

- Instituto Técnico de la Construcción y del Cemento -

680-30 COMPORTAMIENTO DE LAS FIBRAS MINERALES SINTÉTICAS EN EL HORMIGÓN

(Das Verhalten von synthetischen Mineralfasern im Beton)

P.P. Budnikow, K.E. Gorjajnow

De: "SILIKATTECHNIK", vol. 7, nº 9, septiembre 1956, pág. 357

El empleo de fibras inorgánicas sintéticas, como armadura para el hormigón o para el fibrocemento, hace surgir algunos problemas químico-mineralógicos. En este aspecto ha sido necesario investigar el efecto corrosivo de los productos de hidratación del cemento portland sobre las fibras, con el fin de encontrar la composición química apropiada para las fibras sintéticas.

Para los ensayos realizados se utilizaron diversas fibras inorgánicas sintéticas, cuya composición química queda indicada en la tabla I.

TABLA I

Composición química de las fibras minerales sintéticas empleadas

Fibra nº	Composición química							$N_k = \frac{SiO_2 + Al_2O_3}{CaO + MgO}$	$\frac{SiO_2}{Al_2O_3}$
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>		
1	43,79	12,68	5,75	1,16	29,29	6,69	-	1,58	2,50
2	41,93	11,38	1,74	8,63	33,82	1,75	-	1,50	3,68
3	44,78	10,49	2,10	-	29,42	12,62	0,7	1,32	4,35
4	44,35	13,12	4,71	0,30	27,50	9,06	0,2	1,52	3,33
5	38,65	18,00	0,94	2,60	39,0	1,89	Spur	1,38	2,15
6	6,89	46,46	-	-	47,1	-	-	1,06	0,15
7	6,68	50,65	-	-	43,11	-	-	1,33	0,13
8	42,37	13,46	13,12	1,47	29,57	9,82	-	1,40	3,14
9	39,5	13,93	0,60	3,20	38,12	5,00	-	1,23	2,80

Estas fibras se conservaron en agua durante un mes. Las probetas nº 1 ..... 5 presentaron una fina capa de hidratación, pero sin que las fibras se destruyesen. En cambio, las fibras nº 6 y 7, que en el diagrama  $\text{CaO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$  se encuentran en el campo del aluminato cálcico ( $\text{C}_{12}\text{A}_7$ ) y del monoaluminato cálcico, se descomponen en esferulitas bajo la acción del agua.

A continuación, las fibras se sometieron al análisis térmico de Zwetkoff (velocidad de calefacción, 2,3 .....  $3,3^\circ\text{C}/\text{mm}$ ). Se determinó la pérdida de peso. En el caso de las fibras 6 y 7, dicha pérdida, a  $120\text{.....}300^\circ\text{C}$ , era considerable, como consecuencia de la eliminación del agua de absorción. A  $390\text{.....}540^\circ\text{C}$  se eliminaba el agua procedente de los productos de hidratación de  $\text{C}_{12}\text{A}_7$  y  $\text{CA}$ ; y a  $600\text{.....}860^\circ\text{C}$ , el agua de hidratación del  $\text{Al}(\text{OH})_3$ , que se formó por hidratación del  $\text{C}_{12}\text{A}_7$ .

El análisis petrográfico indicó sólo un 5....10% de compuestos cristalinos en las fibras 6 y 7. Los productos de la hidrólisis y de la hidratación eran los mismos que los procedentes de la hidratación de los minerales del clinker del cemento aluminoso (a cuya composición se asemeja la de las fibras 6 y 7).

Las fibras nº 8 y 9 se conservaron, durante 28 días, en un desecador, sobre agua; tomaron un 40% de agua. Después, se determinaron las curvas de deshidratación de ambas fibras; la gran diferencia observada ponía de manifiesto la diferente intensidad del proceso de hidratación en dichas fibras. En la fibra nº 8 se hidrató el 1,89% del  $\text{SiO}_2$ , el 7,20% del  $\text{Al}_2\text{O}_3$  y el 40,8% del  $\text{CaO}$ , y en la fibra nº 9, el  $\text{SiO}_2$  no se hidrató, y del  $\text{Al}_2\text{O}_3$  y  $\text{CaO}$  sólo el 1,72% y el 5,45%, respectivamente.

Las fibras nº 1.....5 se conservaron durante 6 meses en

una solución saturada de cal. Las cantidades de  $\text{SiO}_2$  y  $\text{Al}_2\text{O}_3$  que se hidrataron fueron las siguientes:

fibra nº	1	2	3	4	5
$\text{SiO}_2$ (%)	4	1,28	2,07	-	2,93
$\text{Al}_2\text{O}_3$ (%)	1,95	1,69	1,56	1,78	1,14

Después, estas fibras se estudiaron microscópicamente. La superficie de la fibra nº 4 presentaba irregularidades planas, que quedaban cortadas a distancias de algunas micras. La fibra nº 2 quedó cubierta por formaciones cristalinas, de 4..... 6  $\mu$  de tamaño; también la fibra nº 3 presentaba estas formaciones, pero en menor número.

Mediante un estudio electroóptico se comprobó que la superficie, inicialmente plana, de algunas fibras, aparecía áspera y rugosa después de su conservación en solución saturada de cal. De este modo se comportó la fibra nº 1, mientras que la fibra nº 5 presentaba una superficie agrietada. En el microscopio electrónico no se podía determinar si la superficie había sido atacada o si se trataba únicamente de la aparición de unas nuevas formaciones. El examen comparativo con el microscopio ordinario permitió afirmar que las fibras se encuentran recubiertas por tales formaciones. Cuando estas formaciones crecen, quedan ocultas las grietas de la superficie de la fibra. Por todas estas consideraciones, podemos afirmar que las fibras nº 1.....5 son suficientemente estables frente a una solución saturada de cal.

Finalmente, con las fibras nº 1.....4 se prepararon unas probetas de mortero, utilizando cemento portland (con la relación, en peso, de 3:1). Las tortas se conservaron 6 meses en agua, determinándose, después, el grado de hidratación de las fibras. Los resultados

quedan expresados en la tabla II, donde se supone que el grado de hidratación del cemento es 40%.

TABLA II

Grado de hidratación de las fibras minerales sintéticas en mortero de cemento

Fibra nº	Cantidad de óxidos combinados								Grados de hidratación de los componentes de las fibras minerales (%)			
	CaO (g)								SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		
	en el silicato cálcico hidratado	en el aluminato cálcico hidratado	en Ca(OH) <sub>2</sub>	en CaCO <sub>3</sub>	total	cal eliminada (calculada como CaO del cemento portland)	eliminada por hidrólisis de la fibra mineral	en el silicato cálcico hidratado	en el aluminato cálcico hidratado	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO
1	2,99	1,07	8,10	4,59	16,75	10	6,75	3,19	0,97	8,67	9,10	27,7
2	0,12	0,63	1,87	4,08	6,7	6,7	-	0,13	0,57	0,39	6,28	-
3	3,90	0,98	4,68	12,10	21,66	10	11,66	4,15	0,79	10,10	9,0	47,2
4	0,12	1,69	10,60	6,12	10,53	10	8,53	0,10	1,54	0,327	13,0	34,5
arena	2,12	-	4,68	0,36	7,16	7,16	0	2,27	-	2,90	-	-
	4,12	-	1,87	7,40	13,39	13,39	0	4,40	-	5,42	-	-

Las investigaciones condujeron a la siguiente interpretación de los fenómenos de corrosión de la superficie de las fibras: los productos coloidales, formados en la hidratación del cemento, se

depositan sobre las fibras minerales y reaccionan con su superficie, cuyos puntos activos están constituidos por iones calcio. Se forman silicatos y aluminatos cálcicos hidratados, con lo cual se reduce la concentración en cal de la solución. El examen petrográfico de las tortas, preparadas con cemento portland, asbesto y las fibras nº 4 y 5, conservadas en agua durante 18 meses, no puso de manifiesto ninguna destrucción de las fibras. Preparando finas muestras pulidas, se pudo observar, en la superficie de las fibras, esferolitas de menos de  $1\mu$  de longitud, que se ponían de manifiesto por su fuerte refrin gencia; el análisis roentgenográfico permitió identificarlas como - cristales de  $\text{CaCO}_3$ . También las tortas de fibrocemento, con y sin adición de fibras sintéticas, presentaban, en el análisis roentgenográ- fico, líneas para  $\text{CaCO}_3$ , junto a las de  $\text{Ca(OH)}_2$  y serpentina, por lo cual las preparadas con fibras sintéticas presentaban numerosas lí- neas. Tales consideraciones permiten afirmar que la adición de fibras minerales al fibrocemento acelera la cristalización de la cal.

### CONCLUSION

La acción del agua sobre las fibras minerales conduce a la formación de hidratos, idénticos a los hidratos de las escorias y clínkeres de composición cristalina semejante. Las fibras minerales sintéticas con el módulo silíceo

$$\frac{\text{SiO}_2}{\text{Al}_2\text{O}_3} \geq 3 \left( \frac{1 - \frac{\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3}{\text{CaO} + \text{MgO} + \text{P}_2\text{O}_5}}{1,4} \right) - 1$$

no forman esferolitas durante la hidratación, sino que se hidratan - únicamente en la superficie, siendo la profundidad de penetración de

- 38 -

1/4 como máximo. De acuerdo con estas consideraciones, las fibras minerales sintéticas, con un diámetro medio superior a 6  $\mu$ , pueden utilizarse como refuerzo para el hormigón.

S. F. S.

- - -