



(11) **EP 2 984 197 B1**

(12) **EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT**

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:
07.08.2024 Patentblatt 2024/32

(21) Anmeldenummer: **14716745.6**

(22) Anmeldetag: **17.03.2014**

(51) Internationale Patentklassifikation (IPC):
C22C 38/00 ^(2006.01) **C22C 38/02** ^(2006.01)
C22C 38/04 ^(2006.01) **C22C 38/10** ^(2006.01)
C22C 38/14 ^(2006.01) **C22C 38/40** ^(2006.01)
E04C 5/01 ^(2006.01) **E04G 21/12** ^(2006.01)
E04G 23/02 ^(2006.01) **E04C 5/08** ^(2006.01)

(52) Gemeinsame Patentklassifikation (CPC):
E04C 5/08; C22C 38/00; C22C 38/02; C22C 38/04;
C22C 38/105; C22C 38/14; C22C 38/40;
E04C 5/01; E04G 21/12; E04G 23/0218

(86) Internationale Anmeldenummer:
PCT/CH2014/000030

(87) Internationale Veröffentlichungsnummer:
WO 2014/166003 (16.10.2014 Gazette 2014/42)

(54) **VERFAHREN ZUM VORSPANNEN VON BESTEHENDEN ODER VON NEU ZU ERSTELLENDEN BETON-BAUWERKEN UND -BAUTEILEN, SOWIE BAUWERK, HERGESTELLT NACH DEM VERFAHREN**

METHOD FOR PRESTRESSING EXISTING OR NEWLY CONSTRUCTED CONCRETE STRUCTURES AND COMPONENTS, AS WELL AS STRUCTURES CONSTRUCTED ACCORDING TO THE METHOD

PROCÉDÉ DE PRÉCONTRAINTÉ D'OUVRAGES ET D'ÉLÉMENTS DE CONSTRUCTION EN BÉTON EXISTANTS OU À CONSTRUIRE, ET OUVRAGE RÉALISÉ SELON LE PROCÉDÉ

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR

(30) Priorität: **08.04.2013 CH 732132013**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
17.02.2016 Patentblatt 2016/07

(73) Patentinhaber:
• **Re-Fer AG**
8832 Wollerau (CH)
• **EMPA**
8600 Dübendorf (CH)

(72) Erfinder:
• **LEINENBACH, Christian**
8320 Fehraltorf (CH)

- **MOTAVALLI, Masoud**
8803 Rüschlikon (CH)
- **WEBER, Benedikt**
8400 Winterthur (CH)
- **LEE, Wookjin**
Busan 47718 (KR)
- **BRÖNNIMANN, Rolf**
8542 Wiesendangen (CH)
- **CZADERSKI, Christoph**
8625 Gossau (CH)

(74) Vertreter: **Felber, Josef**
Felber & Partner AG
Dufourstrasse 116
8008 Zürich (CH)

(56) Entgegenhaltungen:
WO-A1-96/12588 GB-A- 2 358 880
JP-A- 2008 138 469 US-A- 4 877 463

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents im Europäischen Patentblatt kann jedermann nach Maßgabe der Ausführungsordnung beim Europäischen Patentamt gegen dieses Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

EP 2 984 197 B1

Beschreibung

[0001] Diese Erfindung betrifft ein Verfahren zum Vorspannen von bestehenden oder von neu zu erstellenden Betonbauwerken und -Bauteilen, in welche Profile aus Formgedächtnis-Legierungen, unter Fachleuten oft als Shape-Memory-Alloy-Profile, kurz SMA-Profile, bezeichnet, zum Vorspannen eingelegt werden. Mit diesem Vorspannsystem können auch nachträgliche Anbauten an ein bestehendes Bauwerk unter Vorspannung angebracht werden. Zusätzlich betrifft die Erfindung auch ein Betonbauwerk, das unter Anwendung dieses Verfahrens erstellt oder nachträglich verstärkt resp. an welches Anbauten nach diesem Verfahren angedockt wurden. Als Besonderheit werden hierzu für die Erzeugung einer Vorspannung Formgedächtnis-Legierungen auf der Basis von Stahl in Form von Profilen eingesetzt.

[0002] Eine Vorspannung innerhalb eines Bauwerks erhöht allgemein dessen Gebrauchstauglichkeit, indem Risse verkleinert werden oder die Rissbildung überhaupt verhindert wird. Eine solche Vorspannung wird bereits heute zur Verstärkung gegen das Durchbiegen von Betonteilen oder zur Umschnürung beispielsweise von Stützen zur Erhöhung der Axialbelastung resp. zur Schubverstärkung verwendet. Eine weitere Anwendung der Vorspannung von Beton sind Rohre für Flüssigtransporte und Silos resp. Tankbehälter, welche zur Erzeugung einer Vorspannung umschnürt werden. Zur Vorspannung werden im Stand der Technik Rundstähle oder Kabel in den Beton eingelegt oder nachträglich extern auf der Oberfläche des Bauteils auf der Zugseite fixiert. Die Verankerung und Krafteinleitung aus dem Vorspannelement in den Beton ist bei all diesen bekannten Methoden sehr aufwändig. Hohe Kosten für Verankerungselemente (Ankerköpfe) fallen an. Bei externer Vorspannung gilt es, die Vorspannstähle resp. -kabel zusätzlich mittels einer Beschichtung gegen Korrosion zu schützen. Das ist deswegen nötig, weil herkömmlich verwendete Stähle nicht korrosionsfest sind. Werden die Vorspannkabel in den Beton eingelegt, so müssen sie mit viel Aufwand mittels Zementmörtel, welcher mittels einer Injektion in die Hüllrohre eingebracht wird, gegen Korrosion geschützt werden. Eine externe Vorspannung wird im Stand der Technik auch mit Faserverbundwerkstoffen erzeugt, welche auf die Oberfläche von Beton aufgeklebt werden. In diesem Fall ist der Brandschutz oftmals sehr aufwändig, da die Klebstoffe eine tiefe Glasübergangstemperatur aufweisen. Der Korrosionsschutz ist der Grund dafür, dass im traditionellen Beton eine minimale Überdeckung der Stahleinlagen von ca. 3cm eingehalten werden muss. Infolge von Umwelteinflüssen (namentlich CO₂ und SO₂ in der Luft) findet im Beton eine Karbonatisierung statt. Wegen dieser Karbonatisierung fällt das basische Milieu im Beton (pH-Wert 12) auf einen tieferen Wert, das heisst auf einen pH-Wert von 8 bis 9. Liegt die Innenbewehrung in diesem karbonatisierten Bereich, so ist der Korrosionsschutz des herkömmlichen Stahls nicht mehr gewährleistet. Die 3cm starke Überdeckung des Stahls ga-

rantiert entsprechend einen Korrosionswiderstand für die Innenbewehrung über eine Lebensdauer des Bauwerks von ca. 70 Jahren. Beim Verwenden der neuartigen Formgedächtnis-Legierung ist die Karbonatisierung wesentlich weniger kritisch, da die neuartige Formgedächtnis-Legierung im Vergleich zu gewöhnlichem Baustahl eine deutlich höhere Korrosionsbeständigkeit aufweist. Infolge der Vorspannung des BetonTeils resp. Mörtels werden Risse geschlossen und entsprechend wird das Eindringen von Schadstoffen stark reduziert. Mit der Neuentwicklung kann entsprechend die Beton-Überdeckung massiv reduziert werden, und entsprechend können Bauteile wie Balkonauskragungen, Balkonbrüstungen, Rohrleitungen etc. dünner dimensioniert werden. Die Bauteile werden dadurch leichter und wirtschaftlicher in der Verwendung.

[0003] Aus GB 2 358 880 A bekannt ist ein Verfahren zum Vor- oder Nachspannen von Strukturelementen mit einem länglichen Verstärkungsmittel in Form eines Strangs mit einem Durchmesser von 1.0 mm und 2.0 mm, welcher aus einer Nickel-Titan-Formgedächtnislegierung mit typischerweise 47% Nickel-, 50% Titan- und 3% Eisen-Anteil besteht. Ein Strukturkörper wird dabei um den vorpräparierten Strang herum gegossen, wobei der Strang diesen vollständig durchsetzt. Nach Aushärten des Materials wird der Strang auf eine Temperatur von typischerweise 47.5°C erwärmt. Mit eintretendem Formgedächtniseffekt wird das ausgehärtete Material unter Zugspannung gesetzt. Des Weiteren offenbart JP 2008138469 A eine Stützenbewehrung mittels Formgedächtnislegierung, deren Vorspannung sich in einer Ausführung mittels Dehnmessstreifen bestimmen lassen. Auch in WO 96/12588 A1 ist eine Nutzung des Formgedächtniseffekts für die Verstärkung von Bauteilen offenbart.

[0004] Die Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es daher, ein Verfahren zum Vorspannen von neuen und bestehenden Betonbauwerken und Betonbauteilen, mitunter von zementgebundenen Vermörtelungen für die Verstärkung von bestehenden Bauwerken, zu schaffen, wahlweise zwecks Verbesserung der Gebrauchstauglichkeit und Stabilität des Bauwerks, zum Gewährleisten einer flexibleren Nutzung des Gebäudes für nachträgliche auskragende Anbauten, oder zur Erhöhung der Dauerhaftigkeit sowie des Brandwiderstandes des Bauwerks. Weiter ist es eine Aufgabe der Erfindung, ein Betonbauwerk anzugeben, welches die unter Anwendung dieses Verfahrens erzeugte Vorspannungen oder Verstärkungen aufweist.

[0005] Die Aufgabe wird gelöst von einem Verfahren und Gebäude gemäss den Merkmalen der unabhängigen Ansprüche 1 und 8. Varianten der erfindungsgemässen Lösung sind in den abhängigen Ansprüchen beschrieben.

[0006] Anhand der Zeichnungen wird das Verfahren beschrieben und erklärt. Es werden Anwendungen beim Neubau resp. bei der Vorfabrikation sowie Anwendungen für die nachträgliche Verstärkung von bestehenden

Betonkonstruktionen beschrieben und erläutert.
Es zeigt:

Figur 1: Einen Beton-Träger oder eine Beton-Platte, gegossen auf der Baustelle oder im Vorfabrikationswerk, mit eingelegten elektrisch heizbaren Profilen aus einer Formgedächtnis-Legierung;

Figur 2: Einen Beton-Träger, gegossen auf der Baustelle oder im Vorfabrikationswerk, mit eingelegtem Profil aus einer Formgedächtnis-Legierung, dessen beide Enden mit Einlagen eingefasst sind;

Figur 3: Einen Querschnitt eines Beton-Bauwerks mit einer innenliegenden, traditionellen Stahlbewehrung, vorbereitet zum Auftragen einer Vermörtelung als Verstärkungsschicht, welche Profile aus einer Formgedächtnis-Legierung enthält;

Figur 4: Einen Querschnitt dieser Bauwerk-Wand nach Figur 3, nach dem Anbringen von Profilen aus einer Formgedächtnis-Legierung;

Figur 5: Einen Querschnitt dieser Bauwerk-Wand nach Figur 3 und 4, nach dem Überdecken der angebrachten Profile aus einer Formgedächtnis-Legierung mit Spritzbeton oder Zementmörtel;

Figur 6: Einen Querschnitt dieser Bauwerk-Wand nach Figur 3 und 4, mit den eingegossenen und überdeckten Profilen aus einer Formgedächtnis-Legierung, mit zwei Varianten für den Wärmeeintrag zur Erhitzung der Profile, a) durch elektrische Widerstandheizung über eingegossene Elektrokabel, oder b) über eine Ausnehmung zum Anschliessen von Elektrokabeln;

Figur 7: Einen Querschnitt dieser Bauwerk-Wand nach Figur 3 bis 6, mit den eingegossenen und überdeckten Profilen aus einer Formgedächtnis-Legierung, nach dem Wärmeeintrag und nach dem Verfüllen der Zugänge zu den Profilen;

Figur 8: Einen Querschnitt eines bestehenden Betonbauteils (Bauwerk-Wand), welches mit einem Profil aus einer Formgedächtnis-Legierung auf der Oberfläche verstärkt ist, beim Aufbringen einer zementösen Schicht mittels Spritzbeton/Spritzmörtel;

Figur 9: Einen Querschnitt eines bestehenden Betonbauteils, welches mit einem Profil aus ei-

ner Formgedächtnis-Legierung auf der Oberfläche verstärkt wird, beim händischen Aufbringen einer zementösen Schicht;

Figur 10: Einen Ausschnitt einer Betonplatte, die auf ihrer Unterseite mit einer verdübelten und vorgespannten Verstärkungsschicht versehen ist, die Profile aus einer Formgedächtnis-Legierung enthält;

Figur 11: Einen Querschnitt durch die bestehende Betonplatte nach Figur 10, mit der konventionellen Bewehrung sowie der darauf vollflächig verdübelten und vorgespannten Vermörtelung als Verstärkungsschicht mit Profilen aus einer Formgedächtnis-Legierung;

Figur 12: Eine bestehende Betonplatte mit nachträglich unten aufgebracht Vermörtelung als Verstärkungsschicht mit Profilen aus einer Formgedächtnis-Legierung im Innern, und die nur lokal an beiden Enden des Profils verdübelt ist;

Figur 13: Eine auskragende Betonplatte mit Profilen aus einer Formgedächtnis-Legierung in ihrem Innern, die an ein Beton-Bauwerk angebaut wurde, welches hierfür bei der Erstellung mit bereits dafür gesetzten Profilen aus einer Formgedächtnis-Legierung vorbereitet wurde.

[0007] Zunächst muss das Wesen von Formgedächtnis-Legierungen [engl. Shape Memory Alloy (SMA)] verstanden werden. Es handelt sich um Legierungen, die eine bestimmte Struktur aufweisen, die wärmeabhängig veränderbar ist, jedoch nach einer Wärmeabfuhr wieder in ihren Ausgangszustand zurückkehrt. Wie andere Metalle und Legierungen, enthalten Formgedächtnis-Legierungen (SMA) mehr als eine Kristallstruktur, sind also polymorph und somit polykristalline Metalle. Die dominierende Kristallstruktur der Formgedächtnis-Legierungen (SMA) hängt einerseits von ihrer Temperatur ab, andererseits von der von aussen wirkenden Spannung - sei es Zug oder Druck. Bei hoher Temperatur handelt es sich um einen Austenit, und auf der tiefen Temperatur um einen Martensit. Das Besondere an diesen Formgedächtnis-Legierungen (SMA) ist, dass sie ihre initiale Struktur und Form nach Erhöhen der Temperatur in die hohe Temperaturphase wieder annehmen, auch wenn sie zuvor in der tiefen Temperaturphase deformiert wurden. Dieser Effekt kann ausgenutzt werden, um Vorspannkräfte in Baustrukturen zu applizieren.

[0008] Wenn keine Wärme künstlich in die Formgedächtnis-Legierung (SMA) eingebracht oder aus ihr abgeführt wird, so befindet sie sich auf der Umgebungstemperatur. Die Formgedächtnis-Legierungen (SMA) sind innerhalb eines artspezifischen Temperaturbe-

reichs stabil, das heisst ihre Struktur ändern sich innerhalb von gewissen Grenzen der mechanischen Belastung nicht. Für Anwendungen in der Baubranche im Ausenbereich wird der Schwankungsbereich der Umgebungstemperatur von -20°C bis +60°C vorausgesetzt. Innerhalb dieses Temperaturbandes sollte also eine Formgedächtnis-Legierung (SMA), die hier zum Einsatz kommt, ihre Struktur nicht verändern. Die Transformations-Temperaturen, bei denen sich die Struktur der Formgedächtnis-Legierung (SMA) ändert, kann je nach Zusammensetzung der Formgedächtnis-Legierung (SMA) beträchtlich variieren. Die Transformationstemperaturen sind auch lastabhängig. Mit steigender mechanischer Belastung der Formgedächtnis-Legierung (SMA) steigen auch seine Transformationstemperaturen. Wenn die Formgedächtnis-Legierung (SMA) innerhalb gewisser Belastungsgrenzen stabil bleiben soll, so ist diesen Grenzen grosse Beachtung zu schenken. Werden Formgedächtnis-Legierungen (SMA) für Bauverstärkungen eingesetzt, so muss nebst der Korrosionsbeständigkeit und den Relaxationseffekten auch die Ermüdungsqualität der Formgedächtnis-Legierung (SMA) berücksichtigt werden, besonders wenn die Lasten über die Zeit variieren. Dabei unterscheidet man zwischen der strukturellen Ermüdung und der funktionellen Ermüdung. Die strukturelle Ermüdung betrifft die Akkumulation von mikrostrukturellen Defekten wie auch die Formation und die Ausbreitung von Oberflächen-Rissen, bis das Material letztendlich bricht. Die funktionelle Ermüdung hingegen ist die Folge der graduellen Degradation entweder des Formgedächtnis-Effektes oder der Dämpfungskapazität durch auftretende mikrostrukturelle Veränderungen in der Formgedächtnis-Legierung (SMA). Das Letztere ist verbunden mit der Modifikation der Spannungs-Dehnungskurve unter zyklischer Belastung. Die Transformations-Temperaturen werden dabei ebenfalls verändert.

[0009] Für das Aufnehmen von dauerhaften Lasten im Bausektor eignen sich Formgedächtnis-Legierungen (SMA) auf der Basis von Eisen Fe, Mangan Mn und Silizium Si, wobei die Zugabe von bis zu 10% Chrom Cr und Nickel Ni das SMA zu einem ähnlichen Korrosionsverhalten bringt wie rostfreier Stahl. In der Literatur findet man, dass die Zugabe von Kohlenstoff C, Kobalt Co, Kupfer Cu, Stickstoff N, Niobium Nb, Niobium-Karbid NbC, Vanadium-Stickstoff VN und Zirkonium-Karbid ZrC die Formgedächtnis-Eigenschaften in verschiedener Weise zu verbessern vermögen. Besonders gute Eigenschaften zeigt eine Formgedächtnis-Legierung (SMA) aus Fe-Ni-Co-Ti, welche Lasten bis zu 1000 MPa aufnimmt, hoch resistent gegen Korrosion ist, und dessen obere Temperatur zur Überführung in den Zustand eines Austeniten ca. 100 °C beträgt.

[0010] Das vorliegende Verstärkungssystem macht sich die Eigenschaften von Formgedächtnis-Legierungen (SMAs) zunutze, und vorzugsweise jene einer Formgedächtnis-Legierung (SMA) auf der Basis von im Vergleich zu Baustahl wesentlich korrosionsbeständigerem Stahl, weil solche Formgedächtnis-Legierungen (SMAs)

wesentlich preiswerter sind als etwa SMAs aus Nickel-Titan (NiTi). Die Formgedächtnis-Legierungen (SMAs) auf Stahlbasis werden in Form von Rundstäben mit rauen Oberflächen, zum Beispiel mit groben Gewindeoberflächen eingesetzt und in einer Vermörtelung, das heisst einer Mörtelschicht eingebettet, die hernach durch eine Verzahnung mit einem darunter liegenden Beton als Verstärkungsschicht wirkt. Bei einem Wärmeeintrag kontrahiert die Legierung dauerhaft in ihren Ursprungszustand zurück. Werden die SMA-Profile also auf die Temperatur für den Zustand als Austenit erhitzt, so nehmen sie ihre ursprüngliche Form an und behalten diese bei, auch unter Last. Der erzielte Effekt ist, dass die in die Vermörtelung bzw. Mörtelschicht eingegossenen Profile aus einer Formgedächtnis-Legierung nach Erhitzung infolge der durch die Einbetonierung verhinderten Rückformung ihrer Formgedächtnis-Legierung (SMA) eine Vorspannung auf die ganze ausgehärtete Vermörtelung bzw. Mörtelschicht erzeugen, wobei sich diese Vorspannung gleichmässig bzw. linear über die gesamte Länge des Profils aus einer Formgedächtnis-Legierung erstreckt.

[0011] Im Grundsatz wird nach diesem Verfahren ein Stahlprofil aus einer Formgedächtnis-Legierung, kurz ein SMA-Stahlprofil, vorzugsweise aus Rundstahl mit gerippter Oberfläche oder mit einem Grobgewinde als Oberfläche beim Neubau oder in der Vorfabrikation anstelle eines traditionellen Armierungsstahls oder zusätzlich dazu in den Beton eingelegt. Nach Aushärtung des Betons erfolgt die Erhitzung des SMA-Stahlprofils durch Stromzufuhr. Dies führt zu einer Verkürzung des SMA-Stahlprofils und bewirkt entsprechend eine Vorspannung auf den ausgehärteten Betonteil. Für eine nachträgliche Verstärkung wird das SMA-Stahlprofil in beliebigen Richtungen, hauptsächlich aber in Zugrichtung auf die aufgeraute Oberfläche des Beton-Bauwerks angebracht und mit demselben verdübelt und hernach mit einem zementösen Mörtel oder Spritzbeton vollflächig eingefasst und überdeckt. Nach Aushärtung der zementösen Vermörtelung bzw. Mörtelschicht werden die SMA-Stahlprofile mittels Elektrizität erhitzt, was zur Verkürzung dieser SMA-Stahlprofile führt. Die Verkürzung bewirkt eine Vorspannung der zementösen Vermörtelung bzw. Mörtelschicht. Aus der Mörtelschicht werden die Kräfte dann infolge der rauen Oberfläche des Beton-Bauwerks und der Haftung in den bestehenden Beton eingeleitet.

[0012] Bei der Vorfabrikation von Stahlbetonbauteilen, beispielsweise Balkon- oder Fassadenplatten oder Rohren, in welchen die neuartigen SMA-Stahlprofile eingelegt und vorgespannt werden, bieten sich weitere Vorteile. Dank Vorspannung dieser vorfabrizierten Betonbauteile, können die Querschnitte des Bauteils reduziert werden. Da das Bauteil infolge interner Vorspannung rissfrei ausgebildet ist, liegt viel mehr Schutz gegen Chlorid-Eindringung resp. Karbonatisierung vor. Das heisst, solche Bauteile werden nicht nur leichter, sondern viel widerstandsfähiger und entsprechend dauerhafter.

[0013] Die SMA-Stahlprofile, welche in der Erfindung verwendet werden, können auch außerhalb des erfin-

dungsgemäßen Vefahrens angewendet werden, um ein Bauwerk für den Brandfall besser zu schützen, wozu die direkte Kontraktion der SMA-Stahlprofile durch Wärmeeintrag zunächst bewusst unterlassen wird. Im einem Brandfall aber ziehen sich die eingebauten SMA-Stahlprofile durch die Hitzeeinwirkung des Brandes zusammen. Eine Gebäudehülle aus Beton, welche mit SMA-Stahlprofilen verstärkt wurde, generiert somit im Brandfall automatisch eine Vorspannung und dadurch eine Verbesserung des Brandwiderstandes.

[0014] Das Verfahren wird nachfolgend anhand der Figuren beschrieben und erläutert. Hierzu zeigt die Figur 1 einen Querschnitt einer Betonplatte oder eines Betontägers 1. Darin sind ein oder mehrere SMA-Stahlprofile 2 eingebettet. Es werden stets SMA-Profilen 2 auf Stahlbasis von polymorpher und polykristalliner Struktur eingesetzt, mit einer gerippten oder sonstwie strukturierten Oberfläche, oder mit einem Gewinde als Oberfläche. Diese SMA-Stahlprofile sind durch Erhöhung ihrer Temperatur aus ihrem Zustand als Martensit auf ihren bleibenden Zustand als Austenit bringbar. Ein solches Betonbauteil kann vor Ort auf der Baustelle oder auch in einer Vorfabrikation hergestellt werden. Die eingebauten SMA-Profilen 2 in Form von Rundstäben weisen eine grobe Oberflächenstruktur 4 auf, damit sie sich im Beton innig mit demselben verkrallen können. Nachdem der Beton, in welchen die SMA-Stahlprofile 2 eingegossen wurden, ausgehärtet ist, werden die SMA-Stahlprofile 2 durch Wärmeeintrag erhitzt. Das erfolgt vorteilhaft elektrisch durch Errichtung einer Widerstandheizung, indem eine Spannung an die eingegossenen Heizkabel 3 angelegt wird, sodass sich das SMA-Stahlprofil 2 als Stromleiter erhitzt. Weil bei langen SMA-Profilen die Erhitzung mittels elektrischer Widerstandheizung zu viel Zeit beanspruchen würde, und dann zuviel Wärme in den Beton eingetragen würde, werden über die Länge des SMA-Profilstabes mehrere Stromanschlüsse eingerichtet. Das SMA-Stahlprofil kann dann etappenweise erhitzt werden, indem eine Spannung an zwei jeweils benachbarte Heizkabel angelegt wird, und hernach an die beiden nächsten, die benachbart sind, usw. bis der ganze SMA-Profilstab auf den Zustand als Austenit gebracht ist. Es werden hierzu kurzzeitig hohe Spannungen und Stromstärken benötigt, sodass eine gewöhnliche Netzspannung von 220V/10V nicht ausreicht, auch eine Spannungsquelle von 500V nicht, wie sie oft auf Baustellen eingerichtet wird. Vielmehr wird die Spannung von einer für den Baustellen-Einsatz mobilen Energieeinheit geliefert, welche die Spannung mit einer Anzahl in Serie geschalteter Lithium-Batterien erzeugt, mit hinreichend dicken Stromkabeln, sodass ein Strom mit hohem Ampèrewert durch das SMA-Stahlprofil schickbar ist. Die Erhitzung sollte nur sehr kurzzeitig erfolgen, sodass man also innert 2 bis 5 Sekunden durchgehend die nötige Temperatur von ca. 150° bis 300° im SMA-Stahlprofil 2 erzielt und damit seine Kontraktionskraft erzeugt. Damit wird vermieden, dass der anschliessende Beton Schaden nimmt. Hierzu sind zwei Bedingungen einzuhalten, näm-

lich erstens braucht es etwa 10-20A pro mm² Querschnittsfläche und zweitens etwa 10-20V pro 1m Profilstab-Länge, um innert Sekunden den Zustand des Profilstabes als Austenit zu erreichen. Die Batterien müssen in Serie geschaltet werden. Die Anzahl, die Grösse und der Typ der Batterien müssen entsprechend gewählt werden, so dass der benötigte Strom (Ampère) und die benötigte Spannung (Volt) abrufbar sind, und der Energiebezug muss von einer Steuerung geregelt werden, damit auf Knopfdruck - abgestimmt auf eine bestimmte Profilstahlänge und Profilstahldicke - genau die richtige Zeitperiode lang der Profilstab unter Spannung steht und der nötige Strom fliesst. Bei langen Profilstäben von mehreren Metern kann das Erhitzen etappenweise erfolgen, indem nach bestimmten Abschnitten Stromanschlüsse vorgesehen werden, das heisst von diesen aus Heizkabel aus dem zu erstellenden Bauelement ins Freie geführt werden, wo dann die Spannung angelegt werden kann. In dieser Weise kann abschnittsweise - ein Abschnitt nach dem andern - über die Gesamtlänge eines Profilstabes die nötige Wärme eingebracht werden, um schliesslich die gesamte Länge in den Zustand eines Austeniten zu versetzen.

[0015] Die Figur 2 zeigt einen Querschnitt einer alternativen Ausführung eines solchen Betonbauteils. Für den nach der Aushärtung vorzunehmenden Wärmeeintrag sind die Endbereiche der SMA-Stahlprofile mit Einlagen 5 eingepackt, welche bis zur Oberfläche des Betonteils 1 reichen. Es kann sich bei diesen Einlagen 5 zum Beispiel um Holzstücke handeln, die über die Endbereiche der SMA-Rundstäbe 2 gesteckt werden, oder um Styropor-Stücke oder Ähnliches. Nach dem Aushärten des Betons können diese Einlagen 5 entfernt werden und dann ist der Zugang zu den Endbereichen der SMA-Stahlprofile 2 freigelegt. Sie können dann erhitzt werden, indem die Elektrokabel der Energieeinheit über grossflächige Klemmen an diese Endbereiche angelegt werden. Wahlweise kann auf den unmittelbaren Wärmeeintrag verzichtet werden. Dann ist ein solches Betonteil 1 gewissermassen vorkonditioniert. Erfolgt die Hitzeeinwirkung später in einem Brandfall durch die Brandhitze, so erzeugen die SMA-Profilen 2 eine Kontraktionskraft und somit eine Zugspannung und erzeugen damit eine Vorspannung des Betons, was zu einer erheblichen Verbesserung des Brandwiderstandes des Gebäudes führt. Dieses wird im Brandfall sozusagen rundum zusammengeklammert und wird viel später einstürzen, wenn überhaupt.

[0016] In den Figuren 3 bis 9 ist eine weitere Anwendung dargestellt, nämlich das Erstellen einer Verstärkungsschicht an einem Gebäude. Figur 3 zeigt hierzu einen Querschnitt einer Bauwerk-Wand 6, welche ihrerseits mit einer konventionellen Bewehrung 7,8 traditionell armiert ist. Die Aussenseite 9 der Bauwerk-Wand 6 ist hier rau ausgeführt oder nachträglich aufgeraut worden. Das kann zum Beispiel mittels eines nassen Sandstrahlens erfolgen. Eine bessere Variante ist die hydromechanische Bearbeitung mit dem Hochdruck-Wasserstrahl.

Unterschiedliche Systeme mit verschiedenen Wassermengen und Wasserdrucken von mindestens 500bar bis 3000bar werden in der Praxis eingesetzt. Mit solchen Systemen wird die gewünschte Rauigkeit der Betonoberfläche von wenigstens 3mm sichergestellt. Bei der Anwendung der Hydromechanik wird zusätzlich sichergestellt, dass der Traggrund-Beton kapillar wassergesättigt ist. Das ist eine Bedingung für eine gute Haftung zwischen dem bestehenden Beton und der neu zu applizierenden Mörtelschicht auf Zementbasis.

[0017] Figur 4 zeigt, wie dann die SMA-Profile 2 in Form von Rundstählen mit einer entsprechenden Legierung an der rauen Oberfläche 9 befestigt werden. Sie können hierfür mit Dübeln 10 in der Betonwand befestigt werden. Die Dübel 10 können bedarfsweise auch hinter die erste Armierung 7,8 reichen. Die beiden Endbereiche der einzelnen SMA-Profile 2 sind je mit Elektrokabeln 3 verbunden. Wenngleich hier nur ein einzelnes SMA-Profil 2 sichtbar ist, welches sich vertikal erstreckt, so versteht sich, dass auch horizontal verlaufende, ja in jeder beliebigen Richtung verlaufende SMA-Profile 2 verbaut werden können, wie auch die Armierung in der Betonwand 6 hier horizontal verlaufende Armierungseisen 8 aufweist, die sich mit den vertikal verlaufenden Armierungseisen 7 kreuzen.

[0018] Als Nächstes werden die SMA-Profile, wie in Figur 5 gezeigt, durch Aufbringen von Spritzbeton oder Zementmörtel komplett eingepackt, durch Aufspritzen, Eingiessen oder Draufschleudern. Der Zementmörtel kann auch händisch aufgetragen werden.

[0019] Wie Figur 6 zeigt, ist hier an einer Stelle am SMA-Profil 2 eine Ausnehmung 11 ersichtlich, in welche eine Einlage 5 eingesetzt war. Nachdem diese nach dem Aushärten des Betons oder Mörtels wieder entfernt wurde, liegt das SMA-Profil 2 dort frei. Der Wärmeeintrag erfolgt dann über ein dort mittels einer Klemme anzuschliessendes Heizkabel in Zusammenarbeit mit einem weiteren Heizkabel, das an einer eben solchen Ausnehmungsstelle über eine Klemme an das SMA-Profil angeschlossen wird. Hier wird das SMA-Profil 2 über die beiden eingezeichneten Heizkabel 3 unter eine elektrische Spannung gesetzt, sodass eine Widerstandsheizung entsteht. Das Erhitzen führt zu einer Kontraktionskraft der SMA-Profile 2, die damit eine Zugspannung erzeugen und damit eine Vorspannung der ganzen Vermörtelung bzw. Verstärkungsschicht 16, und deren Vorspannung wird über die Verzahnung mit der rauen Oberfläche 9 der Betonwand 6 auf dieselbe übertragen. Insgesamt wird eine erhebliche Verstärkung des Bauwerks erzielt.

[0020] Die Figur 7 zeigt einen Querschnitt dieser Bauwerk-Wand nach dem Erzeugen der Kontraktionskraft und Zugspannung der SMA-Profile 2 innerhalb der Vermörtelung bzw. Verstärkungsschicht 16. Die Ausnehmung 11, welche für den Wärmeeintrag benützt wurde, ist jetzt mit Zementmörtel verfüllt. Im Falle von Heizkabeln 3 werden diese oberflächenbündig weggeschnitten.

[0021] Die Figur 8 zeigt einen Querschnitt einer stahl-

armierten Bauwerk-Wand 6, die an einer vertikalen Aussenseite mit einer Spritzschicht verstärkt wird, welche dann ihrerseits mittels SMA-Profilen 2 vorgespannt wird. Hierzu wird an der aufgerauten Oberfläche des Betons 6 ein Gitter aus SMA-Profilen 2 befestigt, etwa mittels geeigneter Dübel 10. Hernach wird dieses Gitter wie gezeigt mittels Spritzbeton aus einer Spritzpistole 21 ummantelt und überdeckt. Nach Aushärtung dieses Spritzbetons werden die SMA-Profile 2 des Gitters durch Wärmeeintrag kontrahiert, sodass die ganze Spritzbetonschicht als Verstärkungsschicht 21 vorgespannt wird. Die erzeugte Vorspannung wird über die Verzahnung mit der aufgerauten Oberfläche des Bauwerks 6 auf dasselbe übertragen und erhöht damit entscheidend dessen Stabilität und dessen Brandwiderstand.

[0022] Figur 9 zeigt eine Anwendung auf einer horizontalen Betonplatte. Hier können nach dem Auflegen der SMA-Profile 2 auf die geraute Oberfläche der Betonplatte diese SMA-Profile 2 mit einem händisch aufgetragenen Fließmörtel eingegossen werden. Im Falle eines zementösen Giessmörtels muss dieser noch mit der Kelle verdichtet oder vibriert werden. Als Alternative kann ein selbstverdichtender und selbstnivellierender zementöser Mörtel eingesetzt werden. Hernach werden die eingegossenen SMA-Profile 2 durch Wärmeeintrag erhitzt und erzeugen eine flächendeckende Vorspannung der Mörtelschicht, die sich auf die Betonplatte überträgt.

[0023] Die Figur 10 zeigt einen Ausschnitt einer Betonplatte 12, nämlich eine Ecke derselben in einer perspektivischen Ansicht von unten gesehen, die auf ihrer Unterseite mit einer verdübelten und vorgespannten Verstärkungsschicht 19 versehen ist, die SMA-Profile enthält. Die Verstärkungsschicht 19, welche in beschriebener Weise SMA-Profile enthält, wird mittels einer Vielzahl von Dübeln 13 kraftschlüssig mit der Betonplatte 12 verbunden. Erst nach einer solchen erfolgten Verdübelung und kraftschlüssigen Verbindung zwischen der Betonplatte 12 und der ausgehärteten Mörtel- oder Betonschicht, die als Verstärkungsschicht 19 wirken soll, und in welcher sich die SMA-Profile befinden, werden die SMA-Profile durch Wärmeeintrag zum Erzeugen einer Kontraktionskraft und somit einer Zugspannung gebracht, sodass die Verstärkungsschicht 19 vorgespannt wird, und sich diese Vorspannung über die Verdübelung und Verbindung auf die Betonplatte 12 überträgt.

[0024] Die Figur 11 zeigt den inneren Aufbau dieser Verstärkung mit einem Querschnitt durch die Betonplatte 12 nach Figur 10, mit der konventionellen Bewehrung aus Armierungsstählen 7,8, sowie der darauf verdübelten und vorgespannten Verstärkungsschicht 19 mit SMA-Profilen 2. Die Unterseite der Betonplatte 12 ist rau, und die SMA-Profile 2 sind eingebettet in die aufgespritzte Verstärkungsschicht 19. Nach deren Aushärtung erfolgt die Verdübelung mittels langer Betondübel 13, die bis hinter die erste Armierung 7,8 in der Betonplatte 12 reichen. Dann erfolgt die Vorspannung der SMA-Profile 2, die sich auf die Verstärkungsschicht 19 überträgt, und von dort über die Verzahnung mit der rauen Oberfläche

der Betonplatte 12 und die Verdübelung auf dieselbe. Die so vorgespannte Betonplatte 12 weist eine erheblich höhere Tragkraft auf und so können bestehende Betonplatten von unten effizient verstärkt werden.

[0025] Die Figur 12 zeigt einen Betonträger mit einer nachträglich aufgetragenen Verstärkungsschicht 19, die beidseitig verdübelt ist. Bei dieser Anwendung soll die Vorspannung einzig in einer Richtung wirken, nämlich zwischen den beiden Auflagepunkten des Betonträgers.

[0026] Einen weiteren interessanten Anwendungsfall zeigt Figur 13. Hier ist ein Bauwerk mit einbetonierten SMA-Profilen 2 oder gewöhnlichem Armierungsstahl vorgespannt. Das äussere Ende der Armierung, das gegen die Gebäudeaussenfläche hin zeigt, ist mit einem Kupplungsorgan 22 ausgerüstet. Im Falle von SMA-Profilen 2 führt ein Elektrokabel 3 im Beton zum hinteren, einbetonierten Ende des SMA-Profils 2. Diese Kupplungsorgane 22 können zum Beispiel Doppelmutter sein. Sie werden einbetoniert und nur wenig mit Beton überdeckt. Will man später eine auskragende Betonplatte 15 an das Bauwerk 14 andocken, so werden die Kupplungsorgane 22 freigelegt und eine Betonplatte 15, in welche SMA-Profile 2 eingegossen wurden, wird mit dem Betonwerk 14 verbunden. Hierzu werden die aus ihr herausragenden SMA-Profile 2, die im Endbereich mit einem Grobgewinde versehen sind, mittels der Kupplungsorgane 22 mit den SMA-Profilen oder den gewöhnlichen Armierungseisen in diesem Bauwerk zugfest verbunden oder verschraubt. Nach dieser mechanischen Kupplung wird der Spalt zwischen dem Bauwerk 14 und der auskragenden Betonplatte 15 verfüllt. Nach Aushärtung der Verfüllung wird über Elektrokabel 3 Wärme in die SMA-Profile 2 eingebracht, sodass diese eine Kontraktionskraft und damit eine Zugspannung erzeugen. Damit wird das ganze System vorgespannt, das heisst die auskragende Betonplatte 15 wird innerlich vorgespannt, und ausserdem mittels einer Vorspannung an das Bauwerk 14 gespannt, und wenn die ins Bauwerk hineingehenden Armierungen ebenfalls SMA-Profile 2 sind, so erzeugen diese auch im Innern des Bauwerks 14 ihrerseits eine Vorspannung, was insgesamt zu einer hohen Stabilität und Belastbarkeit der Auskragung führt.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Vorspannen von bestehenden oder von neu zu erstellenden Beton-Bauwerken und -Bauteilen mittels mindestens eines Profils (2) mit einer Oberflächenstruktur, nämlich einer gerippten oder sonstwie strukturierten Oberfläche oder mit einer Oberfläche in Form eines Gewindes, wobei dieses Profil (2) mit seiner Oberflächenstruktur aus einer Formgedächtnis-Legierung (SMA) auf Stahlbasis von polymorpher und polykristalliner Struktur besteht, sodass das SMA-Profil (2) durch Erhöhung seiner Temperatur aus seinem Zustand als Martensit auf seinen bleibenden Zustand als Austenit bringt-

bar ist, wobei es in den Beton des neu zu erstellenden Bauwerks oder Bauteils oder in am bestehenden Bauwerk oder Bauteil angebrachten Beton oder Mörtel so eingelegt, resp. eingebettet wird, dass das SMA-Profil (2) infolge eines anschliessenden aktiven und gesteuerten Wärmeeintrages mit Heizmitteln eine Kontraktionskraft und somit eine Zugspannung erzeugt und entsprechend eine Vorspannung auf den Beton resp. die zementgebundene Vermörtelung erzeugt, wobei die Krafteinleitung in den Beton oder die Vermörtelung über die Oberflächenstruktur des SMA-Profils (2) erfolgt.

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei der aktive, gesteuerte Wärmeeintrag in das SMA-Profil (2) erfolgt, indem dieses an Endbereichen (11) des SMA-Profils (2) oder an einer Zwischenstelle des SMA-Profils (2) derart mit Einlagen (5) versehen wird, dass diese nach dem Aushärten des Betons oder der Vermörtelung (1) aus demselben oder derselben herausragen, und diese Einlagen (5) bedarfsweise mechanisch oder durch Wegbrennen entfernt werden, und hernach für den aktiven, gesteuerten Wärmeeintrag Elektrokabel (3) an den freigelegten Bereichen des SMA-Profils (2) angeschlossen werden und unter elektrische Spannung gesetzt werden, zur Erzeugung einer Widerstandsheizung des SMA-Profils (2), wonach die freigelegten Endbereiche (11) des SMA-Profils (2) mit zementösem Mörtel verfüllt werden.

3. Verfahren nach Anspruch 1, wobei

- eine zu verstärkende Aussenseite (9) des bestehenden Baukörpers oder Bauwerks (6,12) bei nicht bereits rauer Ausführung der Aussenseite (9) aufgeraut wird,
- das SMA-Profil (2) auf der rau ausgeführten oder aufgerauten Aussenseite (9) befestigt wird,
- eine kapillare Sättigung an der Aussenseite (9) mit Wasser erzeugt wird, und dann eine zementöse Matrix als Vermörtelung oder Spritzbeton auf diese Aussenseite (9) aufgebracht wird, zur Überdeckung des SMA-Profils (2),
- nach Aushärtung der zementösen Matrix das SMA-Profil (2) durch Wärmeeintrag zum Erzeugen einer Kontraktionskraft und damit Zugspannung gebracht wird, wodurch die erzeugte Vermörtelung bzw. die Spritzbetonierung als Verstärkungsschicht (16,19) über eine Verzahnung mit der rau ausgeführten oder aufgerauten Aussenseite (9) eine Vorspannung derselben bewirkt.

4. Verfahren nach Anspruch 3, wobei

- die Aussenseite (9) hydromechanisch mit einem Druck von mindestens 500 bar, womit der

Untergrund wassergesättigt wird, oder mittels Sandstrahlen bearbeitet wird, sodass bis zu einer Oberflächenrauigkeit von wenigstens 3mm aufgeraut wird,

b. das SMA-Profil (2) auf der Aussenseite (9) mittels Anker oder Profilen aus Stahl befestigt wird,

c. eine kapillare Sättigung an der Aussenseite (9) mit Wasser erzeugt wird, und dann als Verstärkungsschicht (16,19) die zementöse Matrix als Vermörtelung von Hand aufgebracht oder als Spritzbeton trocken oder nass aufgespritzt wird, oder bei horizontalen Aussenseiten eine Vermörtelung als Verstärkungsschicht (16,19) mittels Auftragen von selbstnivellierendem Fließmörtel und Überdecken des SMA-Profils (2) erstellt wird, mit wahlweise Verdübeln der Vermörtelung oder Spritzbetonierung bzw. der Verstärkungsschicht (16,19) durch Anbringen von Dübeln (13), welche hinter eine vorderste Armierung (7,8) des Baukörpers oder Bauwerks (6,12) hinter der angebrachten Vermörtelung oder Spritzbetonierung bzw. der Verstärkungsschicht (16,19) hineinreichen,

d. nach Aushärtung der aufgetragenen Vermörtelung oder Spritzbetonierung bzw. der Verstärkungsschicht (16,19) das SMA-Profil (2) durch Wärmeeintrag zur Erzeugung einer Kontraktionskraft und damit einer Zugspannung gebracht wird, wodurch die aufgetragene Vermörtelung oder Spritzbetonierung bzw. die Verstärkungsschicht (16,19) über die Verzahnung mit der aufgerauten Aussenseite (9) eine Vorspannung derselben bewirkt.

5. Verfahren nach Anspruch 1, wobei für die Vorbereitung eines später möglichen Anbaus eines anzubauenden Beton-Bauteils (15) an ein aktuell zu erstellendes Bauwerk (14) das SMA-Profil (2) in den Beton des aktuell zu erstellenden Bauwerkes (14) eingelegt wird, sodass dieses senkrecht zur Bauwerksaussenseite (18) verläuft und endseitig mit einem Grobgewinde (20) versehen ist und unter der Oberfläche der Bauwerksaussenseite (18) endet, wobei sein Endbereich mit einer entfernbaren Einlage (5) eingefasst und anschliessend mit Mörtel überdeckt wird, sodass im Bedarfsfall später ein auskragendes Betonbauteil (15) am dann bereits erstellten Betonbauwerk (14) anbetonierbar und vorspannbar ist, indem das anzubauende Betonbauteil (15) selbst mit einem SMA-Profil (2) mit Grobgewinde (20) im Endbereich versehen ist und in Richtung von aussen auf die Bauwerksaussenseite (18) des bereits erstellten Betonbauwerkes (14) hin gerichtet mit dem Endbereich des freigelegten SMA-Profils (2) im bestehenden Betonbauwerk (14) durch ein Kupplungselement (22) zugkraftschlüssig verbindbar ist und hernach anbetonierbar ist, sodass nach Aushärten mit-

tels Wärmeeintrag das SMA-Profil (2) eine Kontraktionskraft erzeugt und in dieser Weise das angebaute Betonbauteil (15) eine eigene Vorspannung erfährt und an das bestehende Betonbauwerk (14) vorgespannt angedockt wird.

6. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei das SMA-Profil (2) für den Wärmeeintrag aus einer Spannungsquelle in Form einer Energieeinheit aus einer Reihe in Serie geschalteter Batterien über fest oder temporär angeschlossene Elektrokabel (3) unter elektrische Spannung von 10-20 V pro m Profillänge zur Erzeugung eines Stroms von 10-20A pro mm² Querschnittsfläche gesetzt wird, sodass es eine Widerstandsheizung bildet und in 2 bis 10 Sekunden aus seinem Zustand als Martensit auf seinen bleibenden Zustand als Austenit gebracht wird.
7. Verfahren nach Anspruch 6, wobei über die SMA-Profil-Länge mehrere Stromanschlüsse mit nach aussen führenden Heizkabeln vorgesehen werden, und der Wärmeeintrag abschnittsweise nacheinander durch Anlegen einer Spannung an jeweils zwei benachbarte Stromanschlüsse erzeugt wird.
8. Beton-Bauwerk, erstellt unter Anwendung des Verfahrens nach Anspruch 1.
9. Beton-Bauwerk, erstellt unter Anwendung des Verfahrens nach Anspruch 5.
10. Beton-Bauwerk, erstellt unter Anwendung des Verfahrens nach Anspruch 6, wobei die Elektrokabel (3) am SMA-Profil (2) fest angeschlossen sind.
11. Beton-Bauwerk, erstellt unter Anwendung des Verfahrens nach Anspruch 1, wobei es SMA-Profile im Beton oder in der Vermörtelung als eine Verstärkungsschicht einer Bauwerksaussenseite enthält, die längs der Bauwerksaussenseite innerhalb des Betons oder der Vermörtelung bzw. Verstärkungsschicht verlaufen und vorgespannt sind oder für eine Vorspannung durch Wärmeeintragung vorbereitet sind, indem Elektrokabel von ihren Endbereichen aus dem Beton oder der Vermörtelung bzw. Verstärkungsschicht heraus geführt sind oder ihre Endbereiche zugänglich sind.

Claims

1. Method for prestressing existing or newly constructed concrete structures and components by means of at least one profile (2) with a surface structure, namely a ribbed or otherwise structured surface or with a surface in the form of a thread, wherein this profile (2) with its surface structure consists of a

shape memory alloy (SMA) on a steel base with a polymorphic and polycrystalline structure, so that the SMA profile (2) can be brought from its state as martensite to its permanent state as austenite by increasing its temperature, wherein it is placed or embedded in the concrete of the new structure or component to be constructed or in concrete or mortar applied to the existing structure or component in such a way that the SMA profile (2) is brought from its state as martensite to its permanent state as austenite by increasing its temperature, embedded in such a way that the SMA profile (2) generates a contraction force and thus a tensile stress as a result of a subsequent active and controlled application of heat with heating means and correspondingly generates a prestress on the concrete or the cement-bound mortar, whereby the force is introduced into the concrete or the mortar via the surface structure of the SMA profile (2).

2. Method according to claim 1, wherein the active, controlled heat input into the SMA profile (2) is carried out by providing it with inserts (5) at end regions (11) of the SMA profile (2) or at an intermediate point of the SMA profile (2) in such a way that these protrude from the concrete or the mortar (1) after the latter has hardened, and these inserts (5) are removed mechanically or by burning away as required, and then electric cables (3) are connected to the exposed areas of the SMA profile (2) for active, controlled heat input and are energised to generate resistance heating of the SMA profile (2), after which the exposed end areas (11) of the SMA profile (2) are filled with cementitious mortar.

3. Method according to claim 1, wherein

- a. an outer side (9) of the existing building or structure (6, 12) to be reinforced is roughened if the outer side (9) is not already rough,
- b. the SMA profile (2) is attached to the rough or roughened outer side (9),
- c. a capillary saturation with water is created on the outside (9) and then a cementitious matrix is applied to this outside (9) as mortar or shotcrete to cover the SMA profile (2),
- d. after hardening of the cementitious matrix, the SMA profile (2) is caused to generate a contraction force and thus tensile stress by the application of heat, whereby the mortar or shotcrete produced acts as a reinforcing layer (16, 19) by interlocking with the rough or roughened outer surface (9) to prestress the latter.

4. Method according to claim 3, wherein

- a. the outer surface (9) is processed hydromechanically with a m pressure of at least 500 bar,

whereby the substrate is saturated with water, or by sandblasting, so that the surface is roughened to a roughness of at least 3 mm,

b. the SMA profile (2) is fastened on the outside (9) using anchors or steel profiles,

c. a capillary saturation is produced on the outside (9) with water, and then the cementitious matrix is applied as a reinforcing layer (16, 19) as mortar by hand or sprayed on dry or wet as shotcrete, or, in the case of horizontal outer sides, a mortar is produced as a reinforcing layer (16, 19) by applying self-levelling flowing mortar and covering the SMA profile (2), with optional dowelling of the mortar or shotcrete or the reinforcing layer (16, 19) by attaching dowels (13), which are placed behind a foremost reinforcement (7, 8) of the structure or building (6, 12) behind the attached mortar or shotcrete. the reinforcing layer (16, 19) by attaching dowels (13), which extend behind a foremost reinforcement (7, 8) of the structure or building (6, 12) behind the applied mortar or shotcrete or the reinforcing layer (16, 19),

d. after hardening of the applied mortar or shotcrete coating or the reinforcing layer (16, 19), the SMA profile (2) is caused to generate a contraction force and thus a tensile stress by the application of heat, whereby the applied mortar or shotcrete coating or the reinforcing layer (16, 19) causes a prestressing of the same via the interlocking with the roughened outer side (9).

5. Method according to claim 1, wherein the SMA profile (2) is inserted into the concrete of the structure (14) currently to be constructed for the preparation of a later possible attachment of a concrete component (15) to be attached to a structure (14) currently to be constructed, so that this runs perpendicular to the outside (18) of the structure and is provided at the end with a coarse thread (20) and ends below the surface of the outside (18) of the structure, its end region being edged with a removable insert (5) and then covered with mortar, so that, if necessary, a projecting concrete component (15) can later be concreted to and prestressed on the concrete structure (14) which has then already been constructed, in that the concrete component (15) to be attached is itself provided with an SMA profile (2) with a coarse thread (20) in the end region and can be connected to the end region of the exposed SMA profile (2) in the existing concrete structure (14) by a coupling element (22) in a tensile-locking manner in the direction from the outside towards the outside (18) of the concrete structure (14) already constructed and can then be concreted on, so that after hardening by means of heat input the SMA profile (2) generates a contraction force and in this way the attached concrete component (15) undergoes its own prestress-

ing and is docked prestressed to the existing concrete structure (14).

6. Method according to one of the preceding claims, wherein the SMA profile (2) is subjected to an electrical voltage of 10-20 V per m of profile length for the heat input from a voltage source in the form of an energy unit from a series of batteries connected in series via permanently or temporarily connected electric cables (3) to generate a current of 10-20 A per mm² cross-sectional area, so that it forms a resistance heating and is brought from its state as martensite to its permanent state as austenite within 2 to 10 seconds.
7. Method according to claim 6, wherein a plurality of current connections with heating cables leading outwards are provided over the SMA profile length, and the heat input is generated section by section in succession by applying a voltage to two neighbouring current connections in each case.
8. Concrete structure constructed using the method according to claim 1.
9. Concrete structure constructed using the method according to claim 5.
10. Concrete structure constructed using the method according to claim 6, wherein the electric cables (3) are firmly connected to the SMA profile (2).
11. Concrete structure constructed using the method according to claim 1, wherein it comprises SMA profiles in the concrete or in the mortar as a reinforcing layer of a structure exterior which extend along the structure exterior within the concrete or the mortar or reinforcing layer and are prestressed or prepared for prestressing by heat input in that electric cables are led from their end regions out of the concrete or the mortar or reinforcing layer or their end regions are accessible.

Revendications

1. Procédé de précontrainte d'ouvrages et d'éléments de construction en béton existants ou à construire, au moyen d'au moins un profilé (2) présentant une structure de surface, à savoir une surface nervurée ou structurée d'une autre manière ou une surface en forme de filet, ce profilé (2) étant constitué avec sa structure de surface d'un alliage à mémoire de forme (SMA) à base d'acier de structure polymorphe et polycristalline, de sorte que le profilé SMA (2) peut être amené, par augmentation de sa température, de son état de martensite à son état permanent d'austénite, le profilé étant inséré ou noyé dans le

béton de l'ouvrage ou de l'élément de construction à construire ou dans le béton ou le mortier appliqué sur l'ouvrage ou l'élément de construction existant, de manière à ce que le profilé SMA (2) ne soit pas endommagé. Le profilé SMA (2) est noyé dans le béton ou dans le mortier, de sorte que, suite à un apport de chaleur actif et contrôlé avec des moyens de chauffage, il génère une force de contraction et donc une contrainte de traction et produit en conséquence une précontrainte sur le béton ou le mortier lié au ciment, l'introduction de la force dans le béton ou le mortier s'effectuant par l'intermédiaire de la structure de surface du profilé SMA (2).

2. Procédé selon la revendication 1, dans lequel l'apport de chaleur actif et contrôlé dans le profilé SMA (2) est réalisé en munissant ce dernier d'inserts (5) au niveau des zones d'extrémité (11) du profilé SMA (2) ou d'un point intermédiaire du profilé SMA (2) de telle sorte que ceux-ci dépassent du même ou du même mortier après le durcissement du béton ou du mortier (1), et ces inserts (5) sont, si nécessaire, enlevés mécaniquement ou par brûlage, et ensuite, pour l'apport de chaleur actif et contrôlé, des câbles électriques (3) sont raccordés aux zones dégagées du profilé SMA (2) et sont mis sous tension électrique pour produire un chauffage par résistance du profilé SMA (2), après quoi les zones d'extrémité dégagées (11) du profilé SMA (2) sont remplies de mortier à base de ciment.
3. Procédé selon la revendication 1, dans lequel
 - a. une face extérieure (9) à renforcer du corps de bâtiment ou de l'ouvrage (6, 12) existant est rendue rugueuse si la face extérieure (9) n'est pas déjà réalisée de manière rugueuse,
 - b. le profilé SMA (2) est fixé sur la face extérieure (9) réalisée de manière rugueuse ou rendue rugueuse,
 - c. on crée une saturation capillaire sur la face extérieure (9) avec de l'eau, puis on applique une matrice à base de ciment sous forme de mortier ou de béton projeté sur cette face extérieure (9), pour recouvrir le profilé SMA (2),
 - d. après le durcissement de la matrice à base de ciment, le profilé SMA (2) est amené par apport de chaleur à produire une force de contraction et donc une contrainte de traction, ce qui fait que le mortier produit ou le béton projeté en tant que couche de renforcement (16, 19) provoque une précontrainte de celle-ci par l'intermédiaire d'une denture avec la face extérieure (9) réalisée de manière rugueuse ou rendue rugueuse.
4. Procédé selon la revendication 3, dans lequel

- a. la face extérieure (9) est traitée par voie hydromécanique avec une pression d'au moins 500 bars, avec laquelle le sous-sol est saturé d'eau, ou par sablage, de sorte que la surface est rendue rugueuse jusqu'à une rugosité d'au moins 3 mm,
- b. le profilé SMA (2) est fixé sur le côté extérieur (9) au moyen d'ancrages ou de profilés en acier,
- c. une saturation capillaire est produite sur la face extérieure (9) avec de l'eau, puis, comme couche de renforcement (16, 19), la matrice cimentaire est appliquée à la main comme mortier ou projetée comme béton projeté à sec ou humide, ou, dans le cas de faces extérieures horizontales, un mortier est réalisé comme couche de renforcement (16, 19) par application de mortier fluide autonivelant et recouvrement du profilé SMA (2), avec, au choix, goudronnage du mortier ou du béton projeté, respectivement la couche de renforcement (16, 19) par la mise en place de chevilles (13) qui s'étendent derrière une armature (7, 8) la plus en avant du corps de construction ou de l'ouvrage (6, 12) derrière le mortier ou le béton projeté appliqué ou la couche de renforcement (16, 19),
- d. après le durcissement du mortier ou du béton projeté appliqué ou de la couche de renforcement (16, 19), le profilé SMA (2) est amené par apport de chaleur à produire une force de contraction et donc une contrainte de traction, ce qui fait que le mortier ou le béton projeté appliqué ou la couche de renforcement (16, 19) provoque, par l'intermédiaire de l'engrènement avec la face extérieure rugueuse (9), une précontrainte de celle-ci.
5. Procédé selon la revendication 1, dans lequel, pour la préparation d'un ajout ultérieur possible d'un élément de construction en béton (15) à ajouter à un ouvrage (14) en cours de réalisation, le profilé SMA (2) est inséré dans le béton de l'ouvrage (14) en cours de réalisation, de sorte que celui-ci s'étend perpendiculairement au côté extérieur (18) de l'ouvrage et est pourvu à son extrémité d'un filetage grossier (20) et se termine sous la surface du côté extérieur (18) de l'ouvrage, sa zone d'extrémité étant bordée d'une garniture amovible (5) et ensuite recouverte de mortier, de sorte qu'en cas de besoin, un élément de construction en béton (15) en porte-à-faux peut être bétonné et précontraint ultérieurement sur l'ouvrage en béton (14) alors déjà réalisé, en ce que l'élément de construction en béton (15) à monter est lui-même pourvu d'un profilé SMA (2) avec un filetage grossier (20) dans la zone d'extrémité et, orienté en direction de l'extérieur vers le côté extérieur (18) de l'ouvrage en béton (14) déjà réalisé, peut être relié par une force de traction à la zone d'extrémité du profilé SMA (2) dégagé dans l'ouvrage en béton (14) existant par un élément d'accouplement (22) et peut ensuite être bétonné, de sorte qu'après durcissement par apport de chaleur, le profilé SMA (2) génère une force de contraction et que, de cette manière, l'élément de construction en béton rapporté (15) subit une précontrainte propre et est amarré à l'ouvrage en béton existant (14) en étant précontraint.
6. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel le profilé SMA (2) est mis sous tension électrique de 10 à 20 V par m de longueur de profilé pour générer un courant de 10 à 20 A par mm de surface de section transversale² pour l'apport de chaleur à partir d'une source de tension sous la forme d'une unité d'énergie d'une série de batteries connectées en série par l'intermédiaire de câbles électriques (3) connectés de manière fixe ou temporaire, de sorte qu'il forme un chauffage par résistance et est amené de son état de martensite à son état permanent d'austénite en l'espace de 2 à 10 secondes.
7. Procédé selon la revendication 6, dans lequel plusieurs connexions électriques sont prévues sur la longueur du profilé SMA avec des câbles chauffants menant vers l'extérieur, et l'apport de chaleur est généré par sections successives en appliquant une tension à chaque fois à deux connexions électriques voisines.
8. Ouvrage en béton, réalisé en utilisant le procédé selon la revendication 1.
9. Ouvrage en béton, réalisé en utilisant le procédé selon la revendication 5.
10. Ouvrage en béton, réalisé en utilisant le procédé selon la revendication 6, dans lequel les câbles électriques (3) sont raccordés de manière fixe au profilé SMA (2).
11. Ouvrage en béton, réalisé en utilisant le procédé selon la revendication 1, dans lequel il contient des profilés SMA dans le béton ou dans le mortier en tant que couche de renforcement d'un côté extérieur de l'ouvrage, qui s'étendent le long du côté extérieur de l'ouvrage à l'intérieur du béton ou du mortier ou de la couche de renforcement et sont précontraints ou sont préparés pour une précontrainte par apport de chaleur, en ce que des câbles électriques sont guidés depuis leurs zones d'extrémité hors du béton ou du mortier ou de la couche de renforcement ou leurs zones d'extrémité sont accessibles.

Fig. 1

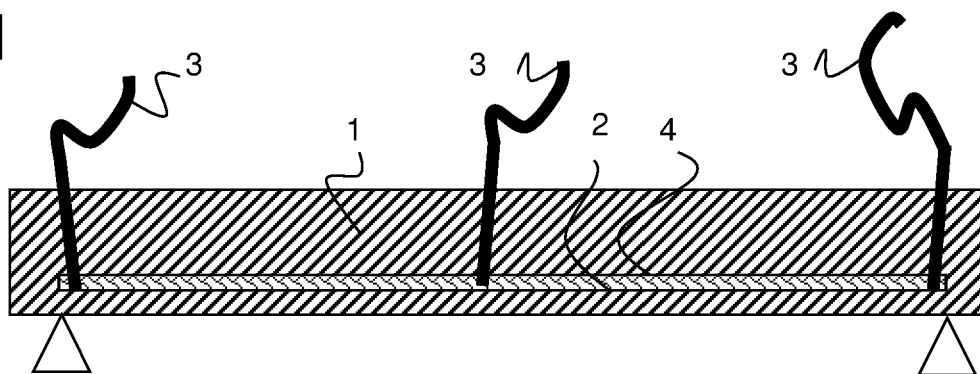


Fig. 2

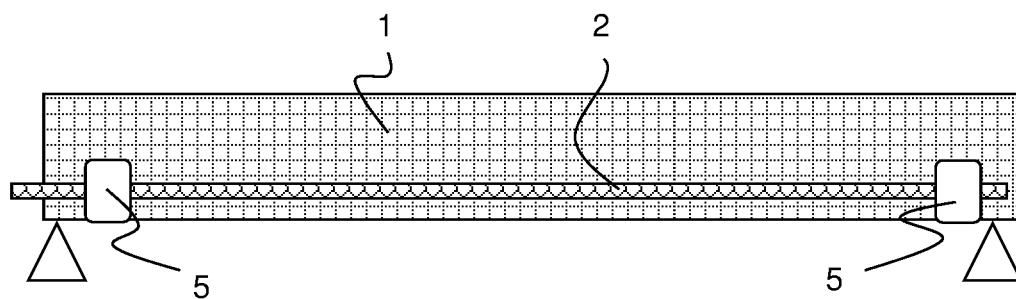


Fig. 3

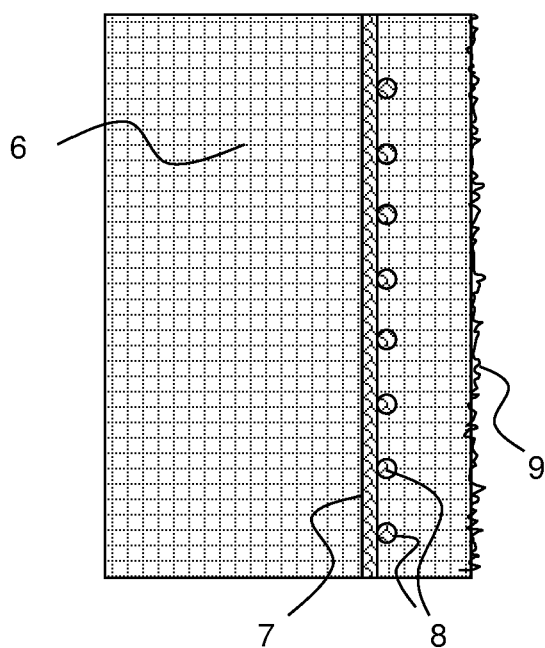


Fig. 4

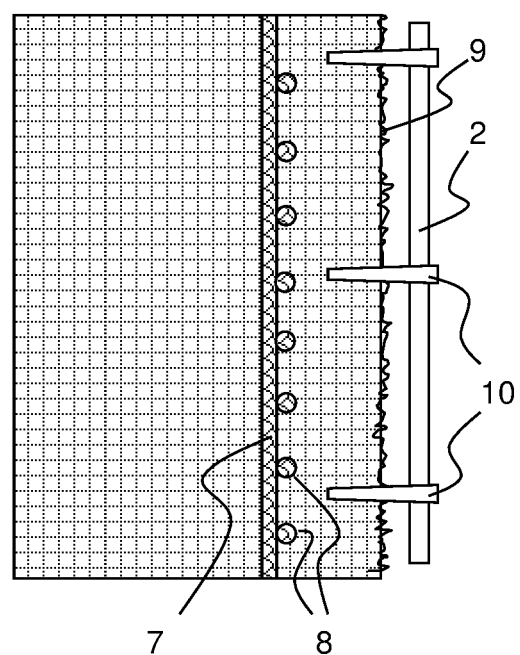


Fig. 5

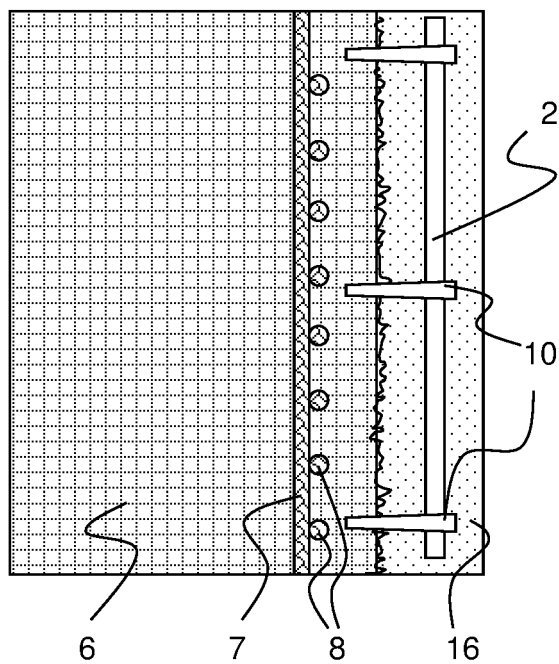


Fig. 6

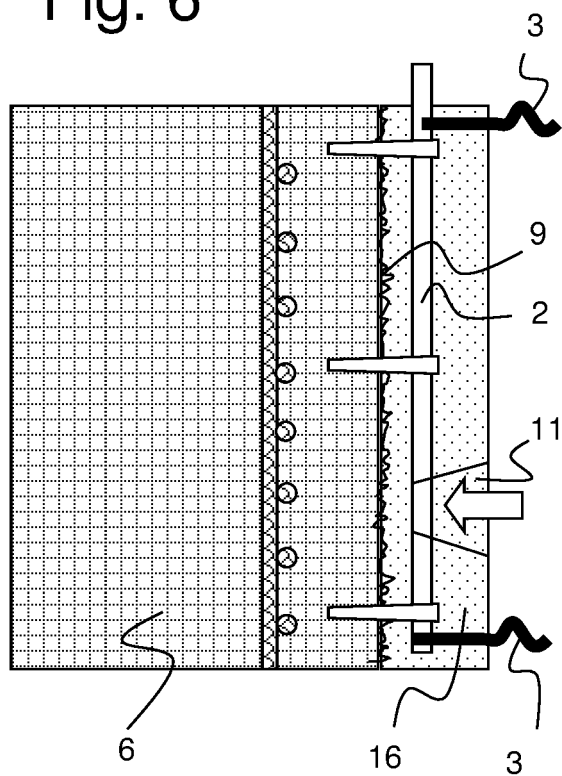


Fig. 7

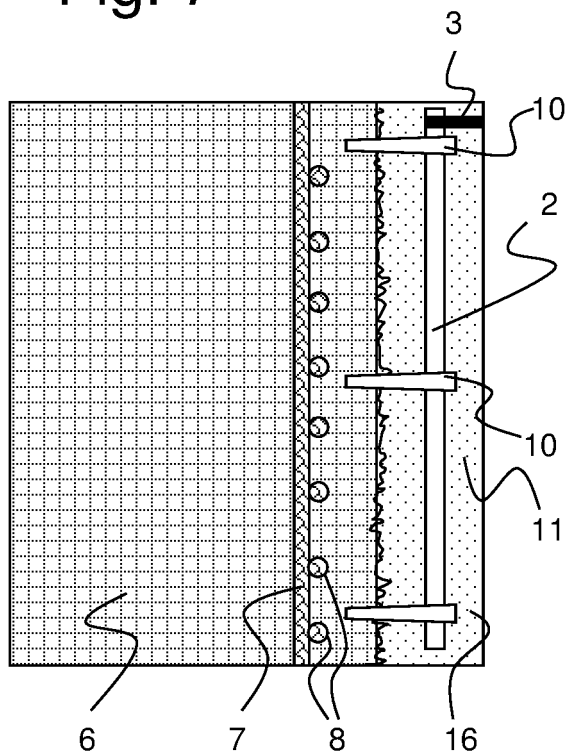


Fig. 8

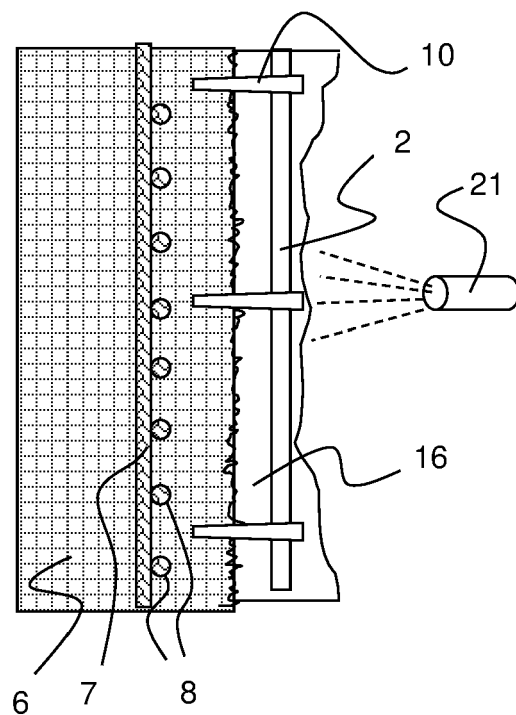


Fig. 9

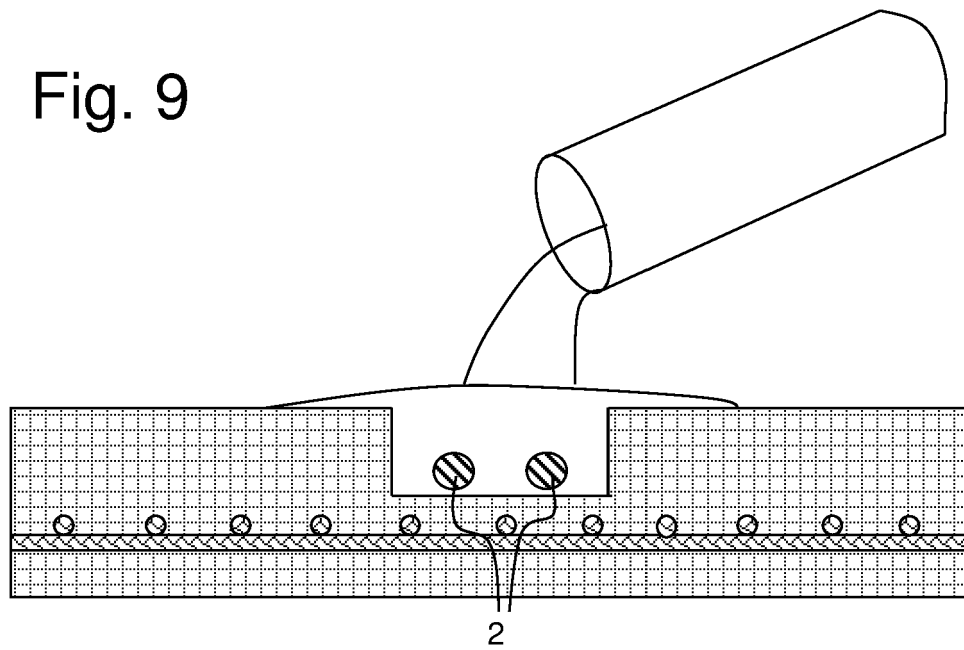


Fig. 10

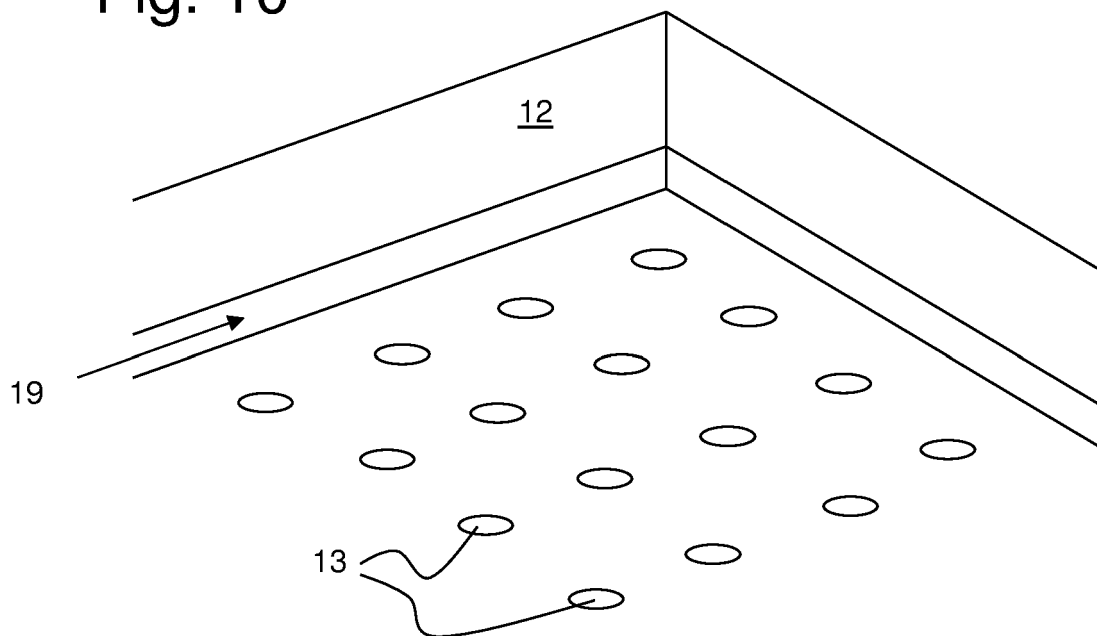


Fig. 11

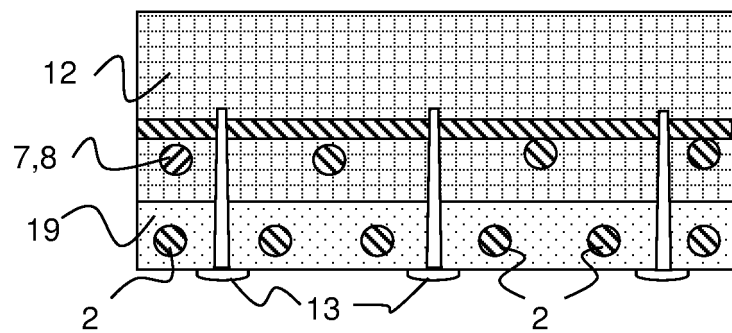


Fig. 12

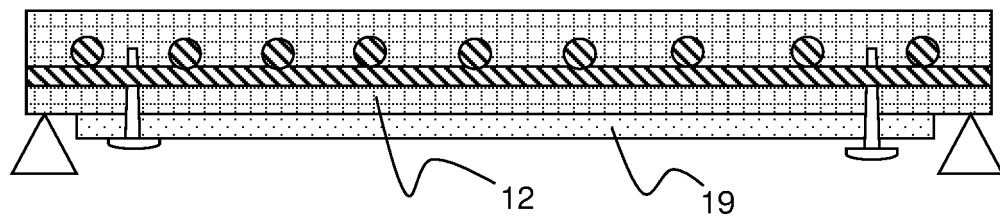
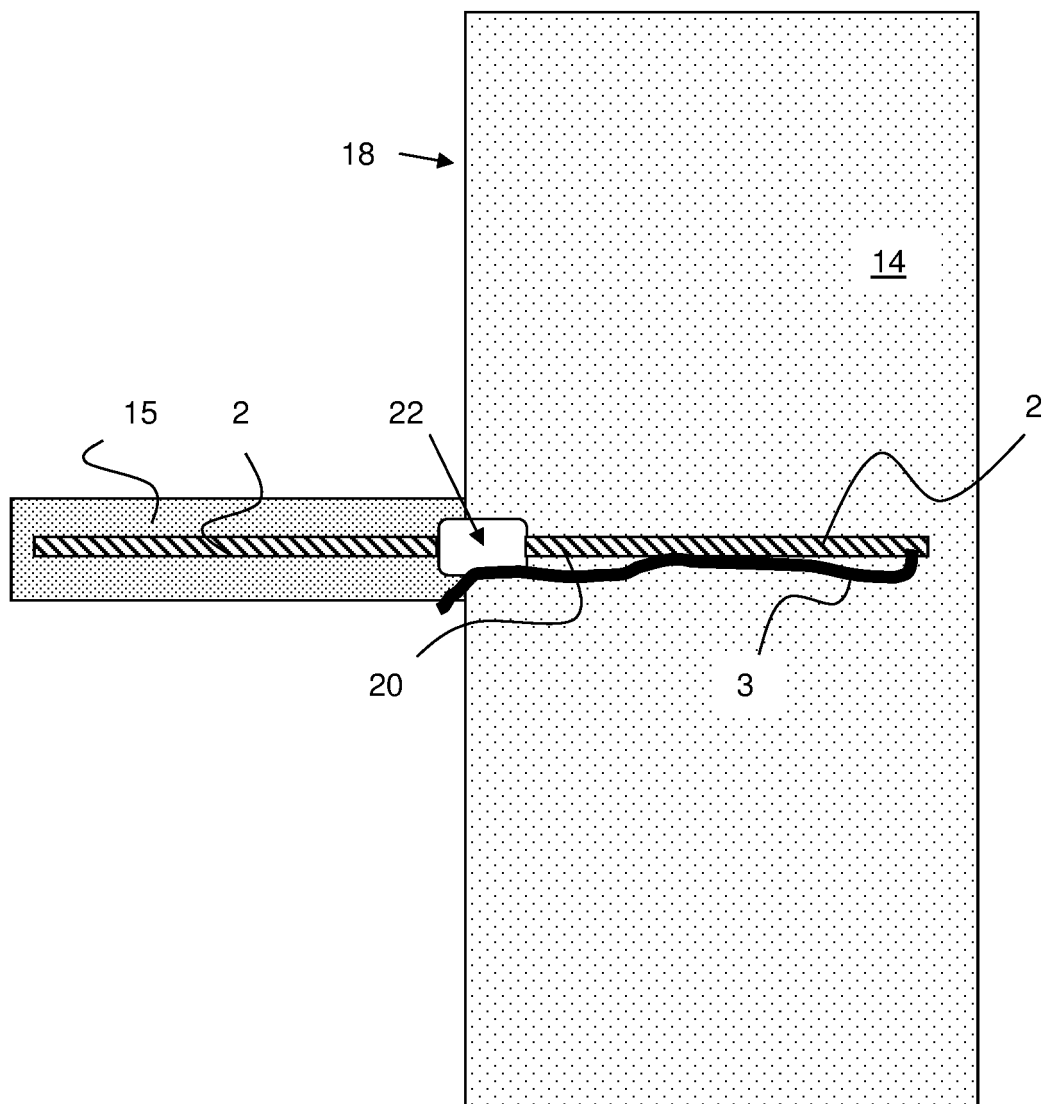


Fig. 13



IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente

- GB 2358880 A [0003]
- JP 2008138469 A [0003]
- WO 9612588 A1 [0003]