



SCHWEIZERISCHE EIDGENOSSENSCHAFT
BUNDESAMT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

⑪ CH 648 645 A5

⑤① Int. Cl. 4: F 22 B 29/00
F 22 B 37/12

Erfindungspatent für die Schweiz und Liechtenstein

Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

⑫ **PATENTSCHRIFT** A5

⑳ Gesuchsnummer: 5681/80

㉔ Anmeldungsdatum: 24.07.1980

㉓ Priorität(en): 01.08.1979 JP 54-98307

㉒ Patent erteilt: 29.03.1985

④⑤ Patentschrift
veröffentlicht: 29.03.1985

㉑ Inhaber:
Mitsubishi Jukogyo Kabushiki Kaisha,
Chiyoda-ku/Tokyo (JP)

㉒ Erfinder:
Kawamura, Tomozuchi, Chiyoda-ku/Tokyo (JP)
Haneda, Hisao, Chiyoda-ku/Tokyo (JP)
Sengoku, Tadamasu, Chiyoda-ku/Tokyo (JP)

㉑ Vertreter:
E. Blum & Co., Zürich

⑤④ **Zwangslaufkessel.**

⑤⑦ Der Zwangslaufkessel ist für einen Betrieb bei überkritischem Druck unter maximaler Dauerlast und bei unterkritischem Druck bei Teillastzuständen bestimmt. Die Strahlungsfläche des Kesselbodens und die den Feuer-raum (4) umgebenden Wände des Kessels sind zum Teil oder vollständig aus mit Zügen versehenen Rohren gebildet. Die Wände enthalten parallele Rohrbündel für eine gleichzeitige Aufwärtsströmung und sind vollständig aus vertikalen Steigrohren gebildet. Damit ergibt sich eine verbesserte Wärmeübertragungszahl der Rohre nach dem Übergang vom Blasensieden zum Filmsieden, ohne dass zu hohe Rohrwandtemperaturen entstehen.

PATENTANSPRUCH

Zwangslaufkessel für einen Betrieb bei überkritischem Druck unter maximaler Dauerlast und bei einem Druck im unterkritischen Druckbereich bei Teillastzuständen, dadurch gekennzeichnet, dass die Wasserrohre, die die den Feuerraum umgebenden Wände bilden, parallele Rohrbündel für eine gleichzeitige Aufwärtsströmung enthalten, dass die Wände aus vertikalen Steigrohren gebildet sind und dass die Strahlungsheizflächen des Kesselbodens sowie der Wände zum Teil oder vollständig aus mit Zügen versehenen Rohren bestehen.

Die Erfindung betrifft einen Zwangslaufkessel für einen Betrieb bei überkritischem Druck unter maximaler Dauerlast und bei einem Druck im unterkritischen Druckbereich bei Teillastzuständen.

Bei Kesseln für variablen überkritischen Druck herkömmlicher Ausbildungsformen ist es üblich, die Rohrwand-Temperaturen der Wasser-Wandrohre während eines Betriebes mit variablem Druck bei kleiner Last innerhalb zulässiger Temperaturbereiche zu halten, indem lediglich der Mengenfluss des Zwangslaufes gesteuert wird. Um folglich die Strömungsgeschwindigkeit der Wassermenge in den Wasser-Wandrohren bei der gegebenen Last über dem kritischen Wert zu halten, wird die Strömungsgeschwindigkeit der Wassermenge bei maximalen Dauerlastzuständen auf einem Wert gehalten, der zwei- bis dreimal grösser ist als derjenige für einen Kessel für den Betrieb bei überkritischem Druck der Gleichdruckbauart, wie in der Fig. 1 gezeigt ist. Dieses ist ein Versuch, den Wärmeübertragungskoeffizienten des Kessels, nachdem der Endpunkt der Phase des Blasensiedens überschritten worden ist, also die Phase der beginnenden kritischen Wärmestromdichte erreicht ist, zu verbessern.

Aus den oben erklärten Gründen ist die Anordnung der Wasser-Wandrohre des Kessels nicht eine, die vertikale Rohre aufweist, sondern, wie in der Fig. 2 gezeigt ist, eine, die wendelförmig verlaufende Rohre aufweist. In der gezeigten Anordnung sind die Dampferzeugungsrohre 201 nicht vertikal stehend, sondern verlaufen in einer geneigten Richtung. Folglich ist im Vergleich mit den üblichen Kesseln mit senkrecht stehenden Rohren, bei denen die Wasser-Wandrohre ihr Gewicht selbst tragen, die Anordnung zum Tragen der Kesselwand eine aufwendige Konstruktion, und die Herstellung derselben ist teuer.

Ziel der vorliegenden Erfindung ist, die Anordnung zum Tragen der Kesselwand eines Kessels für Betrieb mit überkritischem Druck zu vereinfachen und damit die Herstellungskosten zu senken.

Die Erfindung ist durch die Merkmale des Patentanspruches gekennzeichnet. Somit ist es ein Kennzeichen der Erfindung, dass man den Vorteil der grösseren Wärmeübertragungszahl der mit Zügen versehenen Rohre im Bereich nach dem Übergang vom Blasensieden zum Filmsieden ausnützt, da bekanntlich glattwandige Rohre mit gleichförmigen Innenflächen ohne Züge eine vergleichsweise kleinere Wärmeübergangszahl zeigen, und somit kann die Wärmeübertragungszahl des Kessels in demjenigen Bereich derselben, wo das Filmsieden stattfindet, erhöht werden, ohne dass die Strömungsgeschwindigkeit des durchlaufenden Mengenstromes erhöht werden muss.

Weil die Vorder-, Rück- und Seitenwände des Kessels alle vertikale Steigrohre enthalten, können die Bauteile zum Tragen der Wände vereinfacht und damit die Herstellungskosten vorteilhaft vermindert werden.

Nachfolgend wird der Erfindungsgegenstand anhand der

Zeichnungen beispielsweise näher erläutert.
Es zeigen:

Fig. 1 ein Diagramm, in welchem die Mengengeschwindigkeit in den Dampferzeugungsrohren über den Hauptdampfstrommengenfluss in superkritischen Druckkesseln aufgezeichnet ist,

Fig. 2 eine vereinfachte, schaubildliche Ansicht eines herkömmlichen Kessels mit wendelförmig verlaufender Rohrwandausbildung, wobei das Innere der Ausbildung gezeigt ist,

Fig. 3 eine schematische Ansicht der Ausbildung eines erfindungsgemäss ausgebildeten superkritischen Druckkessels,

Fig. 4 eine Teilansicht, teilweise im Schnitt gezeichnet, eines mit Zügen versehenen Rohres zur Verwendung im überkritischen Druckkessel gemäss der Erfindung,

Fig. 5 ein Diagramm, in dem die Verhältnisse zwischen der Höhe der Wasser-Wandrohre und dem maximalen Wärmestrom auf den Aussenflächen der Wasser-Wandrohre, des spezifischen Dampfgehaltes bei der beginnenden kritischen Wärmestromdichte (DNB-Punkt), der Temperatur vom Flüssigkeitsinhalt der Rohre und der Rohrmitteltemperaturen des überkritischen Druckkessels dargestellt sind,

Fig. 6 ein Diagramm, bei dem die Metalltemperaturen bei verschiedenen Leistungen bei überkritischem Druck gezeigt sind, und

Fig. 7 ein Diagramm, in dem das Verhältnis zwischen dem Flüssigkeitsdruck und der Enthalpie im überkritischen Druckkessel bei verschiedenen Leistungen dargestellt ist.

Die Erfindung wird nun im einzelnen unter Bezugnahme auf die Fig. 3 und 4 beschrieben.

Vordere Feuerraumrohre 1, hintere Feuerraumrohre 2 und seitliche Feuerraumrohre 3 sind miteinander verbunden und umschreiben einen Feuerraum 4. Für die Vorder-, Rück- und Seitenwände des Kessels sind Einlass-Sammelleitungen 1a, 2a und 3a vorhanden. Ebenfalls sind für diese Kesselwände Auslass-Sammelleitungen 1b, 2b und 3b vorhanden. Die Vorder-, Rück- und Seitenwandrohre 1, 2, 3 sind aus Rohrbündeln gebildet, welche parallel zueinander verlaufen und eine gleichzeitig nach oben erfolgende Strömung erlauben. Mit der Ausnahme der Kesselbodenabschnitte sind die vorderen, rückwärtigen und seitlichen Wände vollständig aus vertikal verlaufenden Steigrohren gebildet. Diese Rohre bestehen zum Teil oder vollständig aus mit Zügen versehenen Rohren 15, wie in der Fig. 4 dargestellt ist. Zurückkehrend zu Fig. 3 ist in dieser auch ein Gaskanal 5, Vorwärmerrohre 6, eine Auslass-Sammelleitung 7 des Vorwärmers, das Überstromrohr 8 für den Auslass des Vorwärmers, die Verteilkugel 9, Verteilerrohre 10, Vorüberhitzer 11, Nachüberhitzer 12, Hochtemperatur-Nachüberhitzer 13 und Niedertemperatur-Nachüberhitzer 14 gezeigt.

Beim Zwangslaufkessel der beschriebenen Ausbildung wird Speisewasser für den Kessel, welches aufgrund der Vorwärmerrohre 6 einem Wärmetauschen unterworfen worden ist, in der Auslass-Sammelleitung 7 des Vorwärmers gesammelt und gezwungen, durch das Überstromrohr 8 nach unten in die Verteilkugel 9 zu strömen, und wird dann durch die Verteilerrohre 10 durch die Sammelleitungen 1a, 2a, 3a der vorderen, hinteren, seitlichen Wandeinlässe in die vorderen, hinteren und seitlichen Wandrohre 1, 2, 3 des Kessels verteilt. Das Speisewasser, dass in den parallel durchströmten Steigrohren des Kessels Wärme aufgenommen hat, verdampft vollständig, und der Dampf wird durch die Sammelrohre 1b, 2b, 3b der vorderen, hinteren und der seitlichen Wandauslässe gesammelt und dann zu einem nicht gezeigten Wasserabscheider geleitet.

Kennzeichnende Zustände der Wasser-Wandrohre während des Teillastbetriebes des Zwangslaufkessels mit senkrecht stehenden Rohren, der gemäss der Erfindung ausgebildet ist, sind graphisch in der Fig. 5 dargestellt. Die Kurve 501 stellt die Verteilung des maximalen örtlichen Wärme-
flusses in Richtung der Höhe der gegebenen Wasser-Wandrohre im Kessel dar.

Die Kurve 502 zeigt für verschiedene Höhen der Wasser-Wandrohre den maximal erlaubten spezifischen Dampfgehalt für Rohre mit Zügen, bei dem der Übergang vom Blasensieden zum Filmsieden verhütet ist, wobei die dazugehörige maximale örtliche Wärmeübertragungszahl der Kurve 501 entspricht, und die Kurve 503 zeigt zum Vergleich den maximal erlaubten spezifischen Dampfgehalt für Rohre ohne Züge bei derselben Wärmeübertragungszahl.

Die Kurve 504 zeigt andererseits den spezifischen Dampfgehalt bei verschiedenen Höhen der Wasser-Wandrohre während üblichem Betrieb, und die Kurve 505 stellt den spezifischen Dampfgehalt unter den ungünstigsten Zuständen dar. Die Kurven 505 und 502 schneiden sich in einem Punkt 506 bei der Höhe H_1 der Wasser-Wandrohre. Das heisst, dass der Übergang vom Blasensieden zum Filmsieden im Bereich über der Wasser-Wandrohrhöhe H_1 verläuft. Die Kurven 505 und 503 schneiden sich im Punkt 507 bei der Höhe H_2 der Wasser-Wandrohre. Daraus geht hervor, dass, falls anstelle der mit Zügen versehenen Rohre herkömmliche glattwandige Rohre verwendet werden, der Übergang vom Blasensieden zum Filmsieden im Bereich über der Wasser-Wandrohrhöhe H_2 stattfindet.

Die Kurve 508 zeigt die Temperatur des Gemisches von Wasser- und Dampfphase in den Wasser-Wandrohren in Richtung der Rohrhöhe während dem üblichen Betrieb. Die Kurve 509 zeigt die Gemischtemperatur in den gemischgekühlten Wänden beim ungünstigsten spezifischen Dampfgehalt. Die Kurve 510 zeigt die Metalltemperatur der Rohre in Wandstärkenmitte (auf der den Rohrmittelpunkt mit dem dem Feuerraum zugekehrten Scheitel der Rohraussenwand verbindenden Radiuslinie gemessen). Die Kurve 512 zeigt die Metalltemperatur bei dem dem Feuerraum zugekehrten Scheitel der Rohraussenwand. Diese Kurven betreffen mit Zügen versehene Rohre. Zum Vergleich zeigt die Kurve 511 die Temperatur bei der Wandstärkenmitte und die Kurve 513 diejenige beim Scheitel der Rohraussenwand ebenflächiger Rohre. Falls mit Zügen versehene Rohre verwendet werden, tritt der Übergang vom Blasensieden zum Filmsieden bei der Höhe H_1 der Wasser-Wandrohre ein, wie dies mit den Kurven 510 und 512 angedeutet ist. Dabei befinden sich die Metalltemperaturen der wassergekühlten Wände in der Höhe des Blasensiedens, jedoch höher als die Höhe H_1 , bei der der Übergang zum Filmsieden Erhöhungen der Metalltemperatur mit sich bringt. In diesem Falle bewirkt jedoch die Verwendung von mit Zügen versehenen Rohren, dass die Metalltemperaturen nach der Übergangsstelle Blasensieden/Filmsieden genügend tief sind. Die höchste Metalltemperatur in Wandstärkenmitte gemäss Kurve 510 und die höchste Metalltemperatur beim Scheitel der Aussenfläche gemäss Kurve 512 sind beide innerhalb zulässiger Temperaturbereiche. Im Diagramm zeigen die vertikalen strichlierten Linien 514 und 515 die zulässige höchste Metalltemperatur der Rohre in Wandstärkenmitte bzw. beim Scheitel der Aussenfläche.

Andererseits entsteht im Falle einer Anordnung mit keine Züge aufweisenden Rohren der Übergang vom Blasensieden zum Filmsieden bei der Höhe H_2 der Wasser-Wandrohre, und aufgrund des Übergangs sind die Metalltemperaturen 511 und 513 oberhalb dieser Höhe bereits bei einem Filmsiedewert. Bei den glattwandigen Rohren, deren Wärmeübertragungszahl nach dem Übergang vom Blasensieden zum Filmsieden tiefer ist als derjenige der mit Zügen versehenen

Rohre, sind die Metalltemperaturen bei den Wasser-Wandrohr-Höhen oberhalb H_1 höher, als wenn die mit Zügen versehenen Rohre verwendet werden würden. Nach dem Übergang vom Blasensieden zum Filmsieden sind die durchschnittlichen Metalltemperaturen 513, 511 der Aussenfläche der Scheitel der Rohre beide höher als die zulässigen Bereiche.

Die Fig. 6 zeigt graphisch die Ergebnisse von Probebetrieben, die in derselben Weise durchgeführt wurden, wie in der Fig. 5 zusammengefasst ist, wobei jedoch mit einem variablen Druckbetrieb gearbeitet wurde, der bei $\beta = 0,75$ begann (β bedeutet die Leistung der Anlage. $\beta = 100\%$ entspricht der Volleistung, $\beta = 75\%$ entspricht 75% der Volleistung). Die Kurve 603 stellt die maximale Metalltemperatur bei dem dem Feuerraum zugekehrten Scheitel der Aussenfläche des Rohres der Wasser-Wandrohre dar, wobei mit Zügen versehene Rohre gemäss der Erfindung verwendet wurden. Die Kurve 604 zeigt die entsprechende Temperatur der Wasser-Wandrohre der keine Züge aufweisenden Ausbildung. In gleicher Weise ist die Kurve 602 die maximale Metalltemperatur bei der genannten Wandstärkenmitte des Rohres bei mit Zügen versehenen Wasser-Wandrohren gemäss der Erfindung, und die Kurve 607 ist diejenige der glattwandigen Wasser-Wandrohre. Daraus geht hervor, dass, falls keine Züge aufweisende Rohre verwendet werden, sowohl die Metalltemperatur 604 beim Scheitel der Aussenfläche der Rohre und die Metalltemperatur 607 in Wandstärkenmitte der Rohre beide die zulässigen Bereiche bei der Kes-
selbelastung von weniger als etwa 60% überschreiten. Im
Gegensatz dazu sind bei mit Zügen versehenen Rohren beide Temperaturen innerhalb der zulässigen Bereiche, und dies sogar obwohl eine vertikale Rohranordnung verwendet ist. Die horizontal verlaufenden strichlierten Linien 614 und 615 sind die zulässige durchschnittliche Metalltemperatur bei der Wandstärkenmitte der Rohre bzw. die Metalltemperatur beim Scheitel der Aussenfläche der Rohre. Aus Vergleichsgründen zeigt das Diagramm die Aussen-Metalltemperatur 608 bei Wandstärkenmitte der Rohre wassergekühlter Wände eine wendelförmig verlaufende Rohranordnung. Beide verbleiben innerhalb der zulässigen Bereiche. Aus dem Diagramm geht auch hervor, dass die Metalltemperaturen der Wasser-Wandrohre, die mit Zügen versehen sind, bezüglich ihrer Arbeitsleistung sehr gut mit den wendelförmig gewundenen Wasser-Wandrohren vergleichbar sind.

Bei herkömmlichen, Trommeln aufweisenden Kesseln sind mit Zügen versehene Rohre in der vertikalen Rohranordnung zeitweise verwendet worden, und dies meistens bei Naturumlauf-Ausbildungen. In diesen Fällen ist beabsichtigt worden, die Wasser-Wandrohre des Kessels im Bereich des Blasensiedens zu halten und zu verhindern, dass die Wandrohre den Zustand des Filmsiedens erreichen, indem mit Zügen versehene Rohre verwendet wurden, welche einen genügend hohen spezifischen Dampfgehalt bei der beginnenden kritischen Wärmestromdichte aufweisen im Vergleich mit dem spezifischen Dampfgehalt, der tatsächlich in verschiedenen Teilen der wassergekühlten Wände des Kessels gefunden wurde. Mit anderen Worten war das Ziel der Verwendung von mit Zügen versehenen Rohren in Trommeln aufweisenden Kesseln, den Vorteil wahrzunehmen, dass bei der beginnenden kritischen Wärmestromdichte bei den mit Zügen versehenen Rohren ein grösserer spezifischer Dampfgehalt vorhanden ist als im Falle der glattwandigen, keine Züge aufweisenden Rohre.

Bei Trommel-Kesseln verläuft der Wasserumlauf durch die wassergekühlten Wände, und daher ist im nassen Bereich jeweils ein Auslass für die wassergekühlte Wand notwendig. Damit war es möglich gewesen, die Betriebszustände der verschiedenen wassergekühlten Wandteile im Bereich des Bla-

sensiedens durch die Verwendung von mit Zügen versehenen Rohren beizubehalten. Im Falle eines superkritischen Druckkessels mit veränderlichem Druck, wie dies in Fig. 7 gezeigt ist, sind die Auslässe der wassergekühlten Wände im Bereich des trockenen Dampfes. Weil jedoch weil der spezifische Dampfgehalt bei der beginnenden kritischen Wärmestromdichte den Wert 100% nicht überschreitet, und dies trotz der Verwendung von mit Zügen versehenen Rohren, ist es bedeutungslos, das Filmsieden für den superkritischen Druckkessel mit variablem Druck zu verhüten.

Nach der obigen Beschreibung kann die vorliegende Erfindung bei einer ersten Betrachtung dem Trommelkessel mit vertikalen Rohranordnungen gleichen, wobei mit Zügen ver-

sehene Rohre verwendet werden. Sie ist jedoch neu und grundlegend verschieden vom letzteren, indem der Trommelkessel mit den vertikal stehenden Rohranordnungen die mit Zügen versehenen Rohre dazu braucht, die Erscheinung des Filmsiedens in den Wasser-Wandrohren des Kessels zu verhindern, wobei hingegen die Verwendung von mit Zügen versehenen Rohren im superkritischen Druckkessel mit variablem Druck, der senkrecht stehende Rohranordnungen aufweist und gemäss Erfindung ausgebildet ist, dazu bestimmt ist, die Erscheinung des Filmsiedens zuzulassen, die Wärmeübergangszahl nach dem Übergang vom Blasensieden zum Filmsieden zu verbessern und die Werte der Metalltemperaturen der Wasser-Wandrohre zu vermindern.

FIG. 1

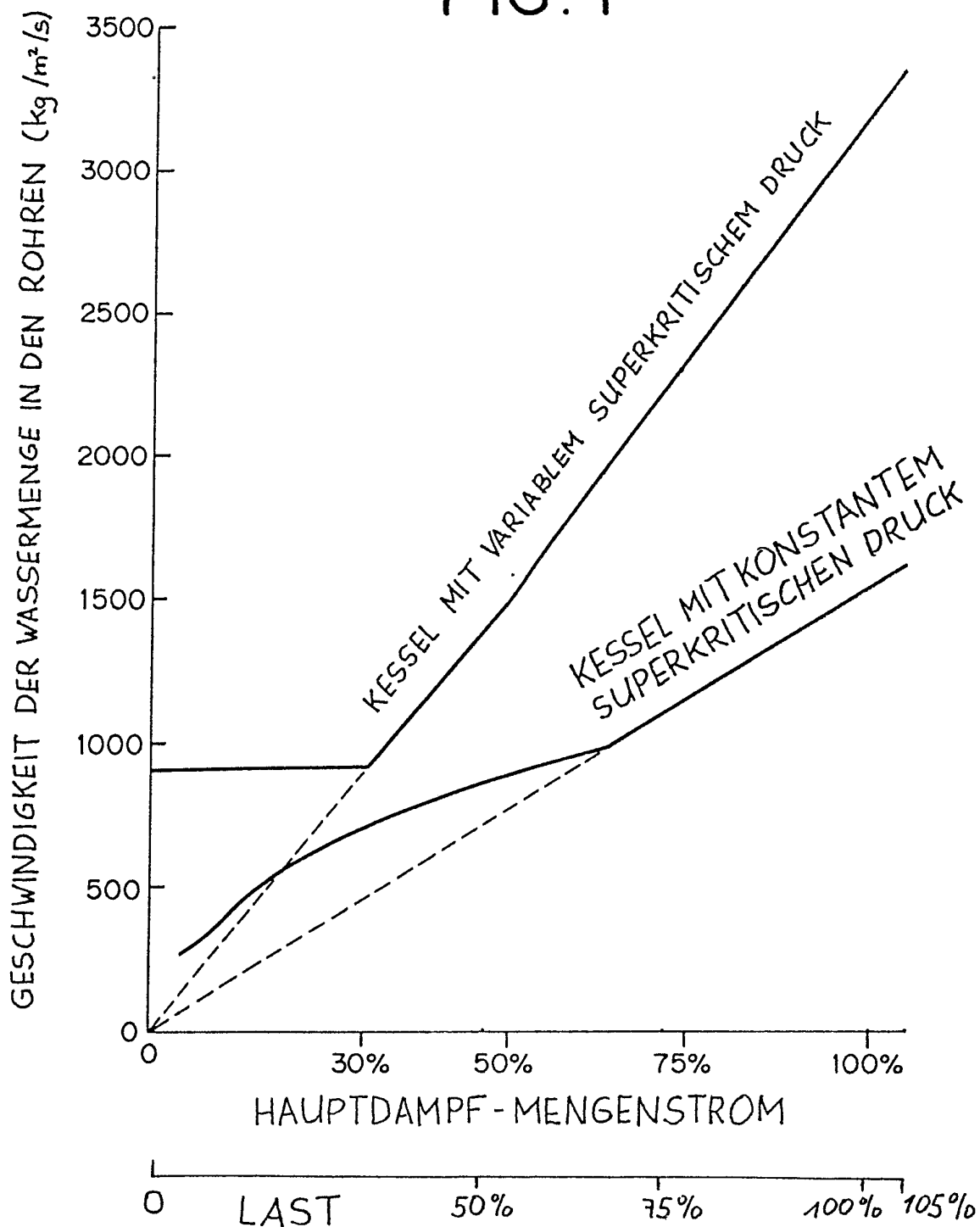


FIG. 2

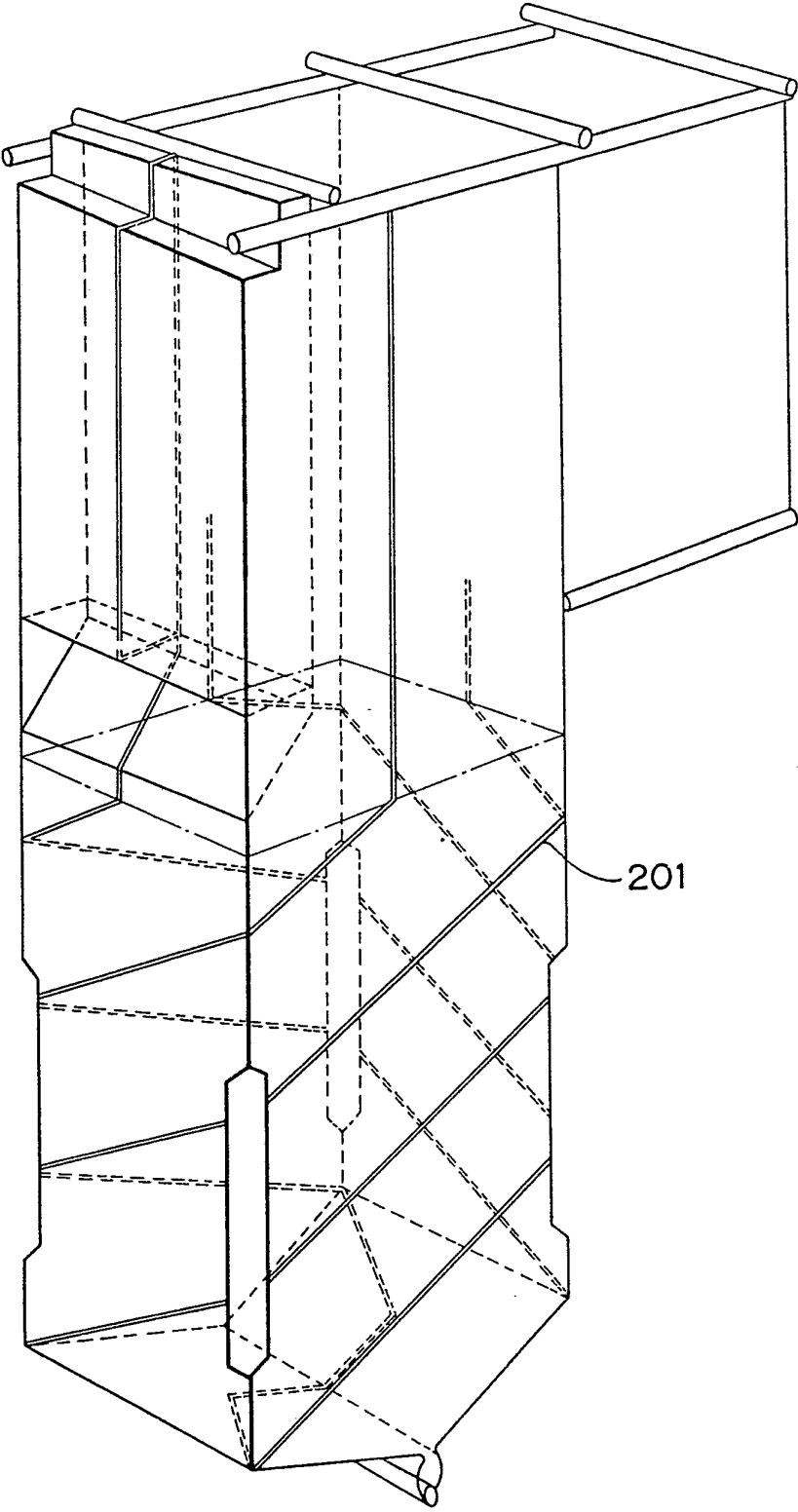


FIG. 3

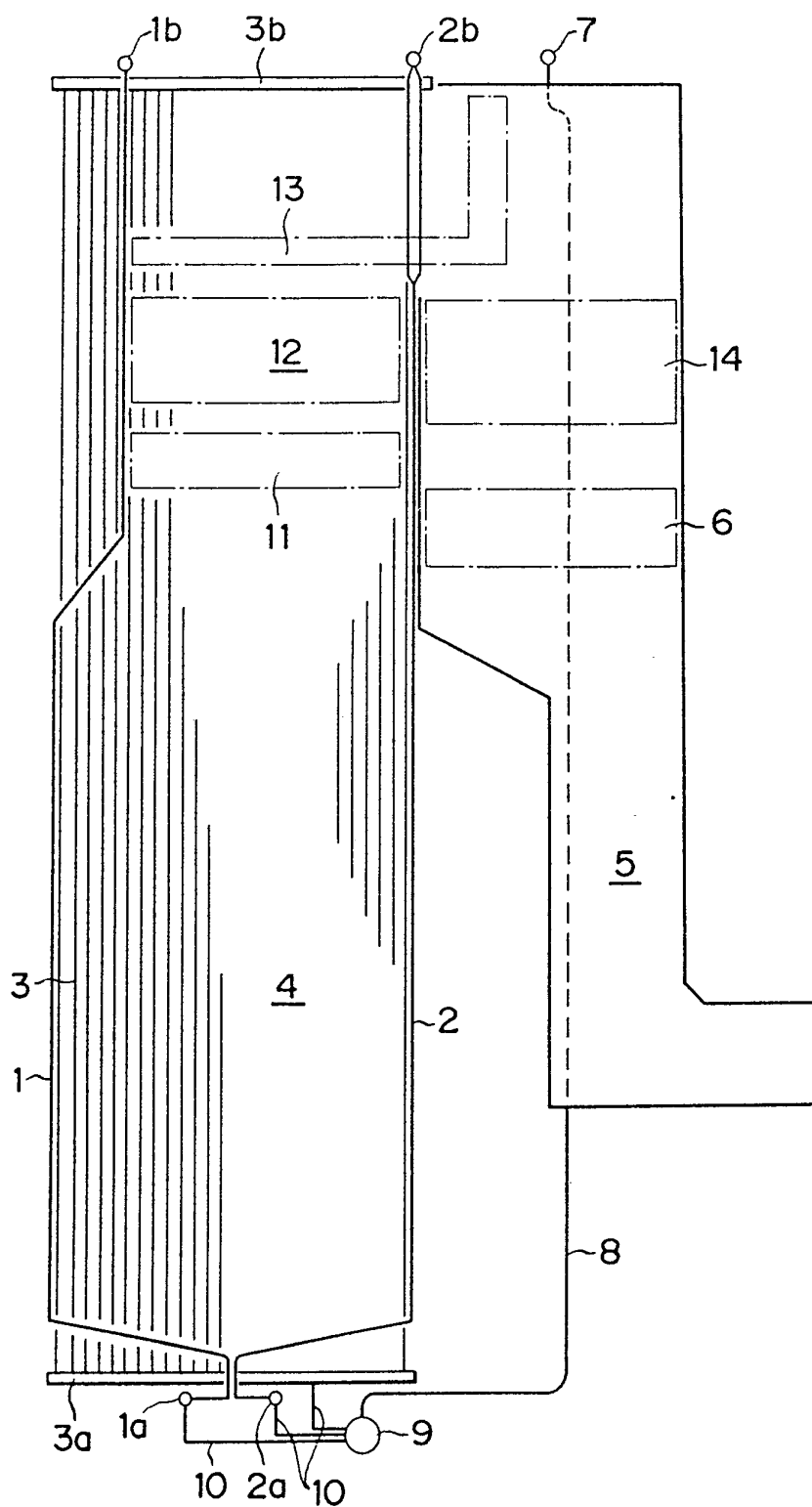


FIG. 4

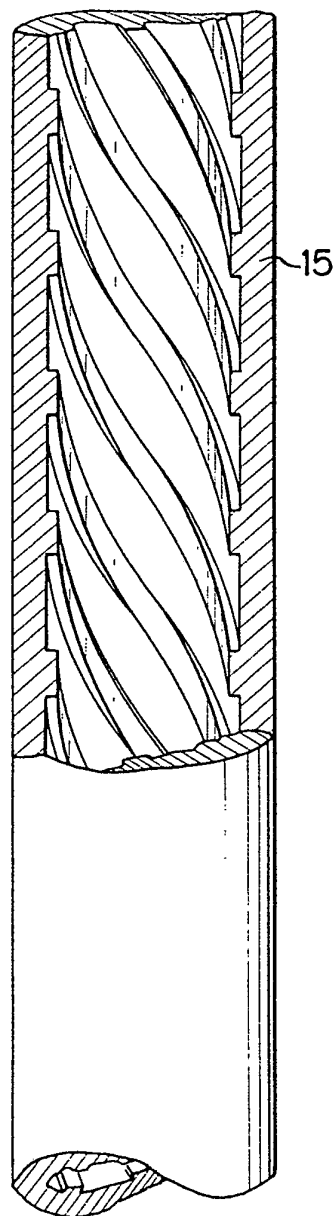


FIG. 5

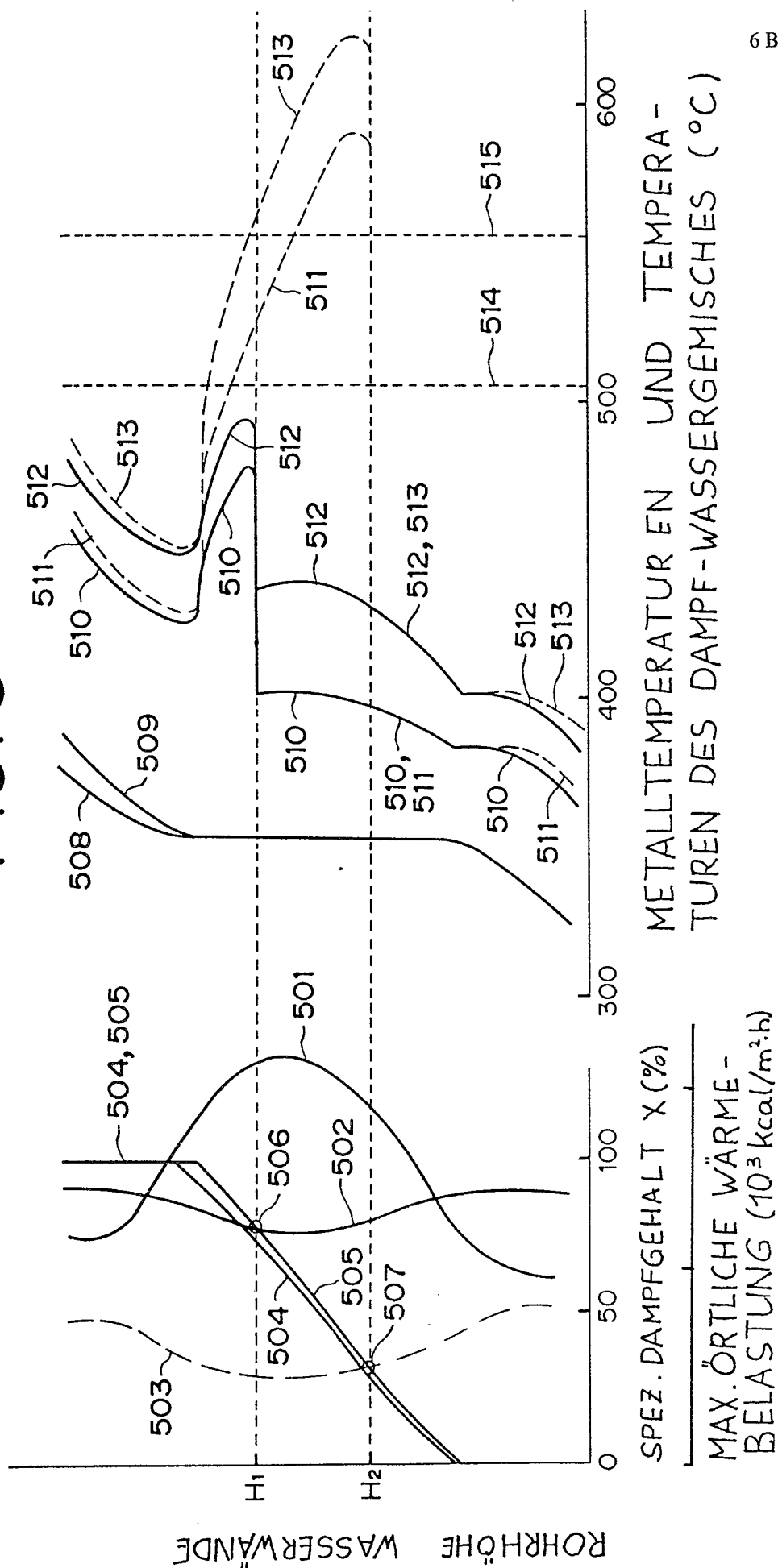


FIG. 6

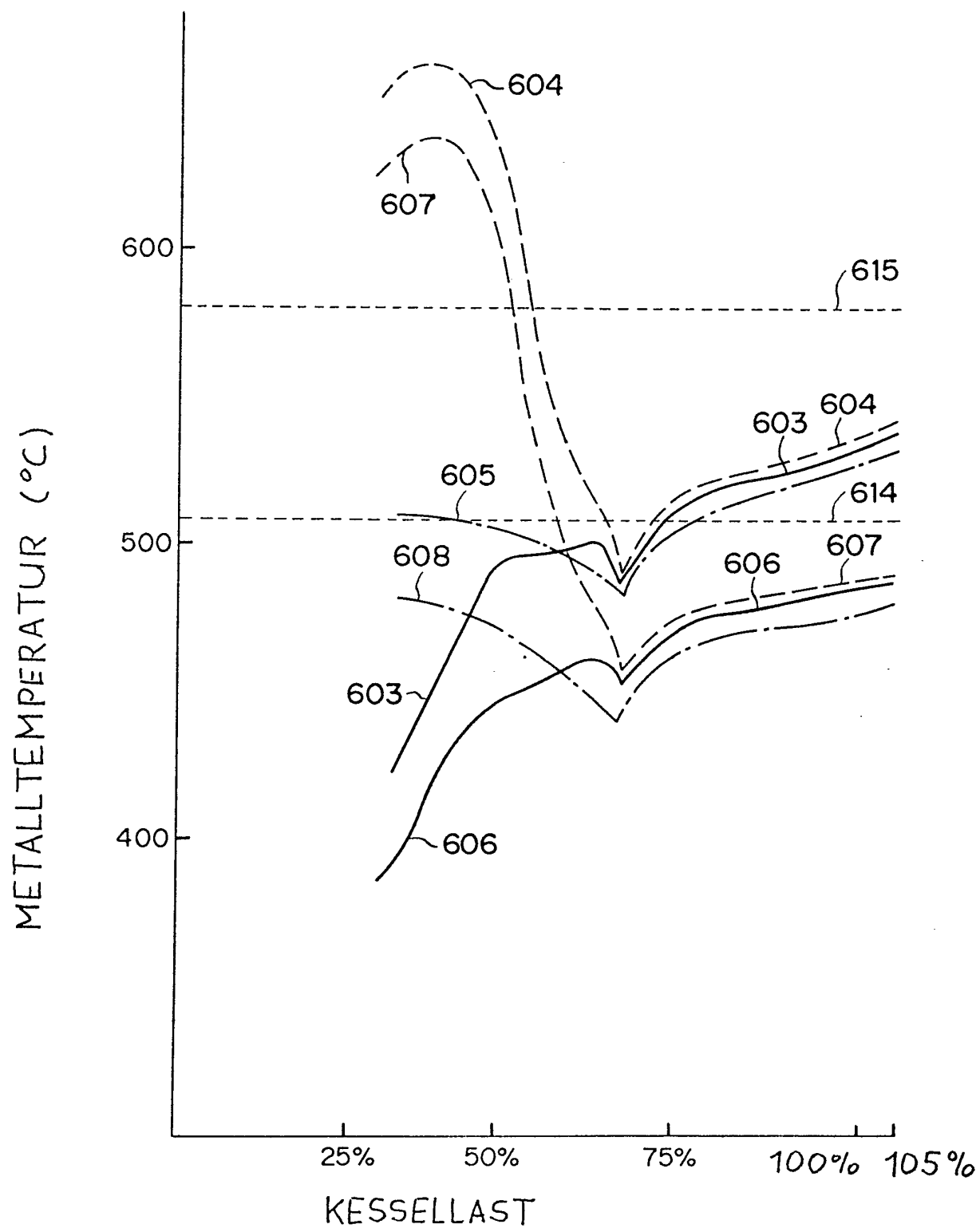


FIG. 7

