

Treball final de grau

Estudi: Grau en Enginyeria Mecànica

Títol: **Reutilització de materials compòsits d'altres sectors pel reforç de bigues de formigó**

Document: Resum

Alumne: Queralt Beringues Serra

Tutor: Cristina Barris Peña
Cotutor: Norbert Blanco Villaverde
Departament: Enginyeria mecànica i de la construcció industrial
Àrea: MMCTE-EC / EM

Convocatòria (mes/any): Setembre 2023

1 Introducció

1.1 Antecedents

Els materials compostos han existit durant segles, però els requisits exigents de les indústries del sector aeroespacial i de defensa, en cerca de materials resistents i poc densos, van desencadenar una acceleració en l'avenç de la recerca de noves tecnologies i materials. Un material compost és aquell que combina dos o més components o fases que tenen propietats físiques o químiques diferents.

En els últims anys, en el sector de la construcció, els materials compòsits de matriu polimèrica o FRP (de l'anglès Fiber Reinforced Polymers) han resultat materials molt adequats per reforçar estructures de formigó armat. Per altra banda, en el sector aeronàutic es preveu que en les pròximes dues dècades es retiraran al voltant de 12000 avions amb un alt percentatge de FRP amb fibra de carboni o CFRP (de l'anglès Carbon Fiber Reinforced Polymer). Conseqüentment, el sector es veurà obligat a considerar mètodes de disposició de FRP que resultin del desmantellament d'avions retirats. Aquest és un dels molts exemples en què s'han de considerar nous mètodes de disposició per a materials que han arribat al final de la seva vida útil per un sector en concret.

Veient que un material, amb unes propietats probablement excel·lents, ja que prové d'un sector que en general produeix materials d'alta qualitat, està actualment sent enterrat i inutilitzat mentre que en un altre sector, com és el de la construcció, utilitza un material molt semblant, el grup de recerca d'AMADE de la UdG va proposar un projecte per a reutilitzar aquest FRP provinent del sector aeronàutic com a reforç en estructures de formigó per a la construcció.

Un laminat reutilitzat difereix de la resta de laminats manufacturats principalment per la seva varietat de formes, així com per la incertesa de les seves propietats mecàniques i geometria. Quan es fabriquen laminats expressament pensats per tal de reforçar formigó, tenen les mides i les propietats que es necessiten en cada cas. En el cas de reusar-los s'ha d'ajustar l'aplicació a les mides i característiques que ja existeixen.

1.2 Objecte

L'objectiu d'aquest treball de final de grau és caracteritzar un material compost reutilitzat desconegut i buscar-ne les millors aplicacions com a reforç d'estructures de formigó en el sector de la construcció. El procediment del treball es desenvoluparà de manera que es faciliti la reutilització d'un futur laminat procedent d'un sector diferent del de la construcció, com és el cas del material del projecte d'AMADE del sector aeronàutic.

1.3 Especificacions i abast

A través d'aquest treball es pretenen aconseguir els paràmetres òptims per tal de reciclar un material compost desconegut que ja no té utilitat en el sector del qual prové, per reforçar bigues de formigó. Així mateix, es pretenen obtenir les pautes, tan automatitzades com sigui possible, per fer el mateix amb un futur material procedent d'un sector diferent del de la construcció (com podria ser el sector automobilístic o la construcció naval).

2 Implicació del treball en l'actualitat ambiental

A mesura que va creixent la consciència sobre la necessitat de preservar el medi ambient i promoure un desenvolupament sostenible, han aparegut els 17 Objectius de Desenvolupament Sostenible (ODS) i l'Agenda 2030. Aquests objectius abasten dimensions socials, econòmiques i ambientals d'interès global.

Aquest treball té com a principal objectiu abordar l'Objectiu de Desenvolupament Sostenible número 12. L'ODS 12 (Garantitzar modalitats de consum i producció sostenibles.) que busca promoure la gestió sostenible i l'ús eficient dels recursos naturals, reduir la generació de residus i el desaprofitament d'aliments, així com fomentar la gestió ecològica racional dels productes químics. Com s'ha explicat a la introducció d'aquest treball actualment les restes de FRP que arriben al fi de la seva vida són dipositades, amb aquest treball es proposa poder utilitzar aquests materials que es disposen, allargant-los la vida i així convertint els FRP en materials d'almenys més d'un sol ús i donant-los una funcionalitat. Aquest enfocament s'ajusta als principis de l'economia circular, on els materials es reutilitzen, reduint així l'impacte sobre els recursos naturals i minimitzant la generació de residus. D'una manera més subtil, aquest treball també encoratja a les empreses (en especial les grans, en aquest cas les aeronàutiques) a adoptar pràctiques sostenibles. Igualment, redueix la fabricació de nous materials FRP per la construcció.

3 Caracterització del material compòsit

La caracterització d'un material és un procés en el qual es determinen les seves propietats físiques i mecàniques. Es poden fer nombrosos assajos, mecànics, electrònics, químics i tèrmics depenent de la finalitat i les propietats que es necessitin estudiar. El material que s'ha fet servir en aquest estudi es tracta d'un material que prové d'una aplicació aeronàutica no coneguda. No es coneix quina era la seva funció ni quines poden ser les seves propietats. Només se sap que es tracta d'un material compost. Observant-lo es pot veure que sembla ser un laminat amb capes a diferents direccions.

A fi d'entendre la composició del material, s'han examinat amb el microscopi òptic dos fragments dels dos laminats del material compost de gruixos totals diferents (4 mm i 8 mm) per, en primer lloc, confirmar que es tracta d'un laminat, i a més a més, a determinar l'orientació de les fibres a cada capa del laminat, determinar el gruix de cada una de les capes i el nombre de capes totals del laminat. Posterior a l'anàlisi microscòpic, s'ha generat un codi Python que, a través de l'anàlisi i segmentació d'imatge, determina la inclinació i mida de cada una de les capes del laminat.

Per altra banda, s'ha fet un assaig a tracció que permet aclarir les característiques mecàniques més bàsiques. L'assaig a tracció permet obtenir el mòdul elàstic del material en la direcció en què s'assaja així com el seu límit elàstic de tensió i deformació i la seva resistència. Els resultats de l'anàlisi d'imatges microscòpiques juntament amb els de l'assaig a tracció i mitjançant la teoria de laminats permeten obtenir les propietats del material i, a partir d'aquí, predir les propietats elàstiques de la resta de laminats amb un diferent nombre de capes.

4 Estudi paramètric

L'anàlisi estructural és un procés que implica l'avaluació del comportament d'una estructura. En aquest cas, se n'ha elaborat un per calcular la capacitat a flexió d'una biga de formigó armat reforçada amb un material compost.

Els resultats obtinguts arran de l'assaig de tracció del material emprat en aquest treball mostren valors més baixos que els del mòdul elàstic dels CFRP comercials per a enginyeria civil (com ara de S&P o SIKA). Això mateix passa amb els valors referents a la resistència a tracció. Aquestes dues diferències han fet que s'hagi de plantejar quina importància té la secció del reforç per tal de compensar-les i així obtenir rigideses o càrregues últimes similars. També s'ha volgut comprovar si en el cas de tenir reforços de rigideses i seccions baixes, poden servir per reforçar algun tipus de biga amb unes propietats concretes (ja sigui amb un tipus de formigó de menys prestacions o de secció més petita que l'habitual).

Amb la finalitat de determinar quines serien les condicions ideals per un material compost reutilitzat qualsevol, és a dir, en quina biga l'aplicació del material que s'intenta reutilitzar serà més eficaç, s'ha dut a terme un estudi paramètric de l'anàlisi estructural i permetre entendre la importància dels paràmetres d'un laminat concret.

5 Aplicació de l'estudi als materials caracteritzats

Agafant uns valors més exactes extrets de la caracterització dels dos laminats del laboratori i les mides que es poden assajar al laboratori amb el material disponible actualment s'ha fet una predicció de la càrrega que aguantaria el conjunt de la biga i la millora que cada laminat suposaria pel comportament de la biga.

S'ha observat una millora de la càrrega del 64.2% amb el laminat de 4 mm i una millora del 84.6% amb el de 8 mm. També s'ha pogut observar que la biga perd força ductilitat fins al punt que l'acer no ha arribat al seu límit de fluència. La fragilitat fa les bigues més susceptibles a terratrèmols o càrregues brusques. És per això que es pot predir que per evitar un increment considerable de la fragilitat del conjunt, una millor aplicació per aquests laminats seria en bigues d'edificació de dimensions petites, per exemple la de 200×350 mm. Amb aquestes bigues podem estipular que s'aconseguiria un increment de la càrrega màxima d'aproximadament 20 i 35% sense perdre més del 10% de fletxa màxima i, per tant, sense tornar-se excessivament fràgil.

Finalment, s'ha comprovat analíticament que les eines generades en aquest treball permeten predir amb èxit les millores que l'aplicació del material compòsit pot suposar en una biga de formigó.

6 Conclusions

Avui en dia, amb la quantitat de recursos desaprofitats en una gran nombre de sectors cal prendre consideració i emprendre mesures respecte a la seva reutilització. En finalitzar aquest treball, es pot afirmar que és totalment viable la reutilització d'aquest recurs, des d'un punt de vista teòric.

S'ha generat amb èxit un codi Python que analitza les imatges microscòpiques i n'obté l'angle i dimensions de les fibres. Posteriorment s'ha generat un codi que mitjançant la teoria de laminats permet relacionar les propietats i característiques d'un laminat amb les de les seves capes. Per altra banda, s'ha fet un estudi paramètric per tal de determinar la importància de les propietats del reforç així com tenir-lo de guia en el cas de proposar un possible material nou. Finalment, s'han pogut determinar les millors condicions pel laminat que s'intentava reutilitzar en aquest treball. S'ha vist que és totalment viable donar-li aquest segon ús i que milloraria l'ús de bigues amb mides de laboratori en un 80% i bigues per a l'edificació en aproximadament un 30%.

En resum, aquest treball proporciona informació valuosa per al disseny i l'aplicació de FRP reciclats en diferents tipus de bigues. S'han identificat les condicions òptimes per a l'aplicació d'aquests materials i s'han analitzat els seus efectes sobre les propietats estructurals. Aquestes conclusions poden ser útils tant per a futures investigacions i desenvolupaments en el camp de les estructures reforçades com en el camp del

reciclatge i reutilització de FRP.