



EPS

Escola Politècnica
Superior

Projecte/Treball Fi de Carrera

Estudi: Enginyeria Tècn. Ind. Mecànica. Pla 2002

Títol: Reforç d'un element estructural mitjançant l'adhesió de làmines de compòsits reforçats amb fibres FRP

Document: RESUM

Alumne: Jesús Franganillo López

Director/Tutor: Albert Turón Travessa

Departament: Eng. Mecànica i de la Construcció Industrial

Àrea: Mecànica dels medis continus i teoria d'estructures

Convocatòria (mes/any): 09/08

RESUM

Introducció

Aquest treball final de carrera és un estudi del reforç d'un element estructural de formigó per mitjà de fibres FRP. Podem assimilar-lo a una guia pràctica per tal que un enginyer amb coneixements de construcció, pugui reforçar un membre que ha sofert danys produïts per aguantar càrregues, oscil·lacions, etcètera, per les que no havia estat dissenyat.

El projecte conté teoria del FRP per tal de conèixer el material que utilitzarem pel nostre reforç, les normatives i prenormatives que s'utilitzen per fer el disseny, i un exemple pràctic de càlcul del reforç d'una biga sotmesa a flexió i el confinament d'un pilar, que són les dues opcions més utilitzades per reforçar amb FRP.

El reforç d'estructures de formigó és el camp de la construcció on més ràpidament i amb major èxit s'estan aplicant els reforços amb FRP, degut a les propietats tant avantatjoses que presenten, entre altres, resistència a la corrosió i lleugeresa, que es tradueix en estalvi de transport i posada en obra.

A Espanya no es va començar a utilitzar fins al 1996 per reforçar varies bigues que havien estat malmeses al Pont del Dragó a Barcelona. A partir d'aquesta data va augmentar la seva utilització d'una manera notòria. En canvi, al laboratori Suïss anomenat l'EMPA ja s'estaven fent proves amb aquests a mitjans dels anys 80, però no es van realitzar assajos per veure la factibilitat fins al 1991 al pont Ibach a Lucerna (Suïssa).

Inicialment aquests tipus de reforços es realitzaven mitjançant el mètode de l'Hermite, que consistia en xapes d'acer adherides amb epoxi. Es va començar a estudiar la possibilitat de substituir aquest sistema pels desavantatges que presentava respecte als materials compostos, per tal d'eliminar la corrosió i reduir el pes, amb tots els avantatges que això comporta.

Propietats dels materials

Per tal de realitzar el reforç d'estructures de formigó s'utilitzen: *les fibres*, que normalment serveixen per reforçar bigues o pilars, es presenten en forma de laminats o fulles, i la *resina*, que constitueix la matriu polimèrica, i té la funció d'embolicar, protegir i aglutinar les fibres de l'armadura per poder garantir la correcta transferència dels esforços fibra a fibra, aconseguint que l'armadura treballi com un tot, i protegir les fibres de les agressions ambientals i desgast.

Un material compost es defineix com la unió de dos o més materials físicament diferents i separables mecànicament, on la barreja es fa de tal forma, que la dispersió d'un material en l'altre pot fer-s'hi de manera controlada per arribar a unes propietats òptimes, obtenint com a resultat un nou material amb propietats superiors, i possiblement úniques en algun aspecte específic, en comparació amb els components originals per separat.

La paraula "composites" es refereix usualment a reforços amb fibra de materials metàl·lics, polimèrics i ceràmics.

Segons l'aplicació a la que serà utilitzat el material compost, el procés de fabricació variarà. Aquest dependrà de l'orientació de les fibres, el número i tamany dels filaments i la complexitat de les fibres entre altres coses. Els camps d'aplicació més comuns pels sistemes de reforç amb FRP són: flexió, tallant i confinament.

Si parlem de les propietats dels materials per separat:

Les fibres es construeixen normalment de carboni, vidre i aramida. Podem extreure conclusions, a partir d'assajos realitzats, de quina d'elles és més efectiva segons el cas, comparant el mòdul d'elasticitat que ens delimita la resistència a tracció, la rigidesa, la resistència a compressió, etcètera, però és molt difícil extreure una conclusió de quina és més eficient, degut a que això dependrà de les condicions d'entorn.

Les propietats de les resines depenen de la seva estructura interna, i contribueixen molt poc amb la capacitat de càrrega dels materials compostos. De qualsevol forma, les resines poden tenir gran importància en la tenacitat dels materials compostos, mentre més dúctil sigui la resina, la tenacitat del laminat augmentarà. La funció de la resina és la transferir la càrrega d'una fibra a altre adjacent, pel que quan una fibra trenca, una resina dúctil contribueix millor la força a varies fibres i no només a l'adjacent. Això vol dir que el material resistirà més fibres trencades, augmentant la tenacitat del material compost.

Finalment, si triem com a producte acabat el laminat, de totes les propietats que aconseguim de la unió dels dos materials (fibra i resina), podem destacar la resistència com la més important. Sabem que per una combinació de fibres i resines donades, existeixen dos paràmetres addicionals que afecten significativament la resistència del material compost. Aquests paràmetres són el percentatge de volum de fibres i l'orientació de les fibres. Podem pensar d'una manera lògica que la resistència del material compost serà la combinació de la resistència de la fibra i la de la resina, però això no és així, ja que existeixen assajos que ho demostren, degut a diferents factors que no entrarem, ja que pot ser tema per a un projecte final de carrera degut a que és un tema molt extens.

Les resistències més importants a considerar són: resistència a tracció, compressió, flexió i tallant. A l'apartat dos de la memòria s'estudien aquests amb profunditat.

Posada en obra

Aquest aspecte és molt important, ja que no serveix de res tenir sistemes perfectament provats i amb un bon disseny, si tot falla per no haver tingut en compte la posada en obra adequada. Per la nostra aplicació ens interessa descriure el tipus de sistema de reforç de materials compostos amb sistema de laminats i sistema de teixits, ja que són les dues alternatives més utilitzades pel reforç de bigues i pilars.

◆ Sistema de laminats

Els materials utilitzats són:

- Adhesiu tixotròpic de dos components, a base de resines i càrregues especials. No conté dissolvents. El producte una vegada endurit posseeix altes resistències mecàniques, excel·lent adherència i molt bon comportament front ha atacs químics.

- Laminat a base d'un material compost de fibres amb una matriu de resina . És un producte anisòtrop* on totes les fibres van en sentit longitudinal.

◆ Sistema de teixits

S'utilitzen dos tipus de productes, els base i els complementaris, aquests estan molt relacionats amb els tipus de resines que s'utilitzin.

Productes base

- *Adhesiu de dos components a base de resina:* No conté dissolvents. El producte una vegada endurit posseeix altes resistències mecàniques, excel·lent adherència i molt bon comportament front a atacs químics.

- *Teixits a base de fibres d'alta resistència:* constitueixen l'element resistent del sistema.

Productes complementaris

- *Morter tixotròpic, a base de resines,* per regularització de superfícies, sense dissolvents.

- *Producte per injeccions de dos components, a base de resina,* molt fluid i sense dissolvents.

Els requeriments que s'han de complir són:

- El suport ha de complir una sèrie de característiques per tal d'aconseguir una bona adhesió entre el suport i material compost. Aquestes són les que s'enumeren a continuació:
 - Resistència al esquinçament major de 1,5MPa pel laminat, i 1MPa per les fibres.
 - La planitud de les superfícies ha de ser tal que les irregularitats compleixin uns valors màxims. Aquestes es regeneren amb resina epoxi.
 - La porositat superficial complirà un valor màxim de superfície de porus, profunditat i extensió.
 - Comprovació de l'alcalinitat, humitat i taques produïdes per olis, grasses, moho, vegetació etcètera, de la superfície
- S'ha de vigilar amb les condicions atmosfèriques, ja que la velocitat de polimerització està relacionada amb la temperatura d'aplicació.
- Les superfícies han d'estar ben netes per tal d'aconseguir una molt bona adhesió del material compost. Els sistemes que s'utilitzen són; *raig de sorra* (projecció de sorra de sílice amb una pressió de 7 atm, per mitjà d'un compressor amb cabal variable. *Aigua a alta pressió* (projecció d'aigua a pressió a unes 150 atm). *Raig d'aigua-sorra* (sistema combinació dels altres dos).
- Els passos a seguir per una bona posada en obra, són els següents:
 - a) Aplicació de l'adhesiu sobre el suport
 - b) Aplicació de l'adhesiu sobre el laminat
 - c) Col·locació del laminat sobre el suport
 - d) Compactació o adhesió del laminat sobre el suport

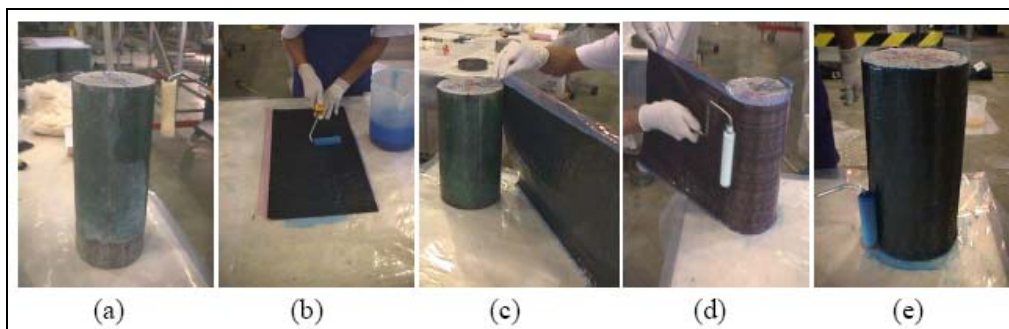


FIG 1. Procediment de col·locació del laminat

El procediment per la col·locació de fibres és molt semblant, però sense realitzar l'apartat b), i mullant més el material compost.

- S'han de realitzar controls de qualitat previ a l'execució i finalitzats els treballs, per comprovar que tot funciona correctament.

Conclusió

Al projecte s'ha adjuntat un apartat de càlcul per tal d'il·lustrar la teoria estudiada quan es reforcen elements de formigó mitjançant el sistema de FRP. Tal y com s'ha comentat anteriorment, existeixen tres normatives que l'estudien: La prenormativa Europea, normativa Americana i la normativa Canadenca.

Els exemples que s'han adjuntat representen: El reforç d'una biga existent sotmesa a flexió que a l'aplicar-li una càrrega distribuïda addicional no aguanta, per tant, es decideix realitzar un reforç amb laminat de CFRP. I un pilar que es necessita confinar per tal d'aguantar les càrregues a les que està sotmès.

Després de realitzar els càlculs amb les diferents normatives, s'han extret les següents conclusions:

Pel cas de la biga;

A la prenormativa Europea:

- El Model A és el menys conservador, però després es demostra que el valor obtingut no és correcte degut a que no es compleixen les condicions a tallant.
- El Model de Cheng i Teng és el més conservador perquè no considera la distància mitja entre fisures, implicant que L_e sigui L_{anch} a l'expressió del càlcul de la longitud de FRP ($L_{FRP} = L - 2a_{cr} + 2L_e$).
- Pel càlcul de l'àrea de FRP, la normativa Canadenca és la més conservadora. Aquest resultat és obtingut degut a la diferència que existeix amb respecte a les altres normatives a l'aplicar la distància de la resultant a compressió.
- Com s'ha comentat a la teoria inicial, abans de fer el càlcul per mitjà de la normativa Americana, la longitud de FRP per la normativa Americana i Canadenca es pren al llarg de tota la biga. Però en el cas de la normativa Americana, com $V_u > 0,67V_c$, implica que es necessitin reforços col·locats transversalment al laminat horitzontal.

Pel cas del pilar;

Es pot extreure la conclusió que la normativa Americana és menys conservadora que la Canadenca a l'hora de confinar el pilar, ja que el numero de laminats que es requereixen és menor. Això pot ser degut a que amb la normativa Americana només es realitza un càlcul axial, mentre que l'altre el fa a axial i tallant.

A partir del moment que es tenen tots els resultats extrets per les diferents normatives, el reforç de l'element es realitzarà segons el criteri del projectista autor dels càlculs.