

Conclusiones finales

Final conclusions

Por ANTONIO MIRAVETE

Dr. Ingeniero Industrial. Prof. del Dpto. de Ingeniería Mecánica de la Univ. de Zaragoza

ESPAÑA

A lo largo de los siete trabajos presentados, se puede hacer una idea de lo que están dando de sí los materiales compuestos en la construcción en nuestros días, sin duda, un presente ambicioso para un futuro más que prometedor.

Los primeros tres trabajos se enmarcan en los denominados materiales compuestos con matriz de hormigón.

La dosificación del sistema acero-hormigón es esencial para obtener unas propiedades estructurales elevadas y un comportamiento en servicio de altas prestaciones. El objetivo de una correcta dosificación de hormigón reforzado con fibras metálicas (HRFA) es conseguir una mezcla que mantenga una docilidad, homogeneidad, durabilidad y resistencia adecuadas a su uso.

A continuación se estudian las variables que definen una dosificación de HRFA, así como su influencia en las propiedades del HRFA fresco y endurecido.

Se presta una especial atención al hormigón proyectado ya que es la principal aplicación de las fibras metálicas en España, seguido por la construcción de pavimentos.

El segundo trabajo analiza la interfase del sistema acero-hormigón. En un material compuesto que utiliza fibras como refuerzo, la rotura de la matriz se produce conjuntamente con la separación de la fibra de la matriz, por lo que el comportamiento mecánico de la interfase describe hasta que punto las fibras pueden trabajar como estabilizadores en el proceso de

Along these seven papers, an approximation can be made about how composites are doing in the building industry. Though a large list of material combinations is available nowadays, only the most strategic composite materials have been treated.

The first three papers are devoted to fibre reinforced concrete. AR glass reinforced concrete (GRC) is not mentioned since a specific paper was presented in this journal sometime ago.

Dose of steel reinforced concrete is analysed in the second paper. This matter is essential in such as important composite material. The aim of this study is to get concrete with optimum docility, homogeneity, durability and strength.

Very interesting studies are also shown regarding the influence of all the variables present in the process versus the quality of this composite material.

The object of this study is the regular concrete, the most used world wide in both applications: building and road pavements.

The second paper is related to the analysis of the interface in a concrete matrix composite material. The role played by the interface in the cracking process is critical for the behaviour of the composite material.

fisuración. La interfase es el medio que pone en carga a la fibra y, por ello, la resistencia mecánica de la interfase y de la fibra son dos parámetros importantes a considerar para caracterizar el comportamiento general del material compuesto. Este trabajo investiga el efecto de la variación del tipo de fibra, geometría y dimensión de las mismas y las modificaciones de la matriz y la velocidad de desplazamiento en el comportamiento de la interfase. Se ha puesto a punto una técnica experimental que permita utilizar la misma configuración del ensayo de pull-out en una prensa universal quasi-estática y en un péndulo Charpy.

Se han obtenido interesantes conclusiones:

-Si mejoramos la matriz con la incorporación de una adición mineral se consiguen aumentar las resistencias hasta un 100%.

-Al mismo tiempo se observa que combinando las dos acciones, una matriz con humo de sílice y una fibra de acero ondulada a lo largo de la generatriz se puede modificar el tipo de fallo, produciéndose la rotura de la fibra y, por lo tanto, con menor tenacidad.

-Finalmente, con el aumento de la inclinación de la fibra y la velocidad de carga también se modifican las fuerzas de adherencia.

Para cerrar la parte dedicada a los materiales compuestos de matriz inorgánica, se estudia, en el tercer trabajo, el sistema fibras acrílicas y matriz de hormigón. Este estudio está basado en trabajos realizados en el Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja. Tiene por objetivo evaluar el comportamiento de los hormigones reforzados con fibras acrílicas de poliacrilonitrilo, estudiando la influencia que tiene sobre sus propiedades físicas y mecánicas. Se obtienen unas interesantes conclusiones en lo que se refiere a su comportamiento en ambos aspectos.

El capítulo dedicado a los materiales compuestos comienza con el estudio de las estructuras parrilla. Las estructuras parrilla o denominadas, en idioma inglés, "grid structures" están siendo desarrolladas en materiales compuestos desde hace tres años aproximadamente. En la actualidad, son elementos estructurales con un gran futuro en áreas de altas tecnologías, en combinación con materiales compuestos avanzados, tales como la fibra de carbono o la aramida.

Estas estructuras parrilla están proyectándose también para la construcción, en combinación con el hormigón. En definitiva, esta parrilla aligerada reforzaría al hormigón ante esfuerzos de tracción-flexión. Por lo

The influence of type of fibre, geometry, dimensions and variations of matrix and displacement velocity on the behaviour of the interface is studied in this work.

The pull-out testing has been carried out to evaluate experimentally the study described above.

The interphase is the bridge between the fibre and the matrix, and it takes part of the mechanism that transmits the load directly to the fibres. This is why, mechanical strength of interphase and fibre are the two key parameters to characterise the mechanical behaviour of the composite material system.

Very interesting conclusions can be drawn:

-By incorporating a mineral additive to the matrix, it is possible to increase the composite material strength up to a 100%

-In the same time, combining both actions: adding silica fumes to the matrix and a wavy steel fibre along the main direction, the failure mode can be modified. The new failure mode being fibre failure.

-Finally, by increasing the fibre orientation and load rate, the adherent forces also are modified.

The third paper deals with the study of the acrylic fibre reinforced concrete. This matter is specially interesting since this kind of fibres look very promising in combination with concrete. The Instituto de las Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja in Madrid, Spain is carrying out a deep research project on this type of fibres. The aim of this paper is to analyse the behaviour of polyacrilonitrile fibre reinforced concrete. Also, the influence of this type of fibres on the behaviour of pure concrete is treated, focussing on mechanical and physical properties. From next paper to the end of this publication, organic matrix composite materials are treated.

The forth paper is devoted to composite grids. This interesting typology is to be applied in the building industry in the near future. The reason being, low cost and high efficiency of grid structures in terms of specific stiffness and strength. Nowadays, these structural elements present a great future in the field of high technologies, in combination with advanced composite materials such as carbon or aramid fibres.

Pillars, floors, walls, coverings,... are future applications of this new technology. The aim of this work is to show the high efficiency of this typology in terms of design and manufacturing. Very interesting

tanto, en elementos estructurales tales como soleras y techos resultaría de interés, sobretudo por los reducidos espesores que presenta esta configuración, al existir un elevado refuerzo con peso reducido.

Por otra parte, elementos sometidos a compresión, tales como pilares o columnas podrían, también, proyectarse mediante esta novedosa tecnología.

El quinto artículo trata de las estructuras compuestas por sandwich conformados con tejidos tridimensionales.

Las estructuras sandwich configuradas mediante tejidos tridimensionales constituyen una tipología ampliamente utilizada en multitud de sectores industriales. Obviamente, la construcción está también incluida en esa lista. Estos novedosos elementos sandwich se caracterizan por su ligereza, lo que facilita el transporte, montaje y puesta en obra, su elevada rigidez a flexión y esfuerzo cortante, su elevada resistencia a pelado, su alta rigidez ante esfuerzos de compresión o pandeo y, finalmente, su capacidad para absorber energía.

Elementos estructurales como pueden ser soleras, panelería, techos, separadores, etc., pueden proyectarse en tipologías tales como estructuras sandwich configuradas mediante tejidos tridimensionales. También, su carácter de aislante térmico, añadiéndole un núcleo apropiado, le confieren una propiedad fundamental desde el punto de vista de edificación.

El sexto trabajo trata las nuevas configuraciones textiles.

En primer lugar, las estructuras textiles configuradas por fibras entretejidas o cosidas representan un campo de indudable futuro en aquellos casos donde se requieran elementos tipo pilar, barra o columna trabajando a tracción, compresión, flexión, torsión o esfuerzo cortante.

Estas estructuras están especialmente adaptadas para trabajar ante esfuerzos de torsión o cortante, ya que al tener fibras en las tres direcciones no presentan ningún tipo de debilidad en lo que se refiere a esfuerzos "entre láminas" o interlaminares, como ocurre en el caso de laminados convencionales.

En aquellos casos, donde la absorción de energía representa un requerimiento básico, estas estructuras textiles, configuradas por fibras entretejidas o cosidas, son especialmente idóneas, sobretudo en la evaluación de la energía específica absorbida o por unidad de peso. A diferencia de los metales, la energía no se absorbe

conclusions can be drawn in terms of the great future that composite grid structures have in the building industry.

On the other hand, structural elements subjected to compression strength, such as pilars or columns could also be designed by means of this interesting technology.

The Three-Dimension Fabric Sandwich Structure is an appropriate new material generation for those large structures, where specific stiffness is the prime requirement. Next paper is devoted to this issue.

This sandwich is composed of two woven skins, which are bridged by means of piles. Thus, these communicated skins present an outstanding behaviour in terms of shear stiffness and strength, peeling strength, buckling and impact strength. These technologies are present in a large of industrial sectors. Of course, the building industry is included in this list. These structural elements are characterised by their lightness, which is a key issue in terms of transport, mounting and setting up.

There are a large number of applications of Three-Dimension Fabric Sandwich Structures in the Construction Industry. One of them, very close to us: the huge blinds of the Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja in Madrid, Spain.

The sixth work is related to new textile technologies applied in the Building Industry.

One of the key issues in the development of the Composite Material Industry is the implementation of new manufacturing techniques. Indeed, the current manufacturing processes for composite materials are very limited.

These structures are specially adapted to work under torsion or shear, due to the fact that fibres are oriented in the three directions and therefore, there are no weak directions, as it usually happens in the thickness direction, where using standard composite laminates.

In the cases, where the energy absorption is a key issue, these textile structures, built by stitched or knitted fibres, are specially recommended. This is due to the fact that in the cases above mentioned, the stitched and knitted fibres are completely destroyed when crashing. Working with composite materials, the

mediante deformación del material sino a través de la propia rotura del material. Cuanta mayor proporción de material se destruya, mejor diseñada estará la pieza.

Las tecnologías objeto de estudio son las siguientes:

- braiding
- knitting
- stitching
- waving.

Estas nuevas tecnologías se han desarrollado en el área de ingeniería textil, pero se preve un gran futuro en la construcción. Elementos de gran espesor y subestructuras de elevada rigidez y resistencia como suelos, estructuras anti-sismo, cubiertas, etc., son potenciales aplicaciones.

En el último trabajo se ha prestado especial atención a los siguientes temas:

- Estructuras de pultrusión híbridas (Vidrio E/acero/poliéster)
- Marcos continuos

A través de las propiedades del material compuesto híbrido pultrusionado, se obtienen otras, intermedias entre el clásico acero y el moderno vidrio E/poliéster. En todas aquellas aplicaciones donde se requieran costes bajos y elevadas rigideces y resistencias este nuevo sistema es altamente interesante.

El procedimiento de marco continuo permite combinar las ventajas de los perfiles unidireccionales con la continuidad que genera el enrollamiento continuo.

Podemos finalizar, subrayando que estamos en el inicio de una nueva era en la construcción, la de los materiales compuestos. Estos están llamados a representar un papel fundamental en esta era, así como lo hicieron en la aeronáutica hace tres décadas.

energy is not absorbed in terms of deformation but in terms of failure. The more structure failed, the better designed the piece is.

This work describes very promising new textile technologies, such as

- braiding
- knitting
- stitching
- waving

These new techniques have been developed in the textile engineering area, but a great future is previewed for these technologies to be applied in the Building Industry. Thick elements and high stiff and strong substructures like floors, anti seismic buildings structures, covering,... are potential applications.

In the last paper shown special treatment to specific typologies:

- Hybrid pultruded structures (E-glass/steel/polyester)
- Continuous Frames

In the first typology, a new composite material is presented. Its properties are somewhere between organic composite materials and steel. No doubt that in those applications, where fibreglass/polyester is too expensive and too flexible and steel is too heavy and not strong enough, this new material is especially appropriate.

Also, new manufacturing techniques are studied in this first paper, taking account of the limitations of pultrusion and standard filament winding.

Let us conclude that we are beginning a new era in the building industry: the era of composite materials. These materials are called to play a key role in the building industry, in the same way they already played in the aeronautics thirty years ago.