(19) DEUTSCHE DEMOKRATISCHE REPUBLIK

PATENTSCHRIFT

Wirtschaftspatent

Erteilt gemaeß § 5 Absatz 1 des Aenderungsgesetzes zum Patentgesetz

ISSN 0433-6461

(11) 204 908

Int.Cl.[3] 3(51) C 04 B 13/00
C 04 B 15/12
G 01 N 33/38

AMT FUER ERFINDUNGS- UND PATENTWESEN

In der vom Anmelder eingereichten Fassung veroeffentlicht

(21) WP C 04 B/ 2369 506 (22) 25.01.82 (44) 14.12.83

(71) AKADEMIE DER WISSENSCHAFTEN DER DDR;DD;
(72) PIRNER, JOCHEN,DIPL.-ING.;OLIEW, GERD,DIPL.-CHEM.;
WIEKER, WOLFGANG,PROF. DR. RER. NAT. HABIL.;DD;
(73) siehe (72)
(74) ADW DER DDR ZI FUER ANORGANISCHE CHEMIE - PATENTBUERO 1199 BERLIN RUDOWER CHAUSSEE 5

(54) VERFAHREN ZUR STEUERUNG DER WAERMEBEHANDLUNG WAEHREND DER HYDRATATION DES ZEMENTES IM BETON

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Steuerung der Wärmebehandlung während der Hydratation des Zementes im Beton. Zu diesem Zweck wird die Wärmezuführung bis zum Ende der in bekannter Weise ermittelten Induktionsperiode abgeschlossen, das Ende der beschleunigten Periode auf der Grundlage des Maximums der Eigenwärmeentwicklung im Beton bestimmt und danach die Wärmebehandlung in Abhängigkeit vom erreichten Niveau der einer definierten Funktion folgenden Festigkeitsentwicklung in der diffusionsgesteuerten Periode beendet. Die Erfindung ist für alle Verfahren der Schnellerhärtung von Betonen anwendbar, bei denen der Hydratationsprozeß des Zementes durch Erhöhung der Betontemperatur beschleunigt wird.

Berlin, den 25.01.198
253/4523/111

Verfahren zur Steuerung der Wärmebehandlung während der Hydratation des Zementes im Beton

Anwendungsgebiet der Erfindung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Steuerung der Wärmebehandlung während der Hydratation des Zementes im Beton. Die Erfindung ist für alle Verfahren der Schnellerhärtung von Beton anwendbar, bei denen die Hydratation des Zementes durch Erhöhung der Betontemperatur beschleunigt wird.

Charakteristik der bekannten technischen Lösungen

Zur Steuerung der Wärmebehandlung von Beton sind eine Reihe von Verfahren bekannt, deren Anwendung in der Praxis nicht realisierbar, zu aufwendig oder zu wenig effektiv ist.
So ist bekannt, durch eine Wärmebehandlungs-Eignungsprüfung das optimale Wärmebehandlungsprogramm durch Vergleichsprüfungen an Prüfkörpern zu ermitteln, bei denen unterschiedliche Wärmebehandlungsprogramme mit verschiedenen Zementgehalten anzuwenden sind (WP G 01 N 33/38; Nr. 74 365).
Dabei hat sich gezeigt, daß die Steuerung der Wärmebehandlung nach einem empirisch ermittelten Temperatur-Zeitprogramm infolge der bei der Produktion von Betonelementen wirkenden stofflichen und technologischen Einfluß- und Störgrößen keine optimalen Ergebnisse bewirkt und hohe Festigkeitseinbußen des wärmebehandelten Betons im Vergleich zum normalerhärteten Beton auftreten.

Das führt in der Praxis dazu, daß überhöhte Zementmengen eingesetzt und die Wärmebehandlungszeiten bei hohem Aufwand an Wärmeenergie verlängert werden müssen.
Zur Verringerung der Festigkeitseinbußen wurde schon vorgeschlagen, den Beton in einem geschlossenen Behandlungsraum mit einem Druck zu beaufschlagen, um so den auftretenden Strukturstörungen entgegenzuwirken (WP C 04 B 15/12; Nr. 142 038). Dadurch ergibt sich jedoch ein erhöhter anlagentechnischer und energetischer Aufwand, der die Ökonomie des Verfahrens stark belastet.
Weiter ist bekannt, die variable Temperatur und Zeit in Reifeformeln zu verknüpfen, um die für eine bestimmte Betonfestigkeit notwendige Wärmebehandlungszeit zu berechnen (s.a. Altner, Reichel: Betonschnellerhärtung; VEB Verl. f. Bauwesen, Berlin (1968) S. 46). Die in der Praxis festgestellten starken Schwankungen der Betonfestigkeit zum berechneten Zeitpunkt zeigen, daß diese empirisch gefundenen Abhängigkeiten den tatsächlichen Ablauf des Erhärtungsprozesses besonders bei der Wärmebehandlung nicht richtig wiedergeben.

Zur Untersuchung des Hydratationsablaufes von hydraulischen Bindemitteln sind verschiedene kalorimetrische Methoden bekannt. (Betontechnik 1 (1980), 5, 17...20) Auf der Basis der mit Differentialkalorimetern gemessenen Hydratationswärmeentwicklungsrate kann z.B. der Hydratationsablauf von Portlandzementen beurteilt werden, der durch verschiedene Hydratationsgeschwindigkeiten in der Induktionsperiode, der beschleunigten Periode und der diffusionsgesteuerten Periode gekennzeichnet ist. Der Nachteil dieser Meßmethoden liegt darin begründet, daß eine unmittelbare Messung am Beton nicht realisiert werden kann und andererseits eine unmittelbare Übertragung des an Zementsuspensionen labormäßig ermittelten Hydratationsablaufs auf den Beton infolge der im Produktionsprozeß wirkenden Störfaktoren nicht möglich ist.
Es ist schon vorgeschlagen worden, das Ende der Induktionsperiode durch eine Meßmethode direkt im Beton zu erfassen und in Abhängigkeit davon die Nachvibration des Betons zu

steuern. Eine Steuerung der Wärmebehandlung des Betons ist damit jedoch nicht gewährleistet (WP G 01 N/232 3985).

Ziel der Erfindung

Ziel der Erfindung ist, eine dem Hydratationsprozeß des Zementes im Beton entsprechende Wärmebehandlung zu erreichen, um Festigkeitseinbußen zu vermeiden und Zement und Wärmeenergie einzusparen.

Darlegung des Wesens der Erfindung

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, den Verlauf des Hydratationsprozesses des Zementes im Beton eindeutig zu bestimmen und in Abhängigkeit davon die Wärmebehandlung zu steuern.
Dies wird erfindungsgemäß dadurch erreicht, daß die Wärmezuführung bis zum Ende der in bekannter Weise ermittelten Induktionsperiode abgeschlossen, das Ende der beschleunigten Periode auf der Grundlage des Maximums der Eigenwärmeentwicklung im Beton bestimmt und danach die Wärmebehandlung in Abhängigkeit vom erreichten Niveau der einer definierten Funktion folgenden Festigkeitsentwicklung in der diffusionsgesteuerten Periode beendet wird.
Der Erfindung liegen folgende neue Erkenntnisse zugrunde:

Eine optimale Steuerung der Wärmebehandlung des Betons ist nur in Abhängigkeit vom tatsächlichen Verlauf des Hydratationsprozesses des Zementes, der durch die Induktionsperiode, die beschleunigte Periode und die diffusionsgesteuerte Periode gekennzeichnet ist, möglich. Mechanische und thermische Belastungen des Betons sind bis zum Ende der Induktionsperiode möglich, ohne daß Strukturstörungen auftreten.
Die beschleunigte Periode stellt die für den Beton kritische Phase der Festigkeitsbildung dar, in der mechanische und thermische Belastungen des Betons zu erheblichen Strukturstörungen und damit zu Festigkeitseinbußen führen.

Erst in der diffusionsgesteuerten Periode verläuft die Festigkeitsentwicklung des Betons nach einer definierten Funktion, die weitgehend unabhängig von der Betontemperatur ist. Infolge der bei der Produktion von Betonelementen wirkenden stofflichen und technologischen Einflußgrößen müssen die Endpunkte der Induktionsperiode und der beschleunigten Periode in Abhängigkeit vom tatsächlichen Prozeßablauf mit hoher Genauigkeit durch entsprechende Meßverfahren bestimmt werden.

Ausführungsbeispiele

An zwei Ausführungsbeispielen wird die Erfindung näher erläutert. Die Zeichnungen zeigen:

Fig. 1: Form mit Schalung, Vergleichsprobe sowie Meßanordnungen

Fig. 2: Das Schaubild zur Kennzeichnung des Endes der Induktionsperiode und der beschleunigten Periode des Betons auf der Basis von Stromwertverlauf und Temperaturdifferenzverlauf

Fig. 3: Das Schaubild zur Kennzeichnung der Funktion zwischen der Dauer der beschleunigten Periode und der Betontemperatur am Ende der Induktionsperiode

Fig. 4: Das Schaubild zur Kennzeichnung des Endes der Induktionsperiode, der beschleunigten Periode und der Wärmebehandlung auf der Basis des Verlaufs der Hydratationswärmeentwicklungsrate.

Beispiel 1

Die in Fig. 1 dargestellte und mit Beton 1 gefüllte Form weist den metallischen Formenboden 2, die Seitenschalung 3 und die inerte Vergleichsprobe 4 auf. Im Formenboden sind die Temperaturfühler 5 und 6 zur Bestimmung des Temperaturverlaufes im Beton 1 und der inerten Vergleichsprobe 4 angeordnet. Mit den Temperaturfühlern 5 und 6 wird gleichzeitig über eine nicht dargestellte Meßanordnung mit Anzeige 8 die

Temperaturdifferenz zwischen dem Beton 1 und der inerten Vergleichsprobe 4, deren wärmephysikalische Kennwerte dem Beton angeglichen sind, ermittelt.
Das Schutzrohr 7 des Temperaturfühlers 5 ist gegenüber dem Formenboden 2 elektrisch isoliert und bildet mit diesem ein Elektrodenpaar, das über einen Strommesser 9 an eine Wechselspannungsquelle 10 angeschlossen ist.

Die Wirkungsweise ist folgende.
In die Form nach Fig. 1 wird Beton eingebracht, verdichtet und die Wärmebehandlung durch Wärmezuführung eingeleitet. Die in der Aufheizphase auf den Beton wirkenden Zug- und Druckspannungen infolge der Ausbildung eines Temperaturgradienten über den Betonquerschnitt sowie der temperaturabhängigen Volumenzunahme, insbesondere des Wassers und der feuchten Luft im Beton, führen bis zum Ende der Induktionsperiode zu keiner Schädigung der Betonstruktur. In Verbindung mit einer Nachvibration am Ende der Induktionsperiode lassen sich bekanntermeise sogar Festigkeitsgewinne erzielen, da hierdurch die primär gebildete lockere Aluminatstruktur, die der Ausgangspunkt von Defekten in der sich sekundär bildenden Silikatstruktur ist, zerstört wird. Am Ende der Induktionsperiode wird die Wärmezufuhr abgeschlossen, damit sich in der anschließenden, für die Festigkeitsbildung kritischen beschleunigten Periode, ein weitgehend isothermer Zustand über den Betonquerschnitt ausbilden kann. Die schnelle Ausbildung dieses für eine ungestörte Festigkeitsbildung im Sinne der Erfindung gewünschten Zustandes wird dadurch gefördert, daß mit Beginn der beschleunigten Periode die Eigenwärmeentwicklung im Beton einsetzt, und damit der noch vorhandene Temperaturgradient durch Umkehrung des Wärmestromes ausgeglichen wird.

Die Bestimmung des Endes der Induktionsperiode erfolgt bekanntermeise dadurch, daß an den in die Form nach Fig. 1 eingebrachten Beton 1 über das Elektrodenpaar 2 und 7 eine Wechselspannung 10 angelegt, der dadurch bedingte Stromwert über die Anzeige 9 gemessen und der Meßwert als Signal verwendet

wird, indem der Abfall des Meßwertes von einem Stromwertmaximum ermittelt und diese Zeit t_1 nach Fig. 2 dem Ende der Induktionsperiode gleichgesetzt wird.

Am Ende der beschleunigten Periode hat der Beton die für ihn kritische Phase der Festigkeitsbildung durchlaufen und ein charakteristisches Festigkeitsniveau erreicht. Die weitere Festigkeitsentwicklung des Betons folgt einer definierten Funktion, die der durch Diffusion gesteuerten Hydratationsgeschwindigkeit des Zementes proportional ist.
Auf dieser Basis wird in der diffusionsgesteuerten Periode die Entwicklung der Betonfestigkeit mit hoher Genauigkeit vorausbestimmt und die Wärmebehandlung zu einem Zeitpunkt beendet, bei dem der Beton eine vorgegebene Grenzfestigkeit erreicht hat.

Erfindungsgemäß erfolgt die Bestimmung des Endes der beschleunigten Periode dadurch, daß mit den Temperaturfühlern 5 und 6 nach Fig. 1 die Temperaturdifferenz zwischen dem Beton 1 und der inerten Vergleichsprobe 4 gemessen und der Meßwert als Signal verwendet wird, indem der Abfall des Meßwertes vom Maximum der Temperaturdifferenz über die Anzeige 8 ermittelt und diese Zeit t_2 nach Fig. 2 dem Ende der beschleunigten Periode gleichgesetzt wird.
Nach einem vereinfachten Verfahren kann erfindungsgemäß das Ende der beschleunigten Periode auch auf der Grundlage des funktionalen Zusammenhangs zwischen der Dauer der beschleunigten Periode und der Betontemperatur am Ende der Induktionsperiode bei vergleichbaren Betonchargen ermittelt werden.

Hierzu wird am Ende der Induktionsperiode mit dem Temperaturfühler 5 nach Fig. 1 die Betontemperatur gemessen und entsprechend der in Fig. 3 dargestellten Funktion 13 die Dauer und damit das Ende der beschleunigten Periode bestimmt.

Beispiel 2

Abweichend von dem in Beispiel 1 beschriebenen Verfahren wird eine der jeweiligen Betoncharge entsprechende Zementmörtelprobe in ein Differentialkalorimeter eingebracht. Dieses ist

mit einer Heizung versehen, durch die über eine Regeleinrichtung die Innentemperatur des Kalorimeters nach der mit Hilfe des Meßfühlers 5 nach Fig. 1 bestimmten Betontemperatur gesteuert wird. Die im Differentialkalorimeter gemessene Abhängigkeit der Wärmeentwicklungsrate q von der Zeit t ergibt die in Fig. 4 dargestellte Kurve 14, aus der das Ende der Induktionsperiode zum Zeitpunkt t_1 und das Ende der beschleunigten Periode zum Zeitpunkt t_2 ermittelt werden.
Die Steuerung der Wärmebehandlung in Abhängigkeit von t_1 und t_2 erfolgt entsprechend dem in Beispiel 1 beschriebenen Verfahren.
Die Wärmebehandlung wird in Abhängigkeit vom Erreichen eines unteren Grenzwertes q_3 der Wärmeentwicklungsrate zum Zeitpunkt t_3 nach Fig. 4 beendet.

Durch die Erfindung werden folgende Vorteile erreicht:

- Vermeidung von Strukturstörungen und damit von Festigkeitseinbußen des wärmebehandelten Betons.
- Einsparung von Wärmeenergie durch optimale Nutzung der Hydratationswärme des Zementes im Prozeß der Wärmebehandlung.
- Abschluß der Wärmebehandlung bei Erreichang eines festgelegten Festigkeitsniveaus und dadurch Verringerung der Wärmebehandlungszeit.
- Beurteilung des Erhärtungsverlaufes von Betonen in Abhängigkeit von verschiedenen stofflichen und technologischen Einflußgrößen.

236950 6

Erfindungsanspruch

1. Verfahren zur Steuerung der Wärmebehandlung während der Hydratation des Zementes im Beton, gekennzeichnet dadurch, daß die Wärmezuführung bis zum Ende der in bekannter Weise ermittelten Induktionsperiode abgeschlossen, das Ende der beschleunigten Periode auf der Grundlage des Maximums der Eigenwärmeentwicklung im Beton bestimmt und danach die Wärmebehandlung in Abhängigkeit vom erreichten Niveau der einer definierten Funktion folgenden Festigkeitsentwicklung in der diffusionsgesteuerten Periode beendet wird.
2. Verfahren nach Punkt 1, gekennzeichnet dadurch, daß das Maximum der Eigenwärmeentwicklung im Beton auf der Grundlage einer Differenzmessung der Temperaturen im Beton und in einer inerten Vergleichsprobe bestimmt wird, wobei der Beton und die Vergleichsprobe in gleicher Weise wärmebehandelt sind.
3. Verfahren nach Punkt 1, gekennzeichnet dadurch, daß das Ende der beschleunigten Periode auf der Grundlage der Funktion zwischen der Betontemperatur am Ende der Induktionsperiode und der Dauer der beschleunigten Periode bei vergleichbaren Betonchargen ermittelt wird.
4. Verfahren nach Punkt 1, gekennzeichnet dadurch, daß das Ende der beschleunigten Periode im Beton auf der Grundlage der mit einem Differentialkalorimeter gemessenen Hydratationswärmeentwicklungsrate einer dem Beton entsprechenden Zementmörtelprobe bestimmt wird, wobei die Temperatur im Differentialkalorimeter nach dem Temperaturverlauf im Beton gesteuert wird.
5. Verfahren nach Punkt 1 und 4, gekennzeichnet dadurch, daß die Wärmebehandlung des Beton in der diffusionsgesteuerten Periode nach Erreichen eines unteren Grenzwertes der mit einem Differentialkalorimeter bestimmten Hydratationswärmeentwicklungsrate einer dem Beton entsprechenden Zementmörtelprobe beendet wird.

Hierzu 2 Seiten Zeichnungen

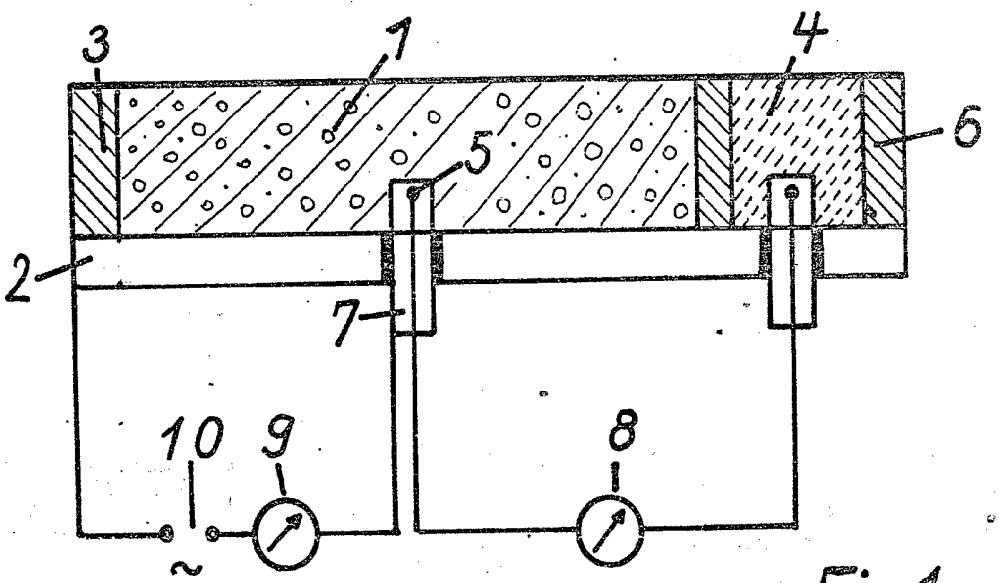


Fig.1

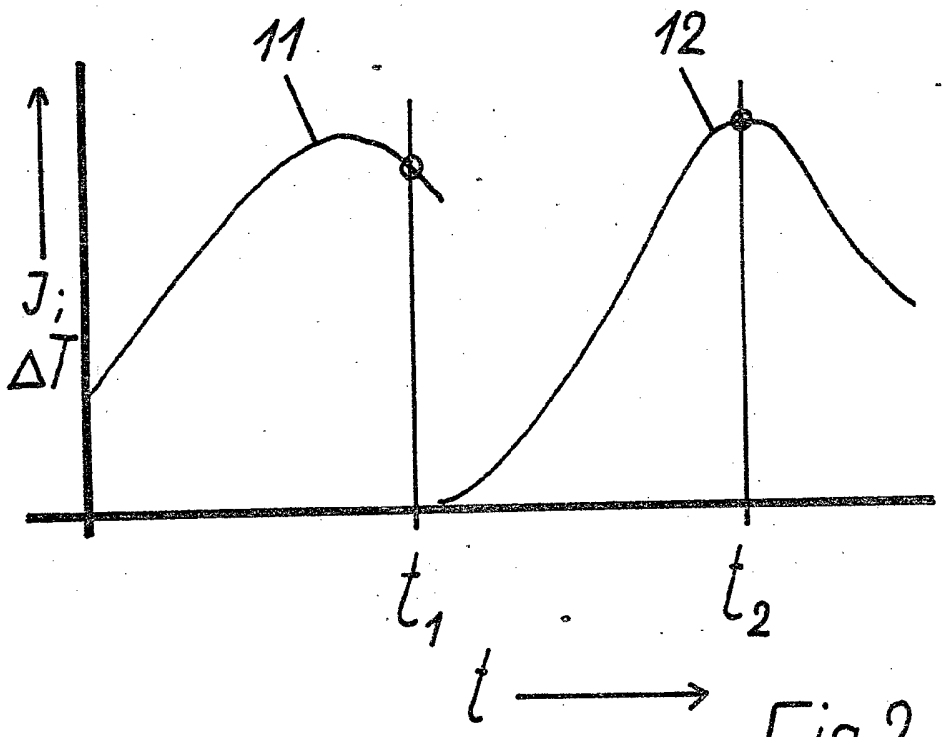


Fig.2

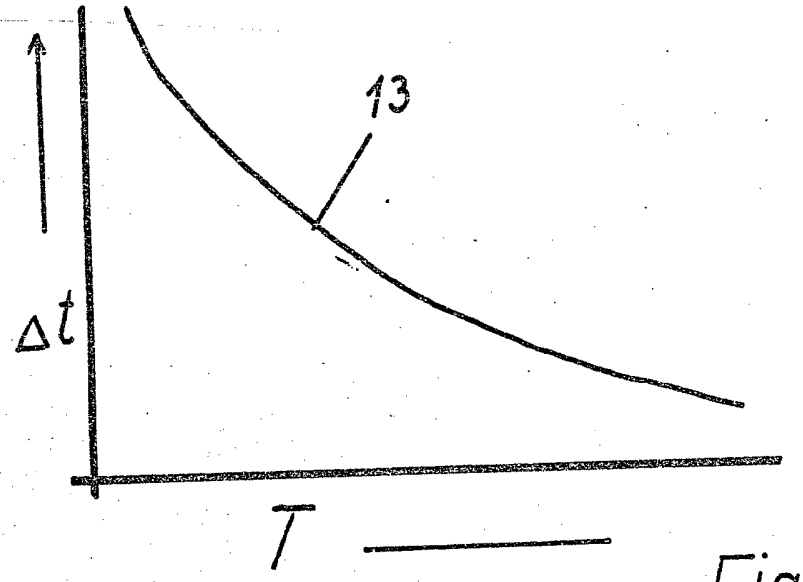


Fig.3

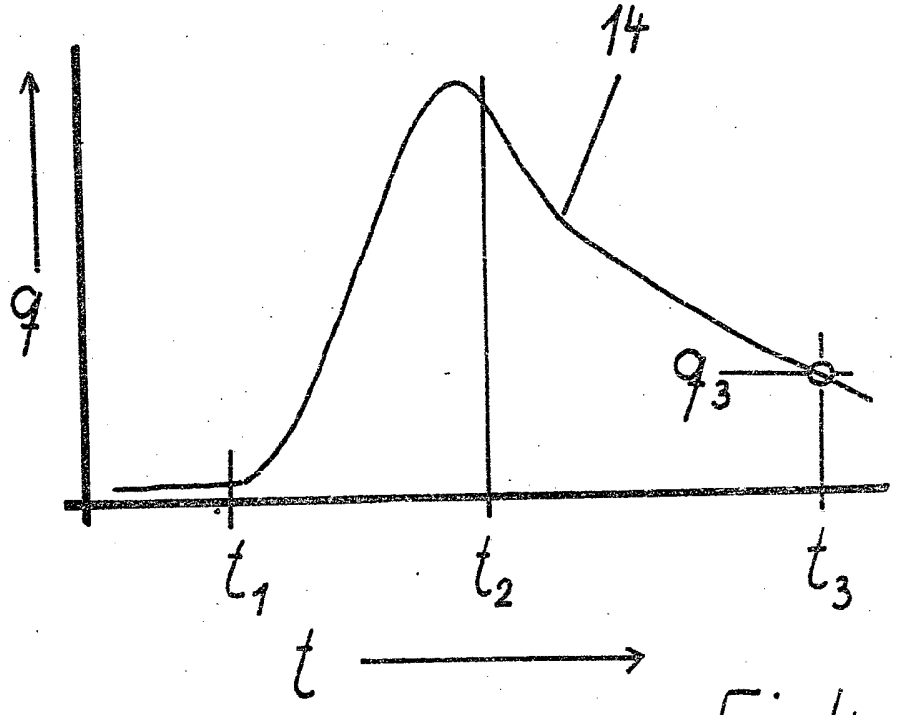


Fig.4