

(19)



Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets

(11)

Veröffentlichungsnummer: **0 015 535**
B1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45)

Veröffentlichungstag der Patentschrift: **13.06.84**

(51)

Int. Cl.³: **F 04 D 29/58**

(21)

Anmeldenummer: **80101077.8**

(22)

Anmeldetag: **04.03.80**

(54)

Verfahren zur kondensatfreien Zwischenkühlung verdichteter Gase.

(30)

Priorität: **12.03.79 DE 2909675**

(43)

Veröffentlichungstag der Anmeldung:
17.09.80 Patentblatt 80/19

(45)

Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:
13.06.84 Patentblatt 84/24

(84)

Benannte Vertragsstaaten:
CH FR GB IT

(56)

Entgegenhaltungen:
DE - A - 1 428 047
DE - A - 2 113 038
DE - B - 2 132 141

(73)

Patentinhaber: **Maschinenfabrik Augsburg-Nürnberg Aktiengesellschaft**
Bahnhofstrasse 66 Postfach 11 02 40
D-4200 Oberhausen 11 (DE)

(72)

Erfinder: **Blotenberg, Wilfried, Dipl.-Ing.**
Hasenstrasse 20
D-4200 Oberhausen 12 (DE)

EP 0 015 535 B1

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

Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur kondensatfreien Zwischenkühlung verdichteter Gase, wobei ein wesentlicher, den Zustand des zu verdichtenden Gases, wobei ein wesentlicher, den Zustand des zu verdichtenden Gases bestimmender Meßwert vor der ersten Verdichterstufe ermittelt wird und der Sollwert für den Zustand des Gases auf der Saugseite jeder der ersten folgenden Verdichterstufe mit Hilfe einer linearisierten Funktion berechnet wird.

Ein derartiges Verfahren, wie es z.B. aus der DE—AS 2 113 038 bekannt ist, ermöglicht zwar bereits eine gewisse Berechnung der zulässigen Temperaturen des zu verdichtenden Gases in den Zwischenkühlern, da bei dem bekannten Verfahren aber die Ansaugtemperatur gemessen wird und von einer relativen Feuchte von 100% ausgegangen wird, sind die berechneten Temperaturwerte nicht exakt genug, um optimale Meßwerte zu erhalten. Außerdem bleibt dort der recht beachtliche Einfluß des Kühlerdrucks unberücksichtigt. Die ermittelten Temperaturen sind also bei Betriebsdrücken, die unterhalb des maximal möglichen Kühlerdrucks liegen und bei relativen Ansaugfeuchten, die unter 100% liegen, nicht unwesentlich zu hoch. In Figur 1 der Auslegeschrift ist dabei das Verhältnis der Temperatur bei 100% relativer Feuchtigkeit zu der zu jeder Verdichterstufe gehörenden und vom Enddruck abhängigen zulässigen Temperatur angegeben. Diese Kurvenschar weist aber den angegebenen Mangel der ungenügend berücksichtigten Ausgangsfeuchte auf.

Der Wirkungsgrad der Anlage ist damit geringer als maximal möglich.

In der DE—B—2 132 141 wird weiterhin ein Verfahren zum kondensatfreien Betrieb von mehrstufigen Turbokompressoren beschrieben, bei welchem die Soll-Temperaturdifferenz einer Stufe durch eine logarithmische Gleichung festgelegt wird. Nachteilig hat es sich aber gezeigt, daß solche Gleichungen durch Analogrechner zu berechnen sind, die nicht nur einen sehr hohen Aufwand erfordern, sondern die auch relativ langsam arbeiten. Solche Analogrechner müssen insbesondere erst einen Trend erfassen, um eine exakte Berechnung vornehmen zu können und dadurch wird die Rechenzeit unzulässig hoch. Derartige Betriebsverfahren haben sich daher bisher noch nicht realisieren lassen.

Es ist jetzt Aufgabe der Erfindung, das eingangs genannte Verfahren dahingehend zu verbessern, daß die zulässige Kühlertemperatur jedes der Zwischenkühler mit geringem Aufwand nahezu exakt berechnet und kontrolliert werden kann, um so zum einen die bekannten Nachteile durch die Unterschreitung der zulässigen Taupunkttemperatur zu vermeiden, andererseits aber den Wirkungsgrad der Verdichtungsanlage so gut wie möglich zu

halten. Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß dadurch gelöst, daß die Taupunkttemperatur τ_a des zu verdichtenden Gases auf der Saugseite der ersten Verdichterstufe und der Druck p_i des zu verdichtenden Gases auf der Saugseite jeder der ersten folgenden Verdichterstufe gemessen wird und aus diesen Meßwerten an Hand einer Gleichung

$$T_i = a_i \cdot T_a + b_i \cdot p_i + c_i$$

die zulässige Kühlertemperatur T_i als Sollwert berechnet wird und weiterhin die Temperatur jeder der ersten folgenden Verdichterstufe als Istwert bestimmt wird, wobei a_i , b_i und c_i für jede Stufe einen Festwert haben.

Im folgenden wird ein Ausführungsbeispiel der Erfindung an Hand einer Schemazeichnung näher erläutert. Die Konstanten a_i und c_i , die in der Größenordnung 1—5 liegen, können mit handelsüblichen Regelsystemen durch mehrfache Addition der Meßgrößen zu sich selbst und anschließender Abschwächung in einem Spannungsteiler realisiert werden.

Es zeigen:

Figur 1 die Abhängigkeit des Taupunktes τ_2 nach der zweiten Verdichterstufe vom Taupunkt des Ausgangsgases τ_a für verschiedene Drücke (dargestellt sind der tatsächliche Verlauf und die dem erfindungsgemäßen Verfahren zugrunde liegende Näherung) und

Figur 2 ein Regelschema zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens.

Bei den verwendeten Symbolen kennzeichnen der Index a den Anfangszustand vor der ersten Verdichterstufe und der Index $i = 1, 2, 3 \dots$ die Zahl der erfolgten Verdichtungen.

Für Temperaturen bis etwa 60°C und Drücke bis 10 bar kann feuchte Luft näherungsweise als ideales Gasgemisch von Luft- und Wasserdampf betrachtet werden. Es gilt dann folgender Zusammenhang:

$$P_{D1} = \frac{P_{Da} \cdot p_i}{P_a} \quad (1)$$

Um den Taupunkt bei einem willkürlichen anderen Druck P_z zu erhalten, benötigt man den Taupunkt τ_1 beim Druck P_1 , liest aus der Gasdruckkurve den zugehörigen Partialdruck P_{D1} , errechnet mit Formel (1) den Partialdruck P_{D2} und erhält aus dem zugehörigen Punkt auf der Gasdruckkurve den Taupunkt τ_2 .

Für den Fachmann überraschend hat sich gezeigt, daß sich die Taupunkttemperatur τ_i auf beliebigem Druckniveau durch folgende Geradenapproximation hinreichend genau beschreiben läßt:

$$\tau_i = a_i \cdot \tau_a + b_i \cdot p_i + c_i' \quad (2)$$

Da die gewünschte Kühlertemperatur um eine Sicherheitsspanne oberhalb der Taupunkt-

temperatur liegen soll, ergibt sich die gewünschte Temperatur T_i zu

$$T_i = a_i \cdot \tau_a + b_i \cdot p_i + c_i \quad (3)$$

Diese Linearisierung hat den Vorteil daß man nur Temperaturänderungen zu berücksichtigen braucht. Wie eine Beispielrechnung zeigt, ergeben sich bei einem Approximationsbereich zwischen $\tau_a = 0 \dots 30^\circ\text{C}$ und $p_i = 4 \dots 6$ bar maximale Fehler von $1,5^\circ\text{C}$.

In der Figur 1 ist der Zusammenhang zwischen exaktem und angenähertem Verlauf graphisch dargestellt.

Die Konstanten können einfach berechnet werden, indem für drei Arbeitspunkte aus dem Approximationsbereich die exakten Taupunkttemperaturen aus den Dampfdrucktafeln entnommen und in die Geradengleichungen eingesetzt werden.

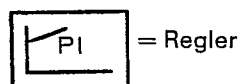
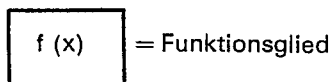
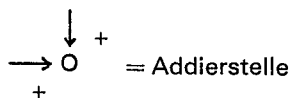
In Fig. 2, in der eine Regelanordnung zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens dargestellt ist, wurden folgende Symbole verwendet:

MT = Feuchtefühler

TE = Temperaturfühler

TT = Temperaturmeßumformer

PT = Druckmeßumformer



Das erfindungsgemäße Verfahren ermöglicht es, die Temperatur des Gases in Zwischenkühlern von Gasverdichtern mit einfachen Mitteln so zu regeln, daß der Wirkungskreis der Verdichteranlage nicht gemindert, die Ansaugleistung erhalten bleibt und ein dauerhafter korrosionsfreier Betrieb gesichert ist. Durch eine Linearisierung im jeweiligen Arbeitsbereich läßt sich die Regelung mit geringem Geräteaufwand zuverlässig durchführen. Weiterhin beziehen sich die vorstehenden Ausführungen sämtlich auf Temperaturen, die in Grad Celsius gemessen werden.

Patentanspruch

Verfahren zur kondensatfreien Zwischenkühlung verdichteter Gase, wobei ein wesent-

licher, den Zustand des zu verdichtenden Gases bestimmender Meßwert vor der ersten Verdichterstufe ermittelt wird und der Sollwert für den Zustand des Gases auf der Saugseite jeder der ersten folgenden Verdichterstufen mit Hilfe einer linearisierten Funktion berechnet wird, dadurch gekennzeichnet, daß die Taupunkttemperatur τ_a des zu verdichtenden Gases auf der Saugseite der ersten Verdichterstufe und der Druck p_i des zu verdichtenden Gases auf der Saugseite jeder der ersten folgenden Verdichterstufe gemessen wird und aus diesen Meßwerten an Hand einer Gleichung

$$T_i = a_i \cdot \tau_a + b_i p_i + c_i$$

die zulässige Kühler Temperatur T_i als Sollwert berechnet wird und weiterhin die Temperatur des zu verdichtenden Gases auf der Saugseite jeder der ersten folgenden Verdichterstufe als Istwert bestimmt wird, wobei a_i , b_i und c_i für jede Stufe einen Festwert haben.

Claim

A process for the intermediate cooling of compressed gases without condensate forming, in which process a basic quantity defining the condition of the gas for compression is measured before the first compressor stage and the set-value for the condition of the gas on the intake side of each of the compressor stages following the first is calculated by means of a linearized function, characterised in that the dewpoint temperature τ_a of the gas for compression on the intake side of the first compressor stage and the pressure p_i of the gas for compression on the intake side of each compressor stage following the first are measured and these measurements are used, by reference to the equation:

$$T_i = a_i \cdot \tau_a + b_i p_i + c_i$$

to calculate the permissible cooler temperature T_i as the set-value, and the temperature of the gas for compression on the intake side of each compressor stage following the first is determined as the actual value, a_i , b_i and c_i having fixed values for each stage.

Revendication

Procédé pour le refroidissement sans condensation de gaz comprimés, une valeur de mesure essentielle, déterminant l'état du gaz à comprimer, étant déterminée en amont du premier étage de compression et la valeur de consigne pour l'état du gaz sur le côté aspiration de chacun des étages de compression faisant suite au premier étant calculée à l'aide d'une fonction linéarisée, procédé caractérisé en ce que la température (τ_a) du point de rosée du gaz à comprimer sur le côté aspiration du premier étage de compression, et la pression

(p_i) du gaz à comprimer sur le côté aspiration de chacun des étages de compression faisant suite au premier, sont mesurées et qu'à partir de ces valeurs de mesure et à l'aide de l'égalité:

$$T_i = a_i \cdot \tau_a + b_i p_i + c_i$$

la température admissible T_i du refroidisseur est calculée sous la forme de valeur de consigne et, en outre, la température du gaz à comprimer sur le côté aspiration de chacun des étages de compression faisant suite au premier est déterminée sous forme de valeur réelle, a_i , b_i et c_i ayant une valeur fixe pour chaque étage.

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

4

0 015 535

