



Patent- og
Varemærkestyrelsen

(51) Int.Cl⁷: C 04 B 14/48

(21) Patentansøgning nr: PA 1993 00516

(22) Indleveringsdag: 1993-05-05

(24) Løbedag: 1993-05-05

(41) Alm. tilgængelig: 1993-11-09

(45) Patentets meddelelse bkg. den: 2002-10-07

(30) Prioritet: 1992-05-08 BE 09200427

(73) Patenthaver: N.V. Bekaert S.A., Bekaertstraat 2, B-8550 Zwevegem, Belgien

(72) Opfinder: Dirk Nemegeer, Platanenlaan 74, 8530 Haralbeke, Belgien
Yves Vancraeynest, Pres. J.F. Kennedylaan 18, 8550 Zwevegem, Belgien

(74) Fuldmægtig: Internationalt Patent-Bureau A/S, Høje Taastrup Boulevard 23, 2630 Taastrup, Danmark

(54) Benævnelse: Stålfiberforstærket beton med høj bøjningsstyrke

(57) Sammendrag:

Stålfiberforstærket beton med meget høj bøjningsstyrke opnået ved at anvende en betonsammensætning med en sammenpresningsstyrke P på mindst 80 N/mm^2 indeholdende fibre fremstillet ved en kolddeformationshærdende tværsnitsreducerende fremgangsmåde, hvilke fibre har et forhold mellem længde og tykkelse i området fra 60 til 120 og en modstandgivende form, hvor stålfibrene har et forhold mellem trækstyrken T nævnte sammenpresningsstyrke P ifølge formlen

$$T/P > 17.$$

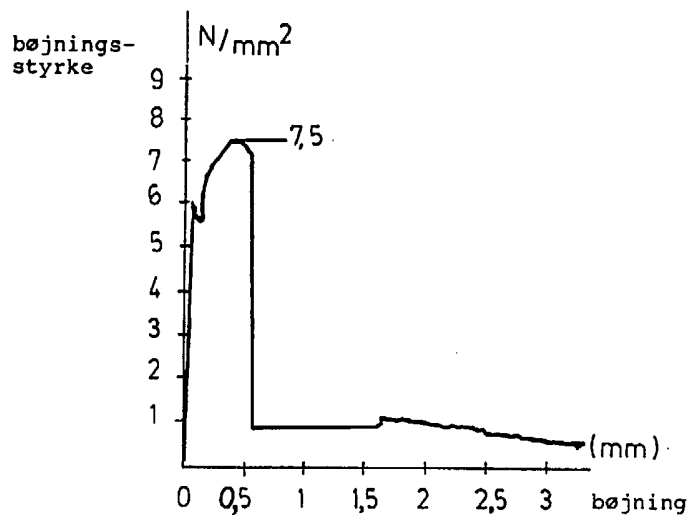


FIG. 2

Opfindelsen angår en stålfiberforstærket beton med forøget bøjningsstyrke og stålfibre til anvendelse heri. Stålfiber til forstærkning af beton er velkendte. Sådanne fibre indføres i en blanding til fremstilling 5 af beton, hvilken blanding blandes grundigt, indtil fibrene er ensartet fordelt i blandingen. Efter hærning af betonen fungerer de som en armering som styrker betonen.

For at være egnet til blanding og til forstærkning 10 har stålfibrene i almindelighed en tykkelse i området fra 0,3 til 1,2 mm, mere sædvanligt i området fra 0,5 til 1 mm, et forhold mellem længde og tykkelse i området fra 30 til 150, mere sædvanligt i området fra 50 til 100, og en trækstyrke i området fra 500 til 1600 15 Newton pr. mm², mere sædvanligt fra 900 til 1300 N/mm². Når trækstyrken er mindre end 500 N/mm² udviser fibrene en for lav modstand mod deformation ved brud af betonen, hvorved betonen vil udvise en sprød opførsel ved brud. Når trækstyrken er mere end 1300 N/mm² undgås den 20 sprøde opførsel af betonen tilstrækkeligt, og herefter vil en yderligere forøgelse af trækstyrken af stålet ikke bibringe en yderligere forøgelse af bøjningsstyrken af betonen.

Den forstærkende effekt af stålfibrene giver sig 25 specielt til udtryk i forøgelsen af bøjningsstyrken af betonen. Det vil sige trækstyrken af betonen ved brud af bjælken for en betonbjælke under bøjningsbelastning på det sted, hvor den højeste spænding optræder. En angivelse herfor er det såkaldte brudmodul. Brudmodulet 30 betegnes σ og opnås ved formlen:

$$\sigma = P \times L \times B/H^2,$$

hvor:

L = spændvidden mellem to understøttende punkter for

5 en testbjælke, som er belastet til bøjning ved hjælp af en belastning som for en halvdels vedkommende udøver sin virkning i en afstand på 1/3 af spændvidden fra et understøttelsespunkt og for den anden halvdels vedkommende udøver sin virkning i en afstand på en 1/3 af spændvidden fra det andet understøttende punkt,

B = bredden af testbjælken,
 H = højden af testbjælken,
 10 P = summen af de ovenfor nævnte halv-belastninger ved brud.

Værdien som opnås udfra denne formel svarer faktisk til den spænding ved brud i den del af bjælken i området under påvirkning af spænding som har den største
 15 afstand fra det neutrale plan udregnet som var brudet stadig lokaliseret i den lineære del af arbejdskurven. Ved tilstedeværelsen af fibre vil betonen imidlertid ikke udvise et sprødt brud efter det første knæk, men arbejdskurven vil stige yderligere på ikke-lineær vis
 20 mod et maksimum, hvilket bevirker at betonen udviser en modstand mod efter-knæk som er betragteligt højere end modstanden mod det første knæk. På denne måde bibringer fibre en betragtelig forøgelse af bøjningsstyrken udtrykt ved brudmodulet.

25 Det er kendt, at bøjningsstyrken bibragt af metal fibre er givet, i første approximation, ved formlen:

$$F = B \times p \times L/D \quad (1)$$

hvor:

B = en konstant, som afhænger af graden af for-
 30 ankring og af orienteringen af fibre i betonen og som i første approximation er uafhængig af trækstyrken af stålet, som udgør fibre,
 p = volumenprocenten af fibre i betonen,

L/D = forholdet mellem længden og diameteren for den anvendte fiber.

Det er kendt at anvende fibre med modstandgivende form, dvs. fibre som adskiller sig fra den lige form med konstant tværsnit over længden for at opnå en grad af forankring af fibre, som er så høj som mulig. Der er f.eks. fibre, som er forsynet med bugtninger eller bølger, enten over hele eller over en del af deres længde, eller kun ved enderne, såsom krogformede bugtninger. Tilsvarende er der fibre, hvor tværsnitsprofilen ændrer sig over længden, såsom tykninger alternerende med tyndere dele eller en flad profil, som alterneres med en rund profil, enten over hele længden eller kun ved enderne, såsom tykninger i form af et sømhovede ved hver af enderne. Disse deformationer kan anvendes alene eller i kombination med hinanden. Forøgelsen i graden af forankring kan opnås under anvendelse af sådanne fibre med modstandsgivende form og kan yderligere opnås eller forøges ved at gøre fiberoverfladen mere ru.

Udover forbedringen af forankringsgraden er det også kendt, at et L/D-forhold skal vælges så højt som muligt til en vilkårlig værdi større end 50. Men når fibre fremstilles ved en kolddeformationshærdende tværsnitsreducerende fremgangsmåde såsom ved koldvalsning eller koldstrækning eller koldforlængelse, og et forhold er valgt over ca. 120 til 130, så vil diameteren, når der anvendes en for blandingen acceptabel længde på 2,5 til 10 cm, blive for lille til stadig at være økonomisk acceptabel. Fremstillingsomkostningerne af fibre pr. kg øges som følge af, at fibre er tyndere. Man kan som følge heraf ikke forøge L/D-forholdet uendeligt.

Når man ønsker yderligere at forøge bøjningsstyrken af betonen under anvendelse af en sådan optimeret fiber for større effektivitet, må man være villig til, ifølge formel (1), at indgive en del p af fibrene i betonen, som er så høj som mulig. Men også her er der en grænse bestemt af blandbarhed af fibrene. Jo højere L/D-forholdet er, desto sværere vil fibrene være at blande i betonen uden fare for, at de vikler sig sammen, hvilket betyder, at et højt L/D-forhold modsvares af en tilsvarende lavere maksimal volumenprocent af fibre, som kan iblandes betonen. Grænsen for blandbarheden kan bestemmes eksperimentelt, se f.eks. US patent nr. 4 224 377 ved den følgende tilnærmede formel:

$$p \times (L/D)^{1,5} = \text{højst } 1100,$$

hvor i denne maksimale værdi kan øges i en vis udstrækning ved hjælp af specielle tiltag til forbedring af blandbarheden, såsom ved at tillede fibrene i en form, hvor de er limet sammen, som det kendes fra samme US patent.

Som følge af de ovenfor nævnte begrænsninger, er det almindeligt anerkendt, at fremstillingsøkonomien og effektiviteten i betonen af fibre, som er fremstillet ved en kolddeformationshærdende tværsnitsreducerende fremgangsmåde, bedst kan forliges med hinanden, hvis L/D-forholdet er i området fra ca. 70 til ca. 100. Volumenprocenterne, som svarer hertil, er henholdsvis ca. 1,8% og 1,1% afhængig af de tiltag, som måtte være gjort for at forbedre blandbarheden.

Det er formålet med den foreliggende opfindelse at tilvejebringe en stålfiberforstærket beton, samt stålfibrene herfor, hvor bøjningsstyrken af betonen yderligere er øget, uden at betonen dog imidlertid mister sin sejhed og som følge heraf udvise en sprød opførsel ved brud.

Ifølge opfindelsen anvendes der stadig en fiber fremstillet ved en kolddeformationshærdende tværsnits-reducerende fremgangsmåde med en modstandgivende form som angivet ovenfor med et L/D-forhold i området fra
5 ca. 60 til 120, fortrinsvis fra ca. 70 til 100, men der anvendes en beton med en sammenpresningsstyrke P, uden fibre, på mindst 80 Newton pr. m², hvor stålet har et forhold mellem trækstyrken T og nævnte sammenpresningsstyrke P ifølge formlen:

10
$$T/P > 17.$$

For en beton med en sammenpresningsstyrke på 100 N/mm² skal trækstyrken af fibrene derfor udgøre mindst 1700 N/mm². Hvis trækstyrken er mindre er der en risiko for, at betonen vil udvise en for sprød opførsel ved
15 brud. Det er imidlertid ikke nødvendigt, at trækstyrken er meget større end 30% over den mindste trækstyrke ifølge den ovennævnte formel ($T = 17 \cdot P$), idet overskud af trækstyrke ikke vil bibringe nogen yderligere nævneværdig bøjningsstyrke til betonen. Selvom valget af
20 trækstyrke over den mindste værdi kan vælges frit, skal en trækstyrke T fortrinsvis vælges ved et forhold til nævnte sammenpresningsstyrke P ifølge formlen:

$$T/P < 22.$$

Den ønskede trækstyrke T kan let tilvejebringes,
25 eftersom fibre fremstilles af stål med deformationshærdet metallografisk struktur som opnås ved kold tværsnitsreduktion ved valsning eller ved trådtrækningen. Herved kan trækstyrken opnås temmelig præcist ud fra graden af reduktion.

30 Sammenpresningsstyrken P af et betonmateriale er den styrke, som bestemmes ved ASTM-standard nr. C39-80 på en terning af beton med en kantlængde på 150 mm, hvor terningen presses mellem to parallelle overflader

indtil brud. Sammenpresningsstyrken er derfor lig med den sammenpressende kraft ved brud delt med overfladearealet af en flade af terningen. Denne sammenpresningsstyrke er en faktor, som yderligere kan forøges 5 under anvendelse af fibre med hensyn til bøjningsstyrken. I almindeligt beton har denne sammenpresningsstyrke hidtil almindeligvis udgjort fra ca. 30 til 50 N/mm², hvorimod der ved opfindelsen opnås værdier over 80 N/mm². Det er imidlertid nødvendigt sammen 10 med forøgelsen af sammenpresningsstyrken af betonmaterialet at forøge trækstyrken af fibrene for at undgå den sprøde opførsel af betonen.

En beton med en sammenpresningsstyrke over 80 N/mm² kan opnås ved kendte midler som anvendes i kombi- 15 nation: Dels ved at tilsætte en yderligere del, udover sædvanligt anvendte inerte fyldmaterialer, såsom sand, grus og formalet kalksten på 5 til 10% af cementvægten i form af et meget findelt fyldmateriale, såsom mikro- pozzolana og silica-røg med tilsætning af tilstrækkelige 20 mængder af superblødgøringsmidler for at undgå nødvendigheden af at tilsætte yderligere mængder vand som følge af det findelte fyldmateriale, og dels ved at anvende et forhold mellem vand og cement, som er holdt lavere end 0,4, fortrinsvis mellem 0,30 og 0,35. Den 25 såkaldte silica-røg er et ultrafint materiale med et specifikt overfladeareal på mere end 5000 m² pr. kg, som udfældes i røgfiltrene tilknyttet elektriske ovne til fremstilling af silicium og som hovedsagelig består af amorft SiO₂.

30 De kendte superblødgøringsmidler er vandreducerende additiver, såsom carbohydrater eller alkali- eller jordalkalimetalsalte af lignosulfonsyrer eller af hydroxycarboxylsyrer.

Til bestemmelse af tykkelsen D af fibre med et ikke cirkelformet tværsnit anvendes diameteren af en cirkel med samme omkreds som omkredsen af tværsnittet. Når dette snit ikke er det samme over hele længden af fiberen anvendes den gennemsnitlige omkreds for hele længden.

Opfindelsen vil herefter blive yderligere forklaret med henvisning til et eksempel, til sammenligningsforsøg udført dermed og med henvisning til nogle
10 tegninger, hvori:

Fig. 1 angiver formen af en stålfiber, som anvendes i sammenligningsforsøget beskrevet nedenfor,

Fig. 2 viser en kurve over bøjningsstyrken mod bøjningen for en betonbjælke dannet af en beton
15 ifølge eksempel 2 beskrevet nedenfor, hvilken betonbjælke indeholder fibre med en utilstrækkelig trækstyrke ($T/P < 17$), hvorfor en sprød opførsel kan iagttages,

Fig. 3 viser en kurve over bøjningsstyrken mod bøjningen for en betonbjælke dannet af beton ifølge
20 eksempel 3 beskrevet nedenfor, hvor fibrene har en tilstrækkelig trækstyrke ($T/P > 17$), hvorved det tilsigtede med opfindelsen er opnået.

Betonsammensætning:

	Eksempel 1 (Sammenligning)		Eksempel 2 og 3
	Cement HK40: 375 kg		Cement P40: 400 kg
	Sand 0/2: 300 kg		Sand 0/5: 640 kg
5	0/5: 480 kg		
	Grus 4/14: 1000 kg		Grus 4/7: 585 kg
	4/28: 200 kg		7/14: 585 kg
			Mikropozzolana S.F.: 40 kg
10			Blødgører
			Pozzolith 400N: 2,5%
	Vand: 180 kg		Vand: 132 kg
	Fibre: 40 kg		Fibre: 40 kg
	Sammenpresningsstyrke (N/mm ²)		Sammenpresningsstyrke (N/mm ²)
15	med fibre (P < 80): 49,6		med fibre (P > 80):
			eks. 2: 97,4
			eks. 3: 101,8
			uden fibre: 99,9
20			
	<u>Fibre:</u>		
	Form: ifølge fig. 1: hovedsageligt lige med bukkede ender: en første vinkel på ca. 45°, efterfulgt i ca. 3 mm's afstand herfra af en tilsvarende vinkel i den anden retning, efterfulgt af ca. 3 mm i den samme retning som den midterste del, indtil enden,		
25	tværsnit: rund, med en diameter D på 0,8 mm, længde: 60 mm (L/D-forhold = 75).		
30	Trækstyrke: eksemplerne 1 og 2: 1175 N/mm ²		
	eksempel 3: 2162 N/mm ² .		

Opnået bøjningsstyrke (efter 28 dage), enhed N/mm^2 :
(bøjende belastning af en bjælke under påvirkning af to ens belastninger være anbragt på en $1/3$ af spændvidden fra hver ende af bjælken.

5

Eksempel 1: 4,2

Eksempel 2: 7,5. Sprød opførsel ved brud (fig. 2)

Eksempel 3: 8,95. Sprød opførsel undgået (fig. 3).

10 Det skal betones, at opfindelsen ikke er begrænset til den type af deformation i krogform ved enderne som vist her, men at opfindelsen er anvendelig, i forbindelse med alle andre typer af deformationer, alene eller i kombination med hinanden og med alle typer for
15 ruhed af overfladen, som beskrevet ovenfor.

Betonen ifølge opfindelsen kan anvendes i alle typer for strukturelementer, hvor en høj bøjningsstyrke er ønskelig sammen med en ekstrem sejhed af betonen, og kan især anvendes til betonbjælker til høje bygninger,
20 ger, til vejbelægning på broer og til tunnellofter.

P A T E N T K R A V

1. Betonmateriale forstærket med stålfibre med en deformationshærdet metallografisk struktur, et forhold mellem længde og tykkelse i området fra 60 til 120, fortrinsvis fra 70 til 100, og med en modstandsgivende form, k e n d e t e g n e t ved, at betonsammensætningen uden fibre har en sammenpresningsstyrke P på mindst 80 Newton pr. m², og at stålfibrene har et forhold mellem trækstyrken T og nævnte sammenpresningsstyrke P ifølge formlen:

$$10 \quad T/P > 17.$$

2. Betonmateriale ifølge krav 1, k e n d e t e g n e t ved, at forholdet mellem trækstyrken T og nævnte sammenpresningsstyrke P er ifølge formlen:

$$T/P < 22.$$



FIG.1

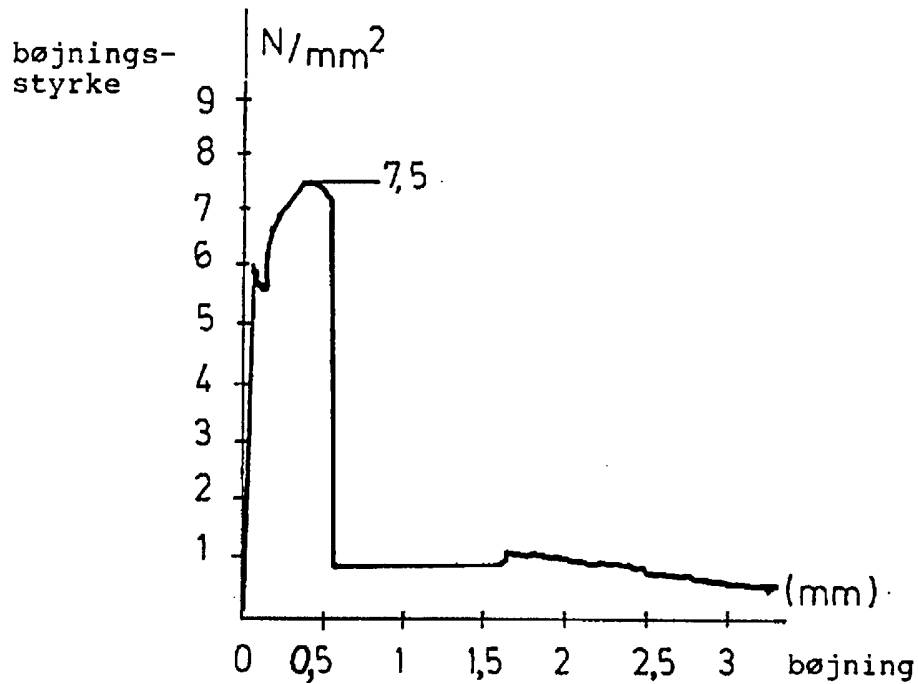


FIG. 2

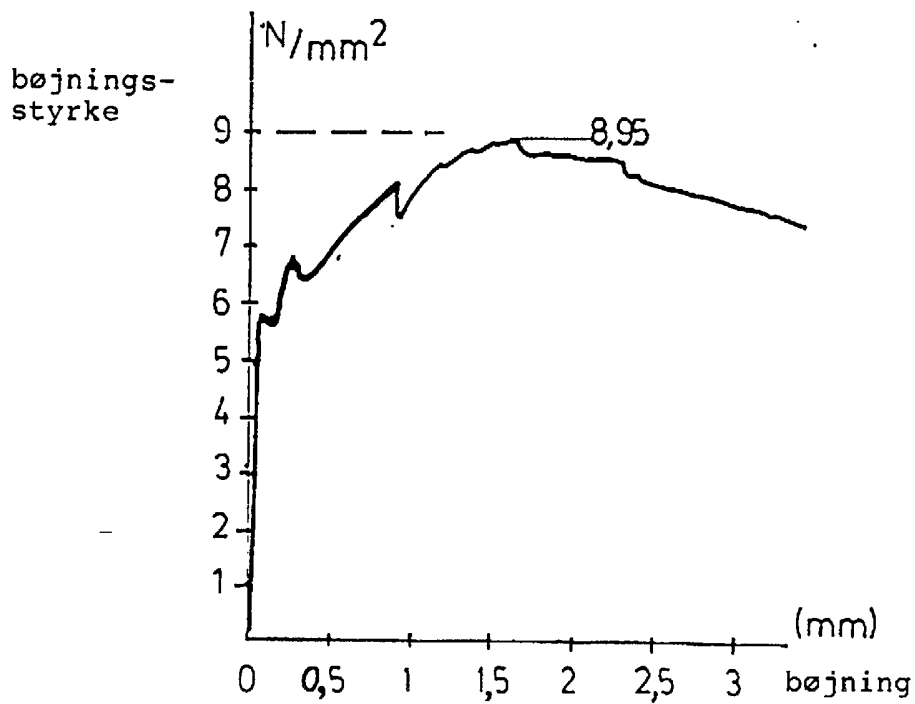


FIG.3