

①9



Octrooiraad
Nederland

①1 194163

①2 C OCTROOI

②1 Aanvraag om octrooi: 9300782

⑤1 Int.Cl.⁷
C04B14/48, E04C1/00

②2 Ingediend: 07.05.1993

③0 Voorrang:
08.05.1992 BE 0009200427

④3 Ter inzage gelegd:
01.12.1993 I.E. 1993/23

④4 Openbaargemaakt:
02.04.2001 I.E. 2001/04

④7 Dagtekening:
03.08.2001

④5 Uitgegeven:
01.10.2001 I.E. 2001/10

⑦3 Octrooihouder(s):
N.V. Bekaert S.A te Zwevegem, België (BE).

⑦2 Uitvinder(s):
Dirk Nemegeer te Harelbeke (BE)
Yves Vancraeynest te Zwevegem (BE)

⑦4 Gemachtigde:
Drs. F. Barendregt c.s. te 2280 GE Rijswijk.

⑤4 Met staalvezel versterkt beton met hoge buigsterkte.

Met staalvezel versterkt beton met hoge buigsterkte

De uitvinding heeft betrekking op een betonmateriaal, versterkt met staalvezels met een onder harding door bewerking verkregen metallografische structuur en met een lengte tot dikte verhouding tussen 60 en 120, en met een verankeringsvorm.

Een dergelijk betonmateriaal is bekend uit NL-A-8001609. Hierin worden verbeterde staalvezels voor betonwapening beschreven. De vezels verkrijgen een speciale verankeringsvorm door walsen tussen twee tandwielen.

Staalvezels voor de versterking van beton zijn voldoende bekend. Dergelijke vezels worden ingebracht in een mengsel voor de bereiding van beton en goed gemengd totdat ze gelijkmatig verdeeld zijn in het mengsel. Na uitharding van het beton werken ze als een versterking die het beton versterkt.

Met het oog op de aanpassing voor vermenging en voor versterking hebben de staalvezels in het algemeen een dikte in het gebied van 0,3 tot 1,2 mm, het meest gebruikelijke in het gebied van 0,5 tot 1 mm, een lengte tot dikte verhouding in het gebied van 30 tot 150, het meest gebruikelijk in het gebied van 50 tot 100 en een treksterkte in het gebied van 500 tot 1600 Newton per vierkante millimeter, het meest gebruikelijk van 900 tot 1300 N/mm². Bij minder dan 500 N/mm² vertonen de vezels een te lage weerstand tegen vervorming bij breuk van het beton, waarbij het beton dan een broos gedrag zou tonen bij breuk. En bij meer dan 1300 N/mm² wordt het broze gedrag van het beton voldoende vermeden en voegt de toegenomen treksterkte van het staal geen toename van buigsterkte aan het beton meer toe.

De versterkende uitwerking van de staalvezels vertoont zichzelf met name in de toename van de buigsterkte van het beton. Deze is, in een betonbalk onder buigbelasting en op de plaats waar de maximale spanning plaatsvindt, de treksterkte van het beton bij breuk van de balk. Typerend hiervoor is de zogenaamde breukmodulus. Dit is de waarde die verkregen wordt met de formule

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

waarin:

L = de overspanningslengte tussen de twee ondersteuningspunten van een proefbalk die belast is op doorbuiging door middel van een belasting die voor de helft werkt op een afstand van één derde van de overspanningslengte vanaf één steunpunt en voor de andere helft werkt op een afstand van één derde van de overspanningslengte vanaf het andere steunpunt;

B = de breedte van de proefbalk;

H = de hoogte van de proefbalk;

P = de som van de bovengenoemde halfbelastingen bij breuk.

De waarde zoals verkregen door deze formule komt in feite overeen met de spanning bij breuk in het deel van de balk in het gebied dat onder spanning staat en dat het meest ver is gelegen van het neutrale vlak, berekend alsof de breuk nog steeds gelegen zou zijn in het lineaire deel van de spanning/rek kromme. Echter, door de aanwezigheid van de vezels toont het beton nog steeds geen broze breuk na de eerste barst, maar stijgt de spannings/rek kromme verder op een niet-lineaire manier naar een maximum, met het resultaat dat het beton een latere post-barstvormingsweerstand vertoont die aanzienlijk hoger is dan de eerste-barstvormingsweerstand. Op deze manier leveren de vezels een aanzienlijk hogere toename van de buigsterkte, zoals waargenomen wordt in de breukmodulus.

Het is bekend dat de buigsterkte, gevormd door de metaalvezels in een eerste benadering gegeven wordt door de formule:

$$F = B \times p \times L/D$$

waarin:

B = een constante die afhankelijk is van de mate van verankering en de oriëntatie van de vezels in het beton en die, in een eerste benadering, onafhankelijk is van de treksterkte van het staal van de vezel;

p = het volumepercentage van vezels in het beton;

L/D = de lengte tot diameterverhouding van de gebruikte vezel.

Het is bekend om vezels te gebruiken met verankeringsvorm, dat wil zeggen vezels met een vorm die verschilt van de rechte vorm met constante dwarsdoorsnede over de lengte, om een mate van verankering van de vezels te verkrijgen die zo hoog mogelijk is. Er zijn bijvoorbeeld vezels die voorzien zijn van inbuigingen of golvingen, ofwel over het geheel of een deel van hun lengte of slechts aan de uiteinden, zoals haakvormige inbuigingen. Evenzo zijn er vezels waarvan het doorsnedeprofiel verandert over de lengte, zoals verdikkingen die afwisselen met dunnere delen of een afgevlakt profiel dat afwisselt met een rond profiel, ofwel over de gehele lengte of slechts aan de uiteinden, zoals verdikkingen in de vorm van een spijkerskop aan elk van de uiteinden. Deze vervormingen kunnen alleen of in combinatie met elkaar gebruikt worden. De toename van de mate van verankering kan verkregen worden door het gebruik van dergelijke

(1)

vezels met verankeringsvorm en kan verder verkregen worden of toenemen door de opruwing van het vezeloppervlak.

- Naast de verbetering van de mate van verankering is het ook bekend dat een L/D-verhouding zo gekozen moet worden dat deze zo hoog mogelijk is, in ieder geval hoger dan 50. Maar wanneer de vezels gemaakt zijn door een dwarsdoorsnede-verminderingswerkwijze met harding door bewerking in de koude, zoals door koud walsen of trekken of verlengen, en een verhouding genomen wordt boven ongeveer 120 tot 130 dan wordt, met gebruik van een aanvaardbare lengte van 2,5 tot 10 cm voor het mengen, de diameter te klein om nog steeds economisch aanvaardbaar te zijn. De vervaardigingskosten van de vezel per kilogram nemen inderdaad toe wanneer de vezel dunner is. Dientengevolge kan men niet oneindig de L/D-verhouding verhogen.

- Wanneer men de buigsterkte van het beton verder wil verhogen, met gebruik van een dergelijke geoptimaliseerde vezel vanwege de efficiëntie, moet men bereid zijn, volgens formule (1), om een zo hoog mogelijk aandeel p aan vezels in het beton te brengen. Maar ook hier is een grens die bepaald wordt door mengbaarheid van de vezels. Hoe hoger inderdaad de L/D-verhouding, hoe moeilijker de vezels gemengd zullen worden in het beton zonder het gevaar van samen te klonten, hetgeen betekent dat een hogere L/D-verhouding overeenkomt met een lager maximum volumepercentage dat gemengd kan worden in het beton. De grens van de mengbaarheid kan experimenteel bepaald worden, zie daarvoor bijvoorbeeld het Amerikaanse octrooischrift Nr. 4.224.377, met de benaderende formule:
- $$p \times (L/D)^{1.5} = \text{maximaal } 1100,$$

- waarin deze maximumwaarde in een zekere mate verhoogd kan worden door speciale maatregelen te nemen voor het verbeteren van de mengbaarheid, zoals het inbrengen van de vezels in de vorm waarin ze aan elkaar zijn vastgekleefd, zoals bekend uit het Amerikaanse octrooischrift.

- Wanneer de bovengenoemde beperkingen in acht worden genomen is vastgesteld dat voor vezels die gemaakt zijn door een dwarsdoorsnede-verminderingswerkwijze met harding door bewerking in de koude, de vervaardigingskosten en de efficiëntie in het beton het beste met elkaar in overeenstemming kunnen worden gebracht in het L/D-verhoudingsgebied van ongeveer 70 tot ongeveer 100. De volumepercentages die dan hiermee overeenkomen zijn gelegen rond resp. 1,8% en 1,1%, afhankelijk van de maatregelen die dan al dan niet genomen zijn om de mengbaarheid te verbeteren.

- De onderhavige uitvinding heeft ten doel te voorzien in een met staalvezel verstrekt beton, waarbij de buigsterkte van het beton nog meer omhoog wordt gedreven zonder dat echter het beton enige taaiheid verliest en dientengevolge een broos gedrag vertoont bij breuk.

- Volgens de uitvinding wordt nog steeds een vezel gebruikt die vervaardigd is door een dwarsdoorsnede-verminderingswerkwijze met harding door bewerking in de koude en dat een verankeringsvorm heeft zoals gedefinieerd in het bovenstaande, met een L/D-verhouding in het gebied van 60 tot en met 120, bij voorkeur van ongeveer 70 tot en met 100. De uitvinding verschaft een betonmateriaal zoals in de aanhef omschreven, gekenmerkt door het feit dat het betonmateriaal zonder vezels een druksterkte P heeft van ten minste 80 Newton per vierkante millimeter en dat de staalvezels een treksterkte T hebben die in verhouding tot de druksterkte P staat volgens de formule:
- $$T/P > 17.$$

- In dit verband wordt nog verwezen naar NL-A-7405140. Dit document beschrijft een dergelijk betonmateriaal. Hierin kan de hoeveelheid staalvezels doelmatig vergroot worden door deze in te brengen in de vorm van groepjes met een oplosbaar bindmiddel behouden vezels. Aldus wordt verstrengeling van de staalvezels vooraf voorkomen.

- Voor een beton met een druksterkte van 100 N/mm² zal de treksterkte van de vezels dientengevolge ten minste 1700 N/mm² bedragen. Indien minder loopt het beton de kans om een te broos gedrag te vertonen bij breuk. Het is echter niet nodig dat de treksterkte veel groter is dan 30% boven de minimumtreksterkte volgens de bovenstaande formule omdat de overmaat van treksterkte geen aanmerkelijke buigsterkte aan het beton zal toevoegen. Hoewel de keuze van de treksterkte boven het minimum vrij staat moet bij voorkeur een treksterkte T gekozen worden in een verhouding tot de druksterkte P volgens de formule:
- $$T/P < 22.$$

- De gewenste treksterkte T kan gemakkelijk gerealiseerd worden door het feit dat de vezels gemaakt zijn van staal met een door harding door bewerking verkregen metallografische structuur, zoals deze verkregen wordt door de dwarsdoorsnede-vermindering in de koude door walsen of draadtrekken. Hierbij kan de treksterkte vrij nauwkeurig verkregen worden door middel van de mate van vermindering.

- De druksterkte P van een betonmateriaal is de sterkte zoals gemeten door ASTM-Standaard Nr. C39-80 op een kubus van beton met 150 mm rand, waarbij de kubus tot breuk samengedrukt wordt tussen twee evenwijdige oppervlakken. De druksterkte is dan gelijk aan de drukkracht bij breuk, gedeeld door het

oppervlak van één vlak van de kubus. Deze druksterkte blijkt een factor te zijn voor verdere verhoogde efficiëntie van de vezel met betrekking tot de buigsterkte. In gebruikelijk beton bedraagt een dergelijke druksterkte P tot nu toe gewoonlijk ongeveer 30 tot 50 N/mm², terwijl in de uitvinding waarden genoteerd worden boven 80 N/mm². Het is echter noodzaak samen met het verhogen van de druksterkte van het

5 betonmateriaal de treksterkte T van de vezels te verhogen om broos gedrag van het beton te vermijden.

Een beton met een druksterkte boven 80 N/mm² kan verkregen worden door bekende middelen die in combinatie gebruikt worden: enerzijds door, naast de gebruikelijke inerte vulmiddelen zoals zand, grind en gemalen kalksteen, een aanvullende hoeveelheid van 5 tot 10% van het cementgewicht in de vorm van zeer

10 fijn vulmateriaal, zoals micropozzolaan-aarde en rookkwarts, met toevoeging van een voldoende hoeveelheid van super-weekmaker om de toename in waterbehoefte die veroorzaakt wordt door het fijne vulmateriaal te neutraliseren en anderzijds door een water-tot-beton-verhouding die lager gehouden wordt dan 0,4, bij voorkeur tussen 0,30 en 0,35. Het zogenaamde rookkwarts is een ultrafijn materiaal in het gebied van meer dan 5000 m² specifiek oppervlak per kilogram, dat neerslaat in de rookfilters van de elektrische ovens voor de vervaardiging van silicium en dat in hoofdzaak bestaat uit amorf SiO₂.

15 De bekende superweekmakers zijn waterverminderende toevoegsels zoals koolhydraten of alkali- of aardalkalimetaalzouten van lignosulfonzuren of een hydroxycarbonzuren.

Om de dikte D van vezels met niet ronde doorsnede te bepalen wordt de diameter genomen van de cirkel met het oppervlak van die doorsnede. Wanneer deze doorsnede niet hetzelfde is over de lengte van de vezel, wordt het gemiddelde oppervlak genomen over de lengte.

20 De uitvinding zal hier verder uitgelegd worden met verwijzing naar een voorbeeld, naar vergelijkende proeven die hiermee uitgevoerd zijn en met verwijzing naar drie figuren, waarin:

figuur 1 de vorm van een staalvezel, zoals gebruikt in de vergelijkende proef die verderop beschreven is, weergeeft;

25 figuur 2 een grafiek toont van buigsterkte tegen doorbuiging voor een betonbalk met beton volgens voorbeeld 2 verderop, met onvoldoende treksterkte van de vezels en waar een broos gedrag waargenomen kan worden;

figuur 3 een grafiek toont van buigsterkte tegen doorbuiging voor een betonbalk met beton volgens voorbeeld 3 verderop, waar aan de omstandigheden volgens de uitvinding voldaan is.

30

Betonsamenstelling:

Voorbeeld 1 (referentie)			Voorbeelden 2 en 3	
	Cement HK40:	375 kg	Cement P40:	400 kg
35	Zand 0/2:	300 kg	Zand 0/5:	640 kg
	0/5:	480 kg	Grind 4/7:	585 kg
	Grind 4/14:	1000 kg	7/14:	585 kg
	4/28:	200 kg	Micropozzolaan-aarde SF:	40 kg
			Weekmaker Pozzolith 400N:	2,5%
40	Water:	180 kg	Water:	132 kg
	Vezels:	40 kg	Vezels:	40 kg
	Druksterkte (N/mm ²) met vezels:	49,6	Druksterkte (N/mm ²) met vezels voorbeeld 2:	97,4
	Zonder vezels:	± 49,6	voorbeeld 3:	101,8
45	T/P:	± 23,7	zonder vezels:	99,9
			T/P Voorbeeld 2:	11,8
			Voorbeeld 3:	21,6

Vezels:

50 Vorm: volgens figuur 1: in hoofdzaak recht met ingebogen uiteinden: een eerste hoek van ongeveer 45°, gevolgd op ongeveer 3 mm afstand door eenzelfde hoek in de andere richting, gevolgd door ongeveer 3 mm in dezelfde richting als het centrale deel tot het uiteinde;

Doorsnede: rond, met een diameter D van 0,8 mm;

Lengte: 60 mm (L/D-verhouding = 75);

55 Treksterkte: voorbeelden 1 en 2: 1175 N/mm²
voorbeeld 3: 2162 N/mm².

Verkregen buigsterkte (na 28 dagen), in N/mm^2 :

(buigbelasting op een balk onder twee gelijke belastingen, elk op éénderde deel van de overspanningslengte aan elke kant van de balk)

Voorbeeld 1: 4,2

5 Voorbeeld 2: 7,5. Broos gedrag bij breuk (figuur 2)

Voorbeeld 3: 8,95. Broos gedrag vermeden (figuur 3).

Het is duidelijk dat de uitvinding niet beperkt is tot het soort vervorming in haakvorm aan de uiteinden zoals hier getoond, maar dat de uitvinding toepasbaar is met alle soorten vervormingen, alleen of in combinatie met elkaar, en met alle soorten opruwingen op het oppervlak, zoals bovenstaand is beschreven.

10 Het beton volgens de uitvinding kan toegepast worden in alle soorten bouwelementen waar een hoge buigsterkte vereist is, samen met een zeer grote hardheid van het beton, en meer in het bijzonder in betonbalken voor hoge gebouwen, in wegoppervlakken van bruggen en in tussenplafonds.

15 Conclusies

1. Betonmateriaal, versterkt met staalvezels met een onder harding door bewerking verkregen metallografische structuur en met een lengte tot dikte verhouding tussen 60 en 120, en met een verankervorm, gekenmerkt door het feit dat het betonmateriaal zonder vezels een druksterkte P heeft van ten minste 80

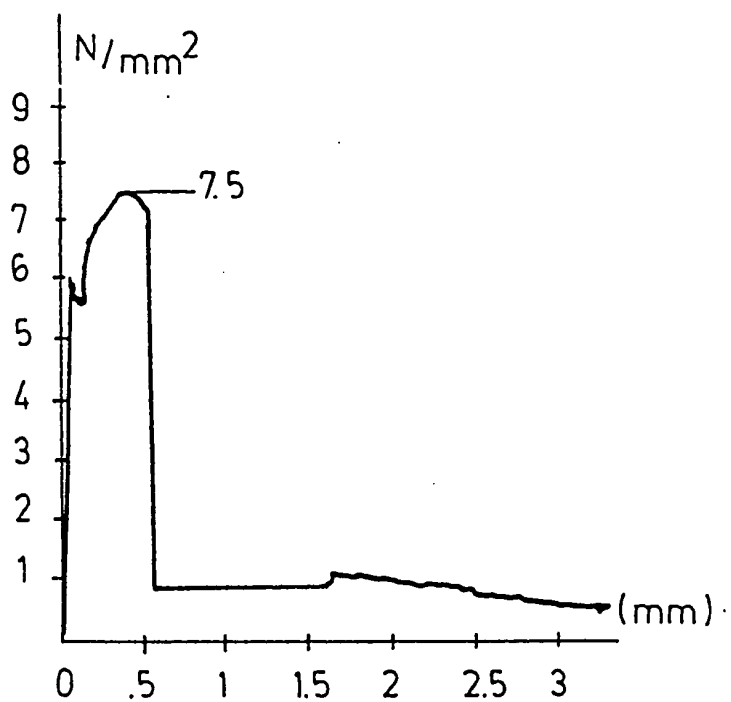
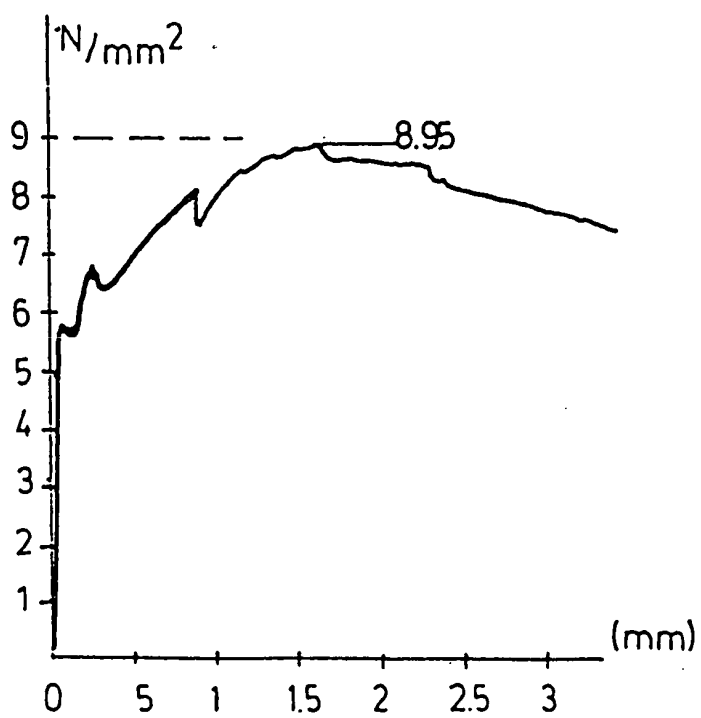
20 Newton per vierkante millimeter en dat de staalvezels een treksterkte T hebben die in verhouding tot de druksterkte P staat volgens de formule:

$$T/P > 17.$$

2. Betonmateriaal volgens conclusie 1, gekenmerkt door het feit dat de treksterkte T in verhouding staat tot de druksterkte P volgens de formule:

25 $T/P < 22.$

Hierbij 1 blad tekening

FIG.1FIG. 2FIG.3