



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 101 22 112 B4** 2009.07.02

(12)

Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **101 22 112.6**
(22) Anmeldetag: **07.05.2001**
(43) Offenlegungstag: **29.11.2001**
(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: **02.07.2009**

(51) Int Cl.⁸: **G01N 33/38** (2006.01)
G01N 25/00 (2006.01)
G01N 3/00 (2006.01)
G01N 19/00 (2006.01)
G01M 19/00 (2006.01)
G01K 5/50 (2006.01)

Innerhalb von drei Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

(30) Unionspriorität:
2000-24439 08.05.2000 KR

(73) Patentinhaber:
Korea Advanced Institute of Science and Technology, Taejon, KR

(74) Vertreter:
BOEHMERT & BOEHMERT, 28209 Bremen

(72) Erfinder:
Kim, Jin Keun, Taejon, KR; Jeon, Sang Eun, Taejon, KR; Kim, Kook Han, Kyoungsangnamdo, KR

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht gezogene Druckschriften:

DE 195 39 987 A1
FR 15 31 626 A

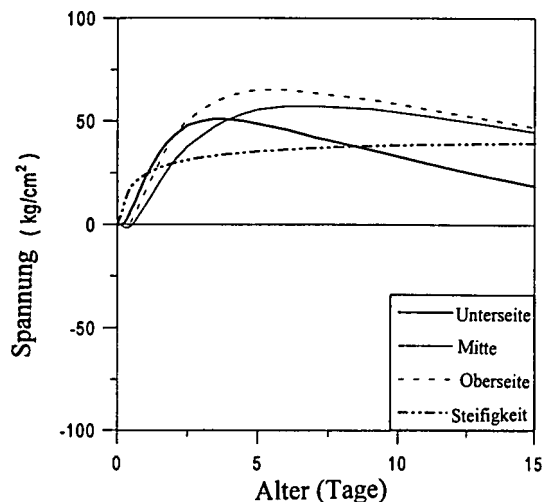
Breitenbücher, R.: Investigation of thermal cracking with the cracking-frame. In: Materials and Structures, 1990, Vol. 23, S. 172-177

Breitenbücher, R.: Zwangsspannung und Rißbildung infolge Hydrationswärme", 1989, Dissertation am Lehrstuhl für Baustoffkunde und Werkstoffprüfung. Technische Universität München, S. 49-72

Tazawa, Ei-ichi, Iida, Kazuhiko: Mechanism of thermal stress generation due to hydration heat of concrete. In: Transactions of the Japan Concrete Institute, 1983, Vol. 5, S. 119-126

(54) Bezeichnung: **Vorrichtung zur Messung von Wärmespannungen von Betonbauten**

(57) Hauptanspruch: Vorrichtung zur Messung von Wärmespannungen von Betonbauten mit:
einem oberen Stahlrahmenteil (11) und einem unteren Stahlrahmenteil (11),
zwei das obere (11) mit dem unteren Stahlrahmenteil (11) verbindende Metallplatten (13, 13), die in einem Abstand voneinander angeordnet sind, um einen Rahmen zu bilden, der darin Beton (12) einschließt, wobei die Metallplatten (13, 13) durch Bolzen (17) mit den Stahlrahmenteilten verbunden sind und einen anderen Wärmeausdehnungskoeffizienten als Beton (12) aufweisen und die oberen und unteren Stahlrahmenteilte (11, 11) so ausgebildet sind, daß die oberen und unteren Endabschnitte des eingeschlossenen Betons (12) T-förmig ausgebildet werden, Zellophanband (16), das den Beton (12), der zu den Metallplatten (13, 13) freiliegt, umgibt, um eine Leckage des darin eingeschlossenen Betons (12) zu verhindern, einem Dehnungsmesser (15), der an einer der Metallplatten (13, 13) angebracht ist, und einem Betondehnungsmesser (14), der in dem Beton (12) eingebettet ist, wobei die Metallplatten (13, 13) aus...



Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft eine Vorrichtung zur Messung von Wärmespannungen von Betonbauten. Insbesondere betrifft die vorliegende Erfindung eine Vorrichtung zur Messung von Wärmespannungen, die der von Betonbauten erzeugten Hydrationswärme zugeschrieben werden, wobei die Vorrichtung anstelle von herkömmlichen Analysetechniken bzw. Experimenten, die an echten Betonbauten durchgeführt werden, im Labor verwendet werden kann.

[0002] Kürzlich ist die aktive Forschung auf die Entwicklung von Zement gerichtet worden, der bei Hydratation keine Wärme erzeugt, da die Hydrationswärme beträchtliche Probleme bei der Konstruktion von massiven Betonbauten bzw. beim Verwirklichen von hochfestem Beton verursacht. Ein Betonbau unterliegt einer durch die Hydrationswärme von Zement verursachten Wärmespannung entsprechend Begrenzungsbedingungen an seinen inneren und äußeren Teilen. In extremen Fällen kann die Wärmespannung Risse in Betonbauten verursachen, wodurch deren Brauchbarkeit, Wasserdichtheit und Beständigkeit verschlechtert werden.

[0003] Es ist somit sehr wichtig, den Einfluß der Hydrationswärme auf den Wärmespannungsgrad und das Auftreten von Rissen quantitativ zu untersuchen. Allgemein werden in Betonbauten erzeugte Wärmespannungen analytisch oder experimentell geschlußfolgert.

[0004] Für analytische Rückschlüsse werden gewöhnlich Finite-Elemente-Methoden verwendet, in denen eine Vielzahl von Konstruktionsbedingungen wirksam moduliert werden kann. Die experimentelle Methode, um Rückschlüsse auf Wärmespannungen zu erhalten, wird in zwei Arten aufgespalten: Die eine besteht darin, Geräte und Meßapparate direkt auf echte bzw. Modellbauten anzuwenden; und die andere besteht darin, Testvorrichtungen zum Messen von Wärmespannungen zu verwenden, die für Laborzwecke hergestellt werden.

[0005] Da sie Annahmen hinsichtlich des Verhaltens aller Parameter macht, kann die analytische Methode ungenaue Ergebnisse für frischen Beton liefern, dessen physikalische Eigenschaften nicht klar bestimmt werden können. Dieses Problem wird auch nicht leicht durch die echte bzw. Modellbauten verwendende experimentelle Methode gelöst. Zusätzlich leidet die experimentelle Methode an dem Nachteil, daß sie große Ausgaben erfordert, da das Experiment während der Konstruktion durchgeführt werden muß.

[0006] Die Testvorrichtungen, von denen die meisten in Deutschland oder Japan hergestellt werden, sind sehr teuer und weisen Schwierigkeiten beim Modulieren von tatsächlichen Wärmespannungen auf, die in Betonbauten erzeugt werden. Zusätzlich können die Vorrichtungen nicht die Wärmespannungsänderungen des Baus detektieren, der inneren und äußeren Begrenzungen unterliegt. Die Änderung der von der Innenseite eines Baus erzeugten Spannung, der, wie es in **Fig. 1a** gezeigt ist, inneren und äußeren Begrenzungen unterliegt, weist die Neigung auf, entgegengesetzt zu der Änderung der Spannung zu sein, die am Umfangsbereich des Baus erzeugt wird, der, wie es in **Fig. 1b** gezeigt ist, inneren Begrenzungen unterliegt. Derartige Vorrichtungen können diese Neigung nicht effektiv widerspiegeln. Außerdem sind die Testvorrichtungen ökonomisch ungünstig, indem zusätzliche Geräte zum Beschreiben der thermischen Änderung an gewissen Orten des Baus erforderlich sind.

[0007] Tazawa und Iida (Transaction of the Japan Concrete Institute, Vol. 5, E. Tazawa und K. Iida, Seiten 119–126) schlagen eine Warmrißtestvorrichtung vor, die aus vier Edelstahlrohren und Platten besteht, die über Mutter an den gegenüberliegenden Enden der Rohre befestigt sind. Ein Dehnungsmesser ist an den Rohren vorgesehen, durch die Wasser mit einer vorab festgelegten Temperatur im Kreislauf fließen gelassen wird. Ein Labor, in dem eine Probe plaziert ist, wird geeignet temperaturkontrolliert, um die durch Temperaturanalyse erhaltene thermische Hysterese zu verkörpern. Der Begrenzungsgrad wird entsprechend der Änderung der Steifigkeit der Rohre und der Temperatur des zirkulierenden Wassers bestimmt.

[0008] Nach Durchführung eines Experiments unter semi-adiabatischen Bedingungen führte Breitenbucher (Material and Structures, Vol. 23, R. Breitenbucher, Seiten 172–177) einen Berstrahlen ein, der gestaltet ist, um die Temperatur des Betons durch Einbetten eines Kupferrohres in einer Form beliebig zu kontrollieren.

[0009] Eine Temperaturspannungstestmaschine wurde in Proceedings of the International RILEM Symposium 1994, R. Springenschmid und R. Breitenbucher, Seiten 137–144 beschrieben, die in der gesamten mechanischen Ausführung und Gestaltung mit dem Berstrahlen identisch ist, aber sich darin unterscheidet, daß die Wärmespannung über eine auf einem Kreuzkopfteil installierte Kraftmeßdose gemessen wird, während ein Betonversatz durch Verwendung eines Schrittmotors kontrolliert wird.

[0010] Aus „Zwangsspannung und Rissbildung infolge Hydratationswärme“, 1989, Dissertation am Lehrstuhl für Baustoffkunde und Werkstoffprüfung, Technische Universität München, Seiten 49–72, von R. Breitenbücher ist eine Vorrichtung zur Messung von Wärmespannungen in Betonbauteilen bekannt, bei der ein Dehnungsmesser auf den Beton aufgebracht wird. Zur Untersuchung der Wärmespannung von Beton wird der Reissrahmen in eine Klimakammer gesetzt und die Dehnung des Betons in Abhängigkeit von der Temperatur gemessen.

[0011] Die oben beschriebenen herkömmlichen Techniken unterscheiden sich jedoch von der Erfindung im technischen Aufbau.

[0012] Es ist eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, eine (Test) Vorrichtung zum Messen von Wärmespannungen bereitzustellen, die im Inneren von Betonbauten erzeugte Wärmespannungen genau und direkt messen kann.

[0013] Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe gelöst durch eine Vorrichtung zur Messung von Wärmespannungen von Betonbauten mit: einem oberen Stahlrahmenteil und einem unteren Stahlrahmenteil, zwei das obere mit dem unteren Stahlrahmenteil verbindende Metallplatten, die in einem Abstand voneinander angeordnet sind, um einen Rahmen zu bilden, der darin Beton einschließt, wobei die Metallplatten durch Bolzen mit den Stahlrahmenteilen verbunden sind und einen anderen Wärmeausdehnungskoeffizienten als Beton aufweisen und die oberen und unteren Stahlrahmenteile so ausgebildet sind, dass die oberen und unteren Endabschnitte des eingeschlossenen Betons T-förmig ausgebildet werden, Zellophanband, das den Beton, der zu den Metallplatten freiliegt, umgibt, um eine Leckage des darin eingeschlossenen Betons zu verhindern, einem Dehnungsmesser, der an einer der Metallplatten angebracht ist, und einem Betondehnungsmesser, der in dem Beton eingebettet ist, wobei die Metallplatten aus Aluminium mit einem größeren Wärmeausdehnungskoeffizienten als derjenige von Beton hergestellt sind.

[0014] Der Erfindung liegt die überraschende Erkenntnis zugrunde, daß durch die Verwendung eines Materials mit einem anderen Wärmeausdehnungskoeffizienten als Beton den inneren und äußeren Begrenzungen Rechnung getragen werden kann.

[0015] Weitere Merkmale und Vorteile der Erfindung ergeben sich aus den Ansprüchen und aus der nachstehenden Beschreibung, in der Ausführungsbeispiele anhand der schematischen Zeichnungen im einzelnen erläutert sind. Dabei zeigt:

[0016] [Fig. 1](#) Kurven, in denen im äußeren Teil (a) und im inneren Teil (b) eines Betonbaus erzeugte Spannungen gegen die Zeit aufgetragen sind;

[0017] [Fig. 2](#) eine Vorrichtung zur Messung von Wärmespannungen von Betonbauten in einer Querschnittsansicht (a), in einer Seitenansicht (b) und in einer Draufsicht (c) und einen in der Vorrichtung verwendeten Bolzen;

[0018] [Fig. 3](#) eine Vorrichtung zur Messung von Wärmespannungen von Betonbauten, die mit einem Dehnungsmesser und Temperatursensoren ausgestattet ist, in einer Querschnittsansicht (a) und in einer Seitenansicht (b).

[0019] [Fig. 4](#) eine Temperatur- und Feuchtigkeitskammer, in der die Vorrichtung platziert ist;

[0020] [Fig. 5](#) eine Grafik, die die in einem Experiment verwendeten Temperaturhysteresen zeigt;

[0021] [Fig. 6](#) Kurven, in denen Elastizitätsmodule für Begrenzungsbedingungen gegen die Zeit aufgetragen sind;

[0022] [Fig. 7](#) durch Verwendung einer Aluminiumplatte erhaltene Kurven, in denen die Temperatur (a) und die Spannung (b) des Betons gegen die Zeit aufgetragen sind;

[0023] [Fig. 8](#) durch Verwendung einer Invarplatte erhaltene Kurven, in denen die Temperatur (a) und die Spannung (b) des Betons gegen die Zeit aufgetragen sind;

[0024] [Fig. 9](#) die Zuverlässigkeit der Vorrichtung gemäß der vorliegenden Erfindung demonstrierende Kurven, in denen die anhand von eingebetteten Dehnungsmessern gemessenen Dehnungsmodule gegen die Zeit

aufgetragen sind (a) und die Spannungen einer Betonprobe, die anhand der Ergebnisse von den eingebetteten Dehnungsmessern und der Spannung der Platte berechnet worden sind, verglichen sind.

[0025] Die Anwendung der bevorzugten Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung wird am besten unter Bezugnahme auf die beigefügten Zeichnungen verständlich, in denen gleiche Bezugszeichen für gleiche und entsprechende Teile verwendet werden.

[0026] Unter Bezugnahme auf [Fig. 2](#) ist dort eine Vorrichtung gemäß einer besonderen Ausführungsform der Erfindung in einer Querschnittsansicht (a), in einer Seitenansicht (b) und in einer Draufsicht (c) gezeigt. **Fig. 2d** zeigt eine in der Vorrichtung verwendete Schraube. Wie es in [Fig. 2](#) zu sehen ist, ist die Vorrichtung im wesentlichen in zwei Teile untergliedert: Strahlramenteile **11** und eine Metallplatte **13**, die die Strahlramenteile **11** miteinander verbindet. Die Strahlramenteile **11** sind in Form eines T gestaltet, damit die Vorrichtung sich in einer integrierten Weise verhält, während die verbindende Metallplatte aus einem Material hergestellt ist, das sich im Wärmeausdehnungskoeffizienten vom Beton unterscheidet. Es handelt sich bei dem Material um Aluminium, dessen Wärmeausdehnungskoeffizient größer als derjenige von Beton ist.

[0027] Wie es in [Fig. 2](#) zu sehen ist, liegt das Hauptmerkmal der Vorrichtung in der Metallplatte **13**, die zwischen den Strahlramenteilen **11** angeordnet ist. Wenn die Metallplatte **13** einen Wärmeausdehnungskoeffizienten von Null oder einen Wärmeleitkoeffizienten von Null aufweist, kann damit ein vollständiger Begrenzungszustand des Betons beschrieben werden. In Anbetracht dessen, daß es keine Materialien gibt, die derartige Eigenschaften aufweisen, werden Metallplatten mit unterschiedlichen Wärmeausdehnungskoeffizienten rekrutiert, um innere und äußere Begrenzungen in dem Beton effektiv zu simulieren. Wenn der Wärmeausdehnungskoeffizient der verwendeten Metallplatte kleiner als derjenige des Betons ist, unterliegt der Beton einer Druckspannung bei Temperaturerhöhung und einer Zugspannung bei Temperaturabnahme. Das umgekehrte Phänomen tritt dann ein, wenn die Metallplatte einen Wärmeausdehnungskoeffizienten aufweist, der größer als derjenige des Betons ist. Folglich kann die Wärmespannung in dem äußeren Teil, der der inneren Begrenzung unterliegt, durch Verwendung einer Metallplatte mit einem größeren Wärmeausdehnungskoeffizienten als Beton und die Wärmespannung in dem inneren Teil, der den inneren und äußeren Begrenzungen unterliegt, durch eine Metallplatte mit einem kleineren Wärmeausdehnungskoeffizienten als derjenige des Betons beschrieben werden.

[0028] Die physikalischen Eigenschaften der in der Vorrichtung gemäß einer besonderen Ausführungsform der vorliegenden Erfindung verwendeten Aluminiums und weiterer Materialien sind in der Tabelle 1 unten aufgeführt.

Tabelle 1:

Physikalische Eigenschaften von Materialien

Material	Wärmeausdehnungskoeffizient Expansion ($\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$)	Elastizitätsmodul ($\times 10^5 \text{kgf/cm}^2$)
Beton	10	3.00
Stahl	11	21.0
Aluminium	24	7.33
Invar	4.5	2.89

[0029] Nachfolgend wird eine Beschreibung eines mit der Vorrichtung von [Fig. 2](#) durchgeführten experimentellen Verfahrens unter Verwendung der in der Tabelle 1 gezeigten Materialien geliefert.

Experimentelles Verfahren

[0030] Unter Bezugnahme auf [Fig. 3](#) ist dort eine mit Beton gefüllte Vorrichtung zur Messung von Wärmespannungen von Betonbauten in einer Querschnittsansicht (a) und in einer Seitenansicht (b) gezeigt. Wie es in [Fig. 3](#) gezeigt ist, ist die Vorrichtung zum Messen der Änderung von Wärmespannungen des Betons mit einigen Meßgeräten ausgestattet. Das heißt, ein geeigneter Dehnungsmesser **15** ist an einer Metallplatte angebracht, wobei ein Betondehnungsmesser **14** in dem Beton eingebettet ist. Innerhalb des Betons sind Wärmesensoren **18**, und eine Temperier- und Befeuchtungskammer ist vorgesehen, um die Betontemperatur an die

programmierte Temperatur anzupassen. Um zu verhindern, daß der Beton einer plastischen Schrumpfung und Trockenschrumpfung unterliegt, ist die Kammer so programmiert, daß sie ihre Feuchtigkeit auf 85% hält. Da die in der Vorrichtung zu verwendende Betonmenge nicht groß ist und die Dicke des verwendeten Betons nur 80 mm beträgt, wie es in [Fig. 2](#) zu sehen ist, ist außerdem die von dem verwendeten Beton **12** erzeugte Hydratationswärme zu klein, um den Beton **12** zu beeinflussen, wenn der thermische Austausch bestimmt wird, der in dem Luft direkt ausgesetzten Teil aktiv eintritt. Ein Zellophanband wird an der durch gestrichelte Linien in [Fig. 3](#) gekennzeichneten Betonbegrenzung angebracht und nach sechs Teststunden davon gelöst. Vor dem Testen wird eine dünne Stahlplatte, die die Vorrichtung trägt, mit einer ausreichenden Menge Schmiere und Öl beschichtet, um die Erzeugung von Reibung zu verhindern oder das Ausmaß von Reibung erheblich zu verringern, falls sie auftritt. Ein Vorexperiment, in dem viele Lager anstelle einer Platte verwendet wurden, hat gezeigt, daß Reibung die Messung von Wärmespannungen nicht beeinflußt.

[0031] Zur Vorhersage der Wärmespannung einer Zielstruktur sollte vorzugsweise eine Temperaturanalyse durchgeführt werden. Mittels eines Analyseprogramms wird eine Betonprobe hinsichtlich der Temperatur analysiert, wie es in [Fig. 5](#) gezeigt ist, wonach ein Experiment in einer in [Fig. 4](#) gezeigten Temperier- und Befeuchungskammer **19** durchgeführt wird, die programmiert ist, um dieselben Temperaturzustände wie die analysierten Temperaturhysteresen aufrechtzuerhalten. [Fig. 6](#) zeigt entsprechend Begrenzungsbedingungen analysierte Temperaturhysteresen.

[0032] Das Messen der auf eine Temperaturänderung zurückgeführten Dehnung erfordert sehr genaue Experimente. Damit der Beton dieselbe Temperatur wie ein analysierter nach dem Plazieren aufweist, werden diesbezüglich Materialien, wie z. B. die Vorrichtung, Aggregat, Wasser, etc. einen Tag lang vor dem Plazieren in einer Kammer plziert, während Temperatur und Feuchtigkeit auf Werte der Ausgangsstufe eingestellt sind. Obwohl die Materialien hinsichtlich der Temperatur auf den Anfangswert kontrolliert werden, können der Beton, die Vorrichtung und die Kammer nach der Anwendung aufgrund von Außentemperaturen oder anderen Faktoren beim Plazieren unterschiedliche Temperaturen aufweisen. Zur Vermeidung dieses Problems wird die Kammer sechs Stunden lang nach dem Plazieren auf die Anfangstemperatur eingestellt, wodurch die Vorrichtung, der Beton und die Kammer auf derselben Temperatur bleiben. Danach wird das Temperaturprofil der Kammer in derselben Weise wie die mittels der Temperaturanalyse erhaltene Temperaturhysterese bestimmt.

Messung von Wärmespannungen und Analyse

[0033] Anhand der in dem obigen Experiment erhaltenen Daten können die auf den Betonbau ausgeübten Spannungen auf der folgenden theoretischen Grundlage berechnet werden.

[0034] Wenn die Dehnung vollständig begrenzt ist, kann die Spannung des Betons durch die Formel 1 ausgedrückt werden:

$$f_{c,res} = E_c \varepsilon_{c,free} \quad (1)$$

wobei

$f_{c,res}$ die Wärmespannung des Betons bei vollständiger Begrenzung ist;
 E_c das Elastizitätsmodul des Betons ist, und
 $\varepsilon_{c,free}$ die Dehnung des Betons in einem freien Zustand ist.

[0035] Da jedoch der Beton keiner vollständigen Begrenzung unterliegt, kann die Spannung durch die folgende Formel 2 ausgedrückt werden:

$$f_c = E_c (\varepsilon_{c,free} - \varepsilon_c) \quad (2)$$

wobei

f_c die Spannung des Betons innerhalb der Rahmen ist,
 ε_c die Dehnung des Betons innerhalb der Rahmen ist.

[0036] Da ein Kräftegleichgewicht zwischen dem Beton und den Rahmen aufgebaut wird, kann die folgende Formel 3 erhalten werden:

$$A_s E_s (\varepsilon_{c,free} - \varepsilon_s) = A_c E_c (\varepsilon_c - \varepsilon_{c,free}) \quad (3)$$

wobei

A_s und A_c jeweilige Querschnittsgebiete des Rahmenmaterials und des Betons sind; und
 E_s und E_c jeweilige Elastizitätsmodule des Rahmenmaterials und des Betons sind.

[0037] Durch Einsetzen der Formel 2 in die Formel 3 und Umstellung derselben ergibt sich die folgende Formel 4:

$$f_c = \frac{A_s}{A_c} E_s (\varepsilon_{s, free} - \varepsilon_s) \quad (4)$$

[0038] In der Formel 4 sind A_s , A_c und E_s bekannte Konstanten, und $\varepsilon_{s, free}$ kann auch durch die folgende Formel 5 erhalten werden:

$$\varepsilon_{s, free} = \alpha_s \Delta T \quad (5)$$

wobei

α_s der Wärmeausdehnungskoeffizient des Rahmenmaterials ist und
 ΔT eine Temperaturänderung ist.

[0039] Wenn die Spannung (ε_s) des Rahmens zu einem bestimmten Zeitpunkt gemessen wird, kann somit die Spannung eines Betonbaus zu dem Zeitpunkt, ob er frisch ist oder nicht, sofort unabhängig von der Zusammensetzung des Betons berechnet werden.

Prüfung der Zuverlässigkeit der Vorrichtung

[0040] Zur Verifizierung der Testzuverlässigkeit der Vorrichtung gemäß einer besonderen Ausführungsform der Erfindung wurde eine Untersuchung der physikalischen Eigenschaften des Betons während der Durchführung des Experiments vorgenommen. [Fig. 6](#) stellt die mittels des Experiments erhaltenen Änderungen des Elastizitätsmoduls der Betonzubereitungen dar. Wie es in [Fig. 6](#) zu sehen ist, wurde die Prüfung zur Quantifizierung zweier Phänomene in großem Maße durchgeführt. Da das thermische Verhalten eines inneren Teils auf andere Weise als dasjenige eines äußeren Teils untersucht wurde, wurden die inneren und äußeren Teile nach der Anwendung jeweiliger Temperaturhysteresen separat ausgedrückt.

[0041] Um zu überwachen, ob die über die Temperier- und Befeuchungskammer angewandte Temperaturhysterese selbst auf den Beton und die Metallplatte zur genauen Anwendung kommen könnte, wurde ein Temperatursensor **18** jeweils für den Beton und die Metallplatte vorgesehen, während die Dehnung durch Verwendung eines Dehnungsmessers gemessen wurde.

[0042] Bezugnehmend auf die [Fig. 7](#) und [Fig. 8](#) sind dort experimentelle Daten gezeigt, die mittels der Vorrichtung erhalten wurden, die erfindungsgemäß Aluminium mit einem größeren Wärmeausdehnungskoeffizienten als Beton und außerhalb der Erfindung Invar mit einem kleineren Wärmeausdehnungskoeffizienten als Beton rekrutierte. Die gemäß den Daten dargestellten Kurven in den [Fig. 7](#) und [Fig. 8](#) tragen den jeweiligen Spannungsänderungen des äußeren und des inneren Teils Rechnung. Wie es anhand der Temperaturänderung in jedem Experiment ersichtlich ist, variieren außerdem die programmierten Temperaturen (Kammer 1 und 2), die Temperaturen in dem Beton (Beton 1 und 2) und die Temperaturen der Vorrichtung (Rahmen 1 und 2) innerhalb eines sehr schmalen Fehlerbereiches ($\pm 1^\circ\text{C}$).

[0043] Zum Vergleich mit der durch Verwendung der Vorrichtung erhaltenen Spannung des Betons (als "Plattenexperiment" bezeichnet) wurde die Spannung auf der Grundlage der durch Verwendung des eingebetteten Betondehnungsmessers direkt gemessenen Spannung (als "Betonexperiment" bezeichnet) berechnet ([Fig. 9](#)).

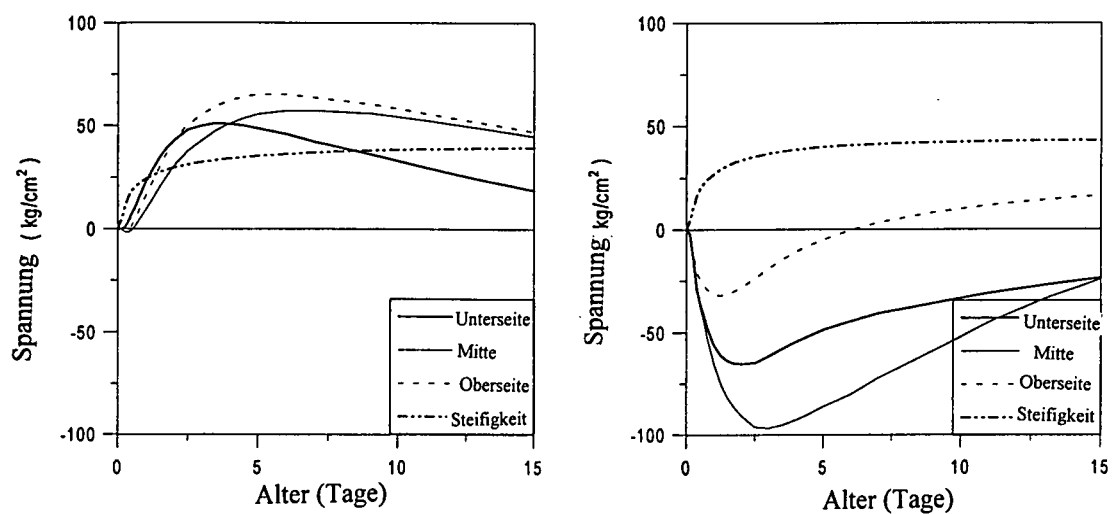
[0044] Wie vorangehend beschrieben wurde, wird eine Vorrichtung zum bequemen Messen der in massiven Betonbauten erzeugten Wärmespannungen bereitgestellt. Aufgrund der Anwendbarkeit auf frischen Beton, dessen physikalische Eigenschaften nicht genau bestimmt werden können, kann die Vorrichtung eine genaue Vorhersage der tatsächlichen in Beton erzeugten Wärmespannungen liefern.

Patentansprüche

1. Vorrichtung zur Messung von Wärmespannungen von Betonbauten mit:
einem oberen Stahlrahmenteil (**11**) und einem unteren Stahlrahmenteil (**11**),
zwei das obere (**11**) mit dem unteren Stahlrahmenteil (**11**) verbindende Metallplatten (**13, 13**), die in einem Abstand voneinander angeordnet sind, um einen Rahmen zu bilden, der darin Beton (**12**) einschließt, wobei die Metallplatten (**13, 13**) durch Bolzen (**17**) mit den Stahlrahmenteilen verbunden sind und einen anderen Wärmeausdehnungskoeffizienten als Beton (**12**) aufweisen und die oberen und unteren Stahlrahmenteile (**11, 11**) so ausgebildet sind, daß die oberen und unteren Endabschnitte des eingeschlossenen Betons (**12**) T-förmig ausgebildet werden,
Zellophanband (**16**), das den Beton (**12**), der zu den Metallplatten (**13, 13**) freiliegt, umgibt, um eine Leckage des darin eingeschlossenen Betons (**12**) zu verhindern,
einem Dehnungsmesser (**15**), der an einer der Metallplatten (**13, 13**) angebracht ist, und
einem Betondehnungsmesser (**14**), der in dem Beton (**12**) eingebettet ist, wobei die Metallplatten (**13, 13**) aus Aluminium mit einem größeren Wärmeausdehnungskoeffizienten als derjenige von Beton (**12**) hergestellt sind.

Es folgen 7 Blatt Zeichnungen

FIG. 1



(a) Spannungsänderung in einem äußeren Teil eines Betonbaus

(b) Spannungsänderung in einem inneren Teil eines Betonbaus

FIG. 2

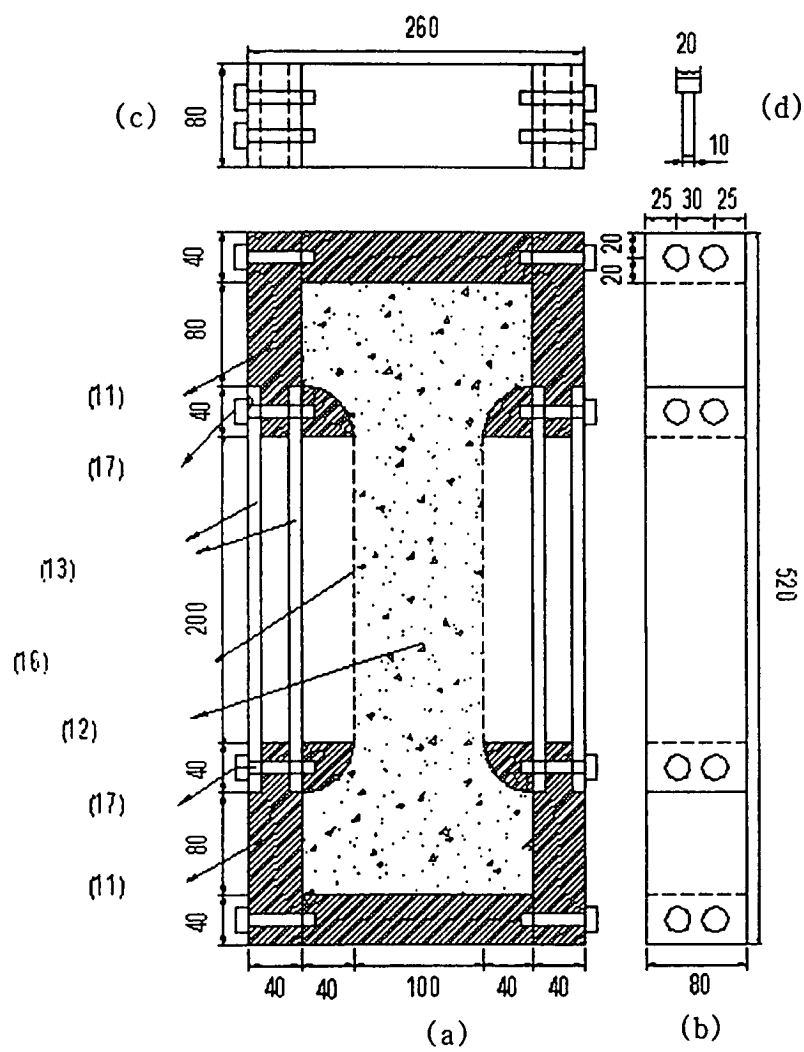


FIG. 3

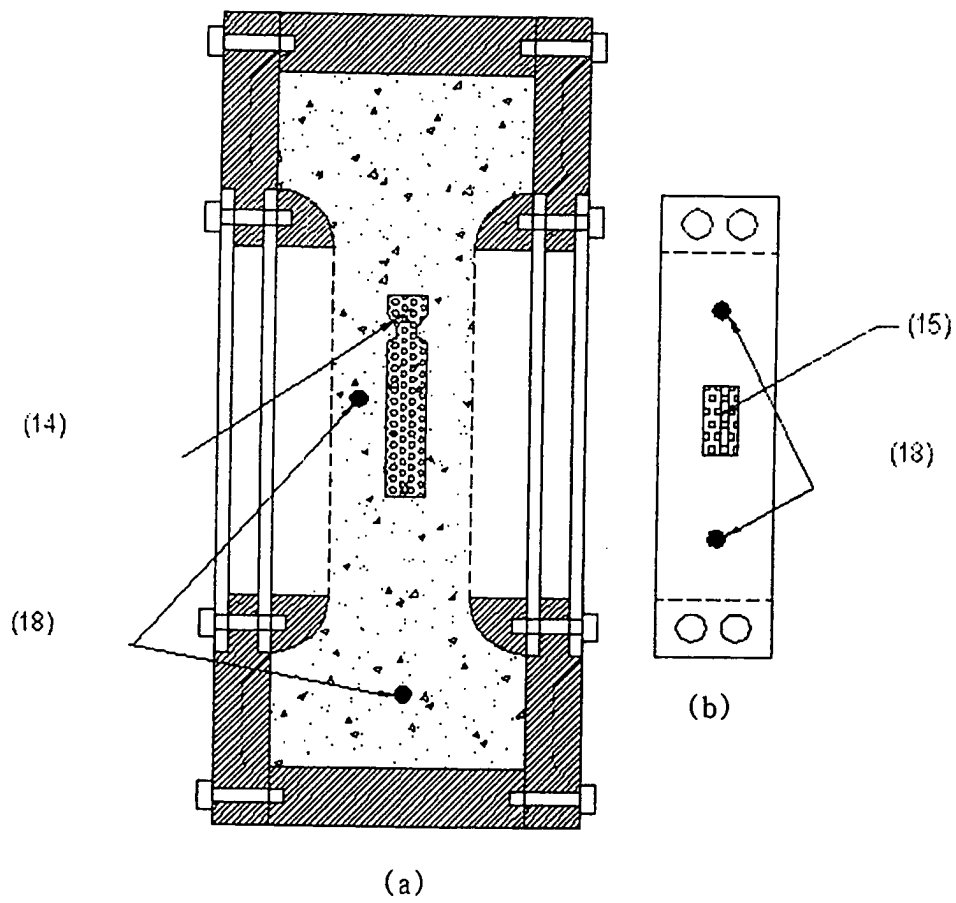


FIG. 4

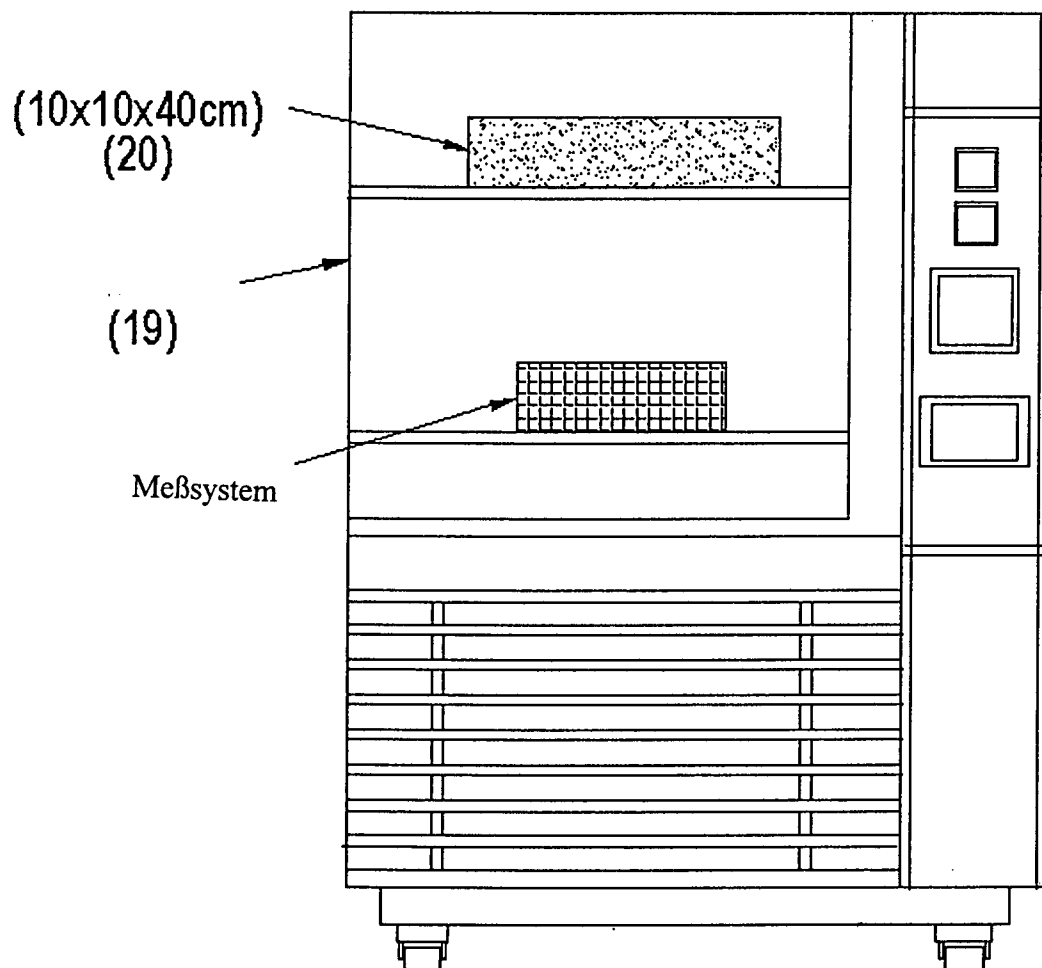


FIG. 5

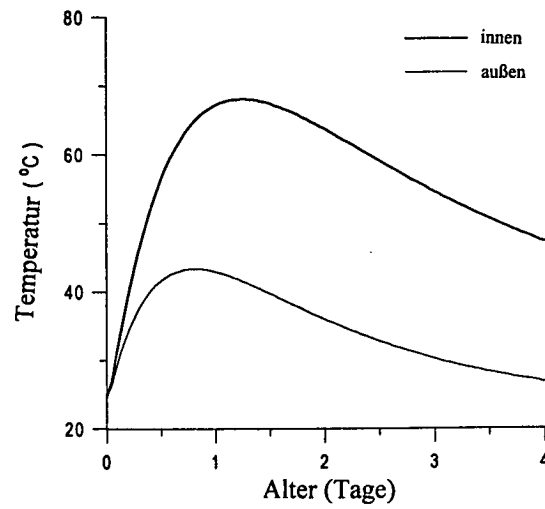


FIG. 6

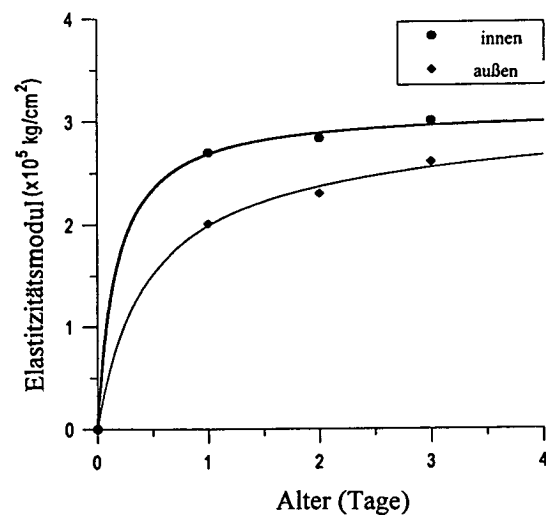


FIG. 7

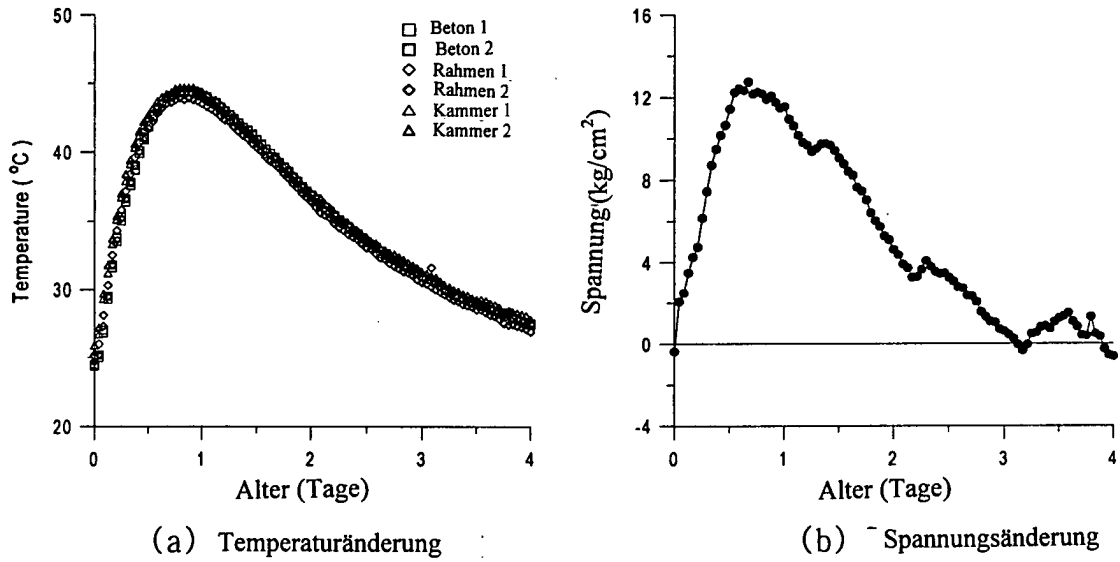


FIG. 8

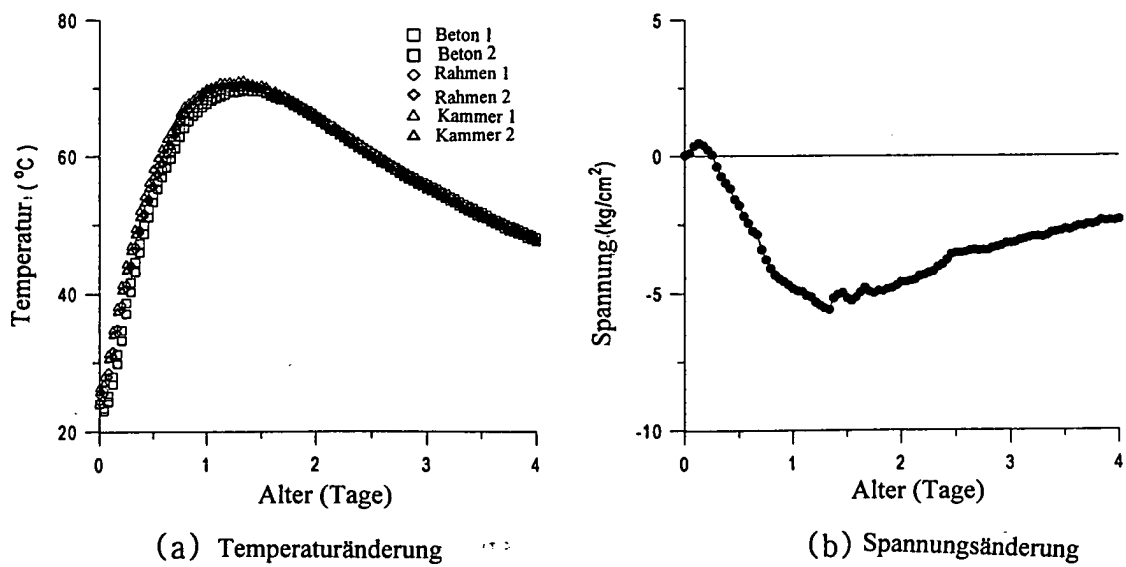
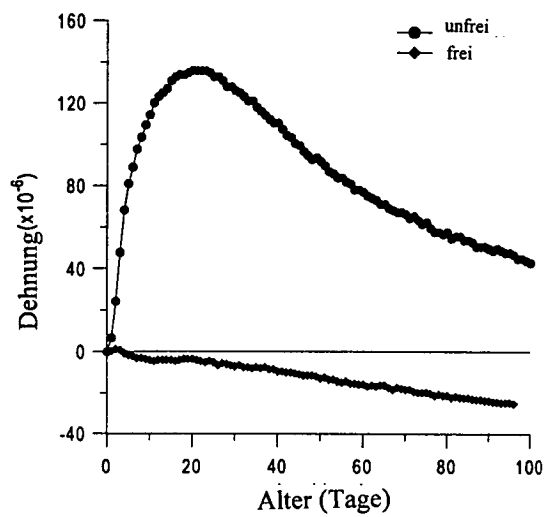
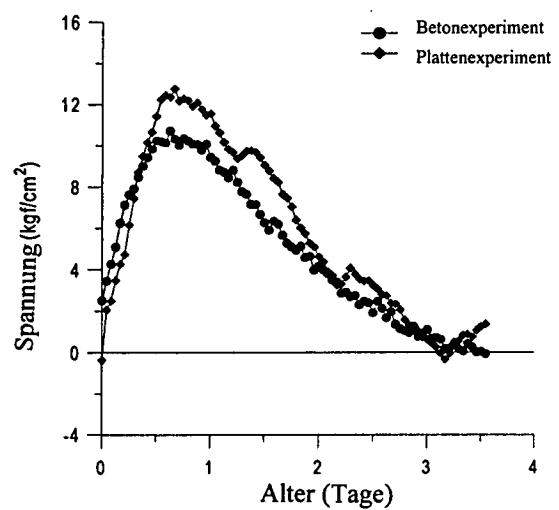


FIG. 9



(a) Dehnungsmodul von Beton durch Verwendung eines eingebetteten Dehnungsmessers



(b) Vergleich von Spannung zwischen Verwendung und Betondehnungen