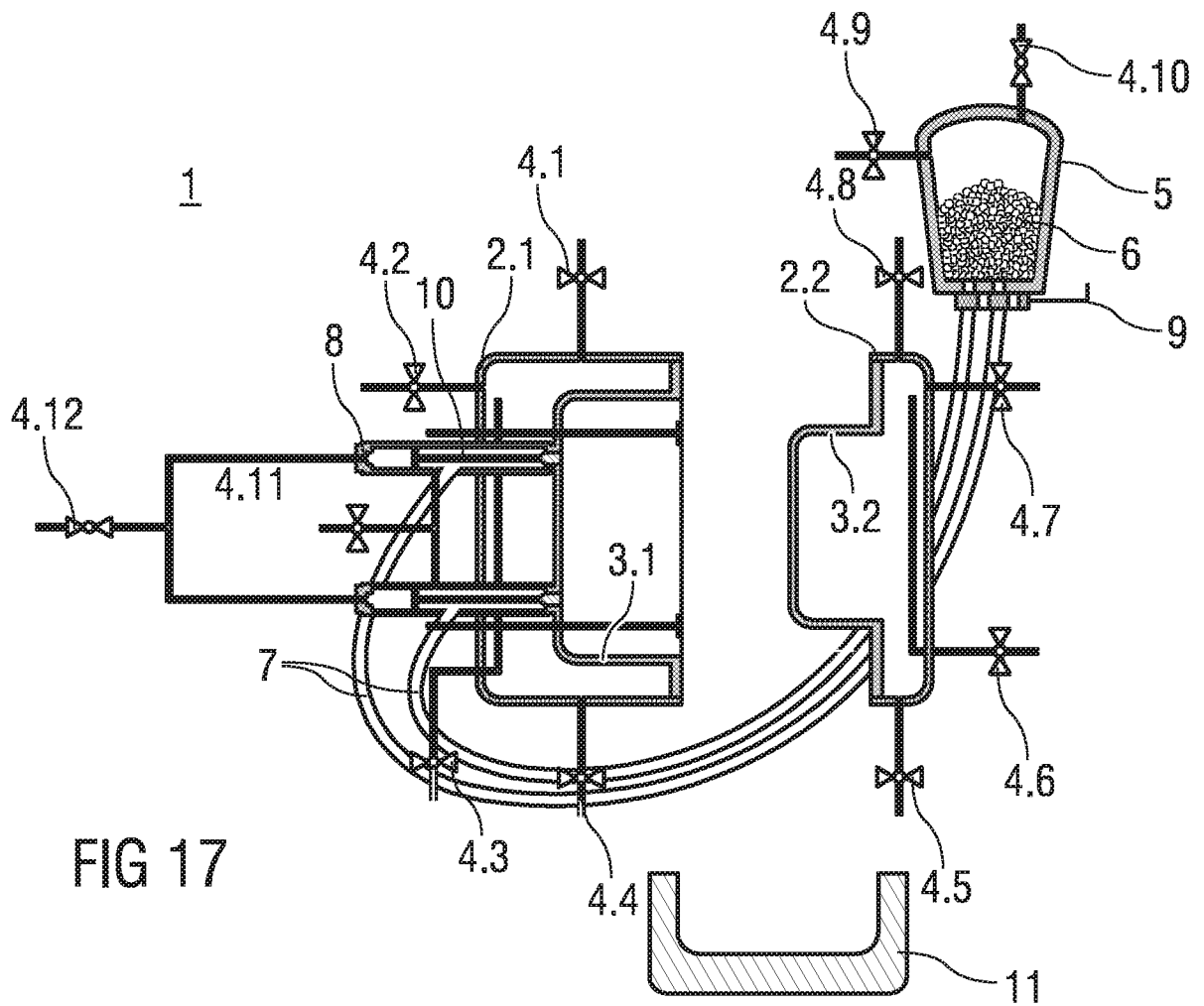


FIG 17

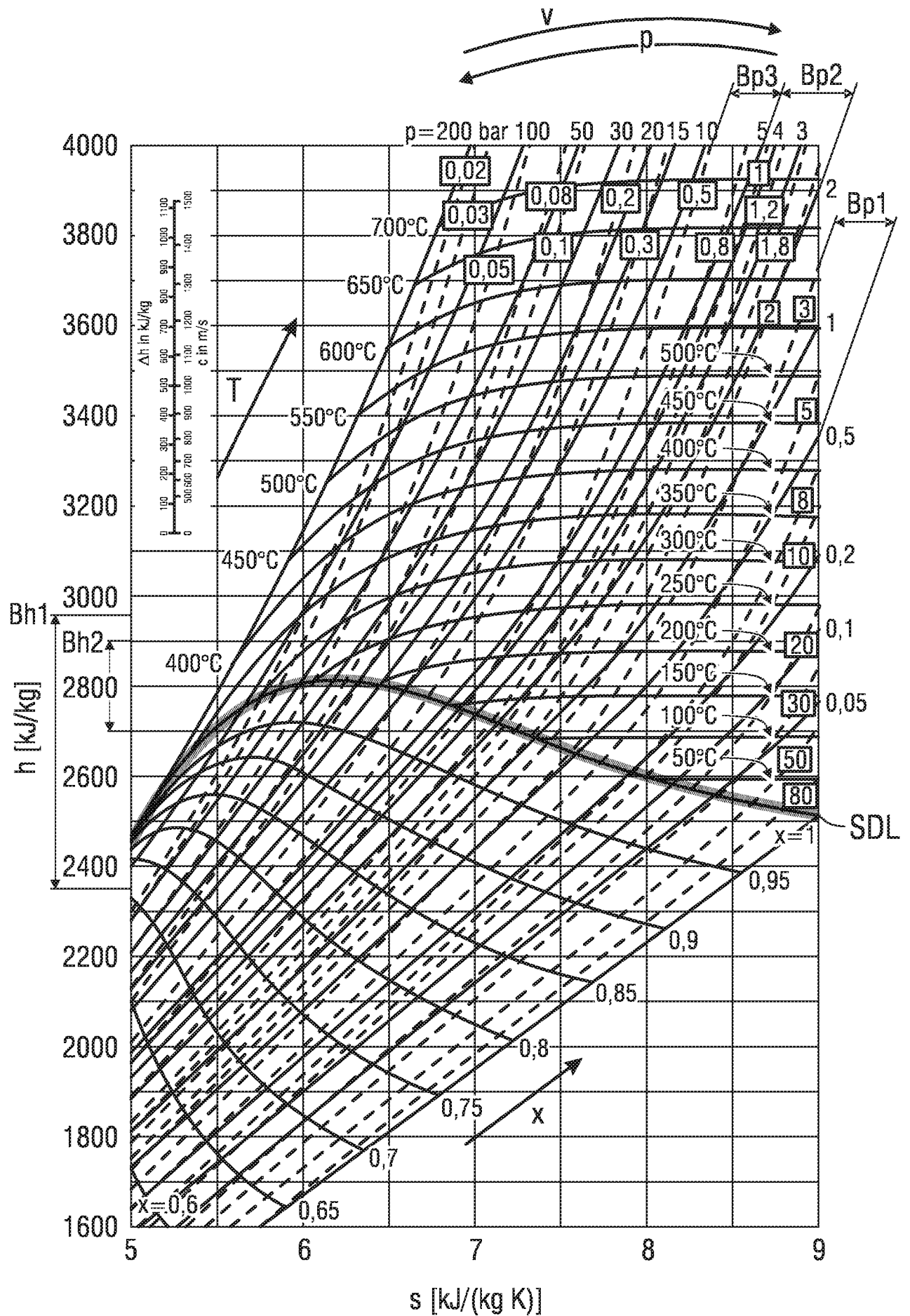


FIG 18