

1. INTRODUCCIÓ

El grup de recerca AMADE de la Universitat de Girona està especialitzat en la caracterització de materials compòsits. Per avaluar la resistència i la tolerància al dany d'aquestes estructures, típicament es realitzen dos assajos: impacte a baixa velocitat i compressió després d'impacte (CAI per les sigles en anglès de *Compression After Impact*), respectivament. L'objectiu de l'assaig CAI és obtenir la resistència residual a compressió de l'estructura.

El laboratori d'AMADE disposa d'un utillatge per realitzar assajos del tipus CAI. Habitualment s'assagen provetes de material compòsit de dimensions 150 mm x 100 mm amb un gruix d'entre 4 i 6 mm. Aquestes dimensions corresponen a l'estàndard d'utilització a la indústria aeronàutica.

La tendència actual de la indústria és la d'utilitzar laminats cada vegada més prims, per sota de 2 mm en alguns casos. La principal dificultat lligada a aquest assaig és la forta dependència amb el gruix de l'estructura, ja que si és molt petit pot afavorir l'aparició de vinclament abans de la falla a compressió. Per tant, l'adequat disseny de l'utillatge és d'especial importància i és necessari poder proporcionar un utillatge capaç de realitzar assajos de compressió després d'impacte amb laminats prims.

L'objectiu d'aquest treball és el de crear una adaptació per l'utillatge capaç d'assajar plaques amb baix gruix.

La modelització amb el mètode dels elements finits serveix per avaluar quantitativament el valor de les càrregues crítiques de vinclament per diferents gruixos de placa.

Les plaques d'assaig són plaques de material compòsit amb làmines unidireccionals amb apilament simètric i balancejat

2. ADAPTACIÓ DE L'UTILLATGE

La solució proposada es basa en la patent WO 2013/117779 presentada per M. Remacha i M. de Castro del Departament d'Enginyeria de Fidmac. Per proporcionar estabilitat a la proveta s'incorpora un grup d'elements protuberants simètrics entre si sobre els que es recolzarà la proveta. Aquests elements protuberants són nervis verticals distribuïts al llarg d'unes plaques metàl·liques. Aquesta posició dels nervis està pensada per no interferir amb la zona danyada, situada al centre de la proveta i permetre la col·locació de galgues extensomètriques entre els nervis. Aquests nervis són del tipus fulla de ganivet per minimitzar el fregament.

Es pretén adaptar l'utillatge conservant el major nombre possible de peces de l'utillatge original i afegint el menor nombre possible de peces noves, de manera que siguin fàcilment intercanviables.

Per adaptar l'utillatge al nou disseny es substitueixen les peces 7 i 9 (veure plànols) per unes plaques que incorporin els nervis estabilitzadors (1 i 3), amb els seus respectius suports (2, 3, 5 i 6). El muntatge es pot veure a les Figures 1 i 2.

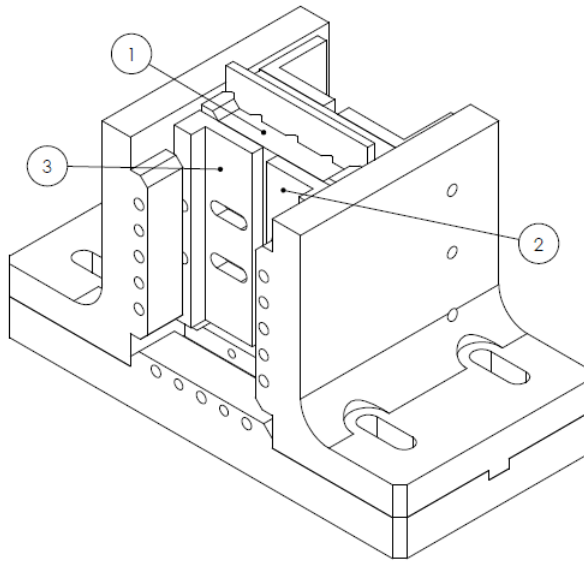


Figura 1: Muntatge del nou utillatge, vista isomètrica.

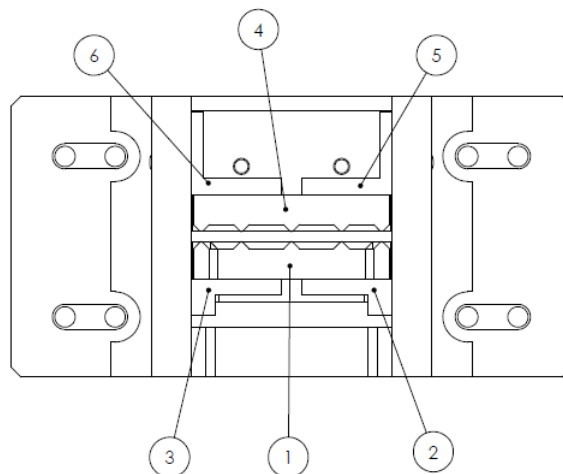


Figura 2: Muntatge del nou utillatge, vista en planta

3. ANÀLISI AMB ELEMENTS FINITS

La modelització amb elements finits té com a objectiu el de calcular la càrrega crítica de la placa a assajar i avaluar si apareix la falla del material per aquesta càrrega. S'han calculat les càrregues crítiques per els dos sistemes de fixació, el corresponent a l'utilitatge original i a l'adaptació. S'han calculat també per diferents gruixos de placa. Així es pot determinar per quins gruixos és vàlid l'utilitatge original i apareix la falla abans la falla per compressió que la falla per vinclament i per quins gruixos és necessari utilitzar el nou utilitatge. El programa utilitzat per realitzar el model és l'Abaqus CAE 6.12.

Per poder fer un anàlisi complet de vinclament i determinar la càrrega crítica és necessari seguir un procediment determinat. Una vegada determinades les condicions de contorn i definit el material caldrà primer fer un anàlisi lineal de valors propis i seguidament un anàlisi que contempli les no linealitats geomètriques.

De l'anàlisi lineal de valors propis obtenim l'estimació del factor de càrrega crítica i els modes de vinclament. El factor de càrrega crítica es un valor que ens indica la proporcionalitat entre la càrrega aplicada i la càrrega crítica de vinclament. El mode de vinclament és la forma que agafa la superfície de la placa una vegada ha aparegut el vinclament, aquest modes venen definits pel nombre de ones en que doblega la placa verticalment i horitzontalment.

Per realitzar l'anàlisi s'han definit dues condicions de contorn diferents, una per la fixació de l'utilitatge original i una altra per l'adaptació. La simulació s'ha repetit per diferents gruixos de placa. A totes les simulacions s'ha aplicat un desplaçament de 1 mm. Per tant els factors λ_1 per l'utilitatge original i λ_2 pel nou utilitatge ens indiquen quina proporció d'aquest 1 mm s'ha de desplaçar perquè aparegui vinclament.

Amb els factors de càrrega crítica obtinguts es pot observar un augment significatiu entre la càrrega crítica de l'utilitatge original i el nou utilitatge que ens indica que es pot aplicar més força abans de que aparegui el vinclament a la placa.

El mode de vinclament obtingut amb les condicions de l'utilitatge original es correspon a una superfície amb mitja ona horitzontal i mitja ona vertical. La Figura 3 ens mostra el mode de vinclament del nou utilitatge, on podem veure que el vinclament es troba molt localitzat al centre i que per tant no hi ha un col·lapse de l'estructura.

A l'anàlisi no lineal es consideren les no linealitats geomètriques provocades per la deformació de la placa i ens permet també avaluar la força de reacció que provoca la placa. Aquesta força de reacció és la que està aplicant la màquina d'assaig i al valor que apareix vinclament és la càrrega crítica. Aquest anàlisi també s'ha realitzat pels dos tipus de fixació i per diferents gruixos de placa.

Per induir a la placa a vinclar en mode de vinclament obtingut a l'anàlisi de valors propis s'introdueix una imperfecció a la geometria. En aquest cas d'imperfecció s'introdueix en forma de càrrega morta aplicada al centre de la placa en la direcció fora del pla.

Per detectar quan s'inicia el vinclament es monitoritza el desplaçament del centre de la placa. Quan un petit augment de la càrrega implica un gran desplaçament del centre vol dir que la placa ha començat a vinclar. Les càrregues crítiques obtingudes s'han dibuixat en una gràfica (Figura 4) en funció del gruix de la placa. La corba vermella correspon a les condicions de l'utilitatge original i la corba blava correspon a les condicions del nou utilitatge.

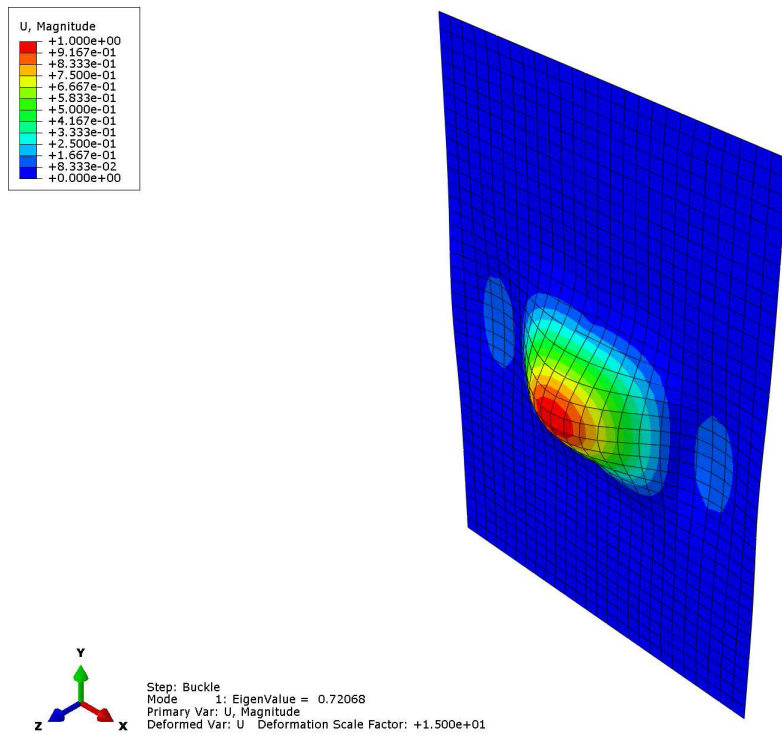


Figura 3: Mode de vinclament amb el nou utilatge

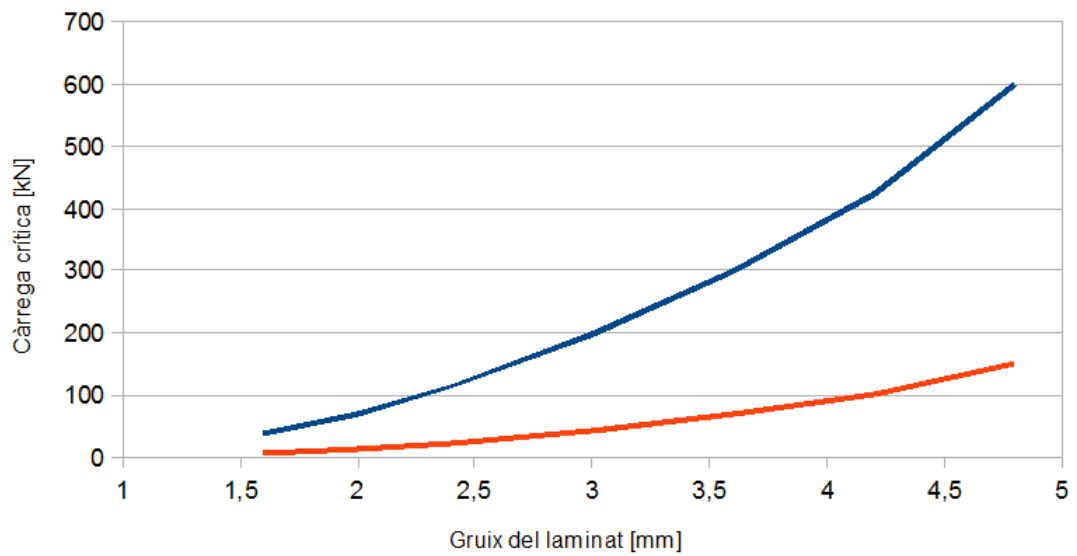


Figura 4: Càrrega crítica en funció del guix del laminat

4.EFECTE DEL DANY

L'assaig CAI s'efectua sobre plaques que han estat prèviament danyades mitjançant l'assaig d'impacte. El dany de les plaques típicament provoca una delaminació. Les delaminacions de la placa poden influir en la càrrega crítica de vinclament. És per això que es crea un nou model on s'indueixen una delaminació i s'estudia com aquestes afecten a la càrrega crítica. El que es pretén es avaluar l'efecte del defecte.

Per modelitzar aquest cas s'han utilitzat elements cohesius, introduïts al model amb una subrutina externa al programa. Aquests elements cohesius són una eina que permeten captar l'inici i la propagació del dany.

El que s'ha observat és que les delaminacions tenen un efecte negatiu sobre la càrrega crítica de vinclament. Per poder quantificar aquest efecte és necessari desenvolupar un model més complex que contempli les delaminacions en totes les capes del laminat o be importar un model on s'ha realitzat una simulació d'impacte.