CSMA 2011
10e Colloque National en Calcul des Structures
9-13 Mai 2011, Presqu'île de Giens (Var)

Vers une stratégie multiéchelle pour l'analyse du couplage flambage-délaminage des composites stratifiés

K. Saavedra, P. Gosselet, O. Allix

LMT-Cachan, ENS Cachan/UPMC/CNRS/PRES UniverSud Paris, France, {saavedra,gosselet,allix}@lmt.ens-cachan.fr

Résumé

Cette étude est dédiée au calcul parallèle des phénomènes de délaminage et flambage de structures composites stratifiées. Elle vise à proposer une méthode multiéchelle garantissant l'extensibilité des simulations. Les difficultés inhérentes au problème sont tout d'abord discutées et étudiées séparément, élancement des plis délaminés, possibilité de contact sur de grandes zones, finesse de la *process zone*, instabilités géométriques avec très grand changement de rigidité.

Le délaminage est ici modélisé comme une dégradation de l'interface sous l'effet de contraintes hors plan (effets de bords, impacts, macro-défauts). La propagation du délaminage peut-être stable ou instable et dans la phase de propagation, les surfaces délaminées peuvent, suivant les conditions de chargement, atteindre une taille critique et le flambage des plis survenir. De plus, l'apparition du flambage augmente les contraintes interlaminaires. L'interaction flambage-délaminage peut ainsi devenir rapidement catastrophique. Les premiers travaux analytiques dans ce domaine remontent aux années 70-80, [1],[2], [3], [4]. Les premiers travaux numériques [5] utilisaient la mécanique de la rupture inopérante pour l'analyse de la création de fissure. L'utilisation de modèles cohésifs en non-linéaire géométrique date des années 90 [6], [7]. Ces dernières années ont vu l'émergence des méthodes multiéchelle dédiées à la fois au flambage [8], [9] et au délaminage [10], en vue d'être à même de traiter des problèmes de grandes tailles aux échelles pertinentes. Ce travail est dédié à l'extension de ces méthodes pour traiter l'interaction entre flambage et délaminages multiples sur des longueurs très importantes par rapport à l'épaisseur des plis, avec la possibilité de refermeture de fissures. Il s'inscrit dans le cadre du projet Européen MAAXIMUS.

En effet, à cause de la forte différence entre l'échelle des zones délaminées et l'échelle d'un pli élémentaire (environ un dixième de millimètres), le problème du mésomodèle 3D discretisé atteint rapidement une taille considérable. L'emploi de méthodes de décomposition de domaine semble alors indispensable pour la réalisation de simulations parallèles extensibles. Dans cette étude nous avons travaillé sur une extension aux grandes transformations de la stratégie itérative de décomposition de domaine mixte LaTIn à deux échelles décrite dans [11], déjà employée pour l'étude du délaminage [10].

La méthode LaTIn divise la structure en sous-structures liées par des interfaces surfaciques, toutes les deux étant des entités mécaniques avec leur propre groupe d'équations et reliées par deux opérateurs de direction de recherche qui paramètrent la méthode. Par conséquent, le problème de référence issu du mésomodèle est naturellement sous-structuré et les interfaces du modèle sont aussi des interfaces de la décomposition de domaine. L'extensibilité numérique est recherchée par la résolution d'un problème homogénéisé sur quelques degrés de liberté d'interface qui garantit l'équilibre d'efforts macroscopiques sur la structure entière. La question de la définition de ce problème homogénéisé est cruciale pour les performances de la méthode.

Pour pouvoir appliquer cette stratégie à l'analyse de l'interaction flambage-délaminage, outre les difficultés liées au délaminage traitées dans [10], il faut tout d'abord s'affranchir d'un certain nombre de difficultés spécifiques liées à la nature du problème :

1. Le traitement de structures très élancées.
2. Le contact sur des grandes surfaces (interfaces complètement fissurées).

3. Les non-linéarités géométriques de type flambage.

Dans notre étude l'influence de l'élancement des sous-structures sur le taux de convergence est mise en évidence (point 1). Des valeurs de direction de recherche anisotropes sont proposées pour le cas monoéchelle (sans le problème macroscopique) et multiéchelle. Pour traiter efficacement les problèmes de contact (point 2) nous proposons un algorithme de réactualisation des directions de recherche selon l'état de l'interface (ouverture ou fermeture).

Pour introduire les grandes transformations dans la méthode (point 3), une formulation Lagrangienne totale a été choisie, impliquant un nouveau type de non-linéarités au niveau des sous-structures avec une influence globale (le délaminage étant une non-linéarité traitée au niveau local des interfaces). Nous avons montré que la vérification de la continuité de déplacements macroscopiques ainsi que l'actualisation du problème homogénéisé sont nécessaires pour la convergence de la méthode.

Nous présenterons ces différentes améliorations. Les premiers résultats couplant l'ensemble de ces phénomènes sont espérés pour le colloque.

Remerciements : Ces recherches sont financées par le septième programme-cadre de la Communauté Européen FP7/2007-2013, contrat n°213371.

Références

[1] L. M. Kachanov. Separation failure of composite materials. *Polymer Mechanics*, 12 :812–815, 1976.

[2] H. Chai, C. D. Babcock, and W. G. Knauss. One dimensional modeling of failure in laminated plates by delamination buckling. *International Journal of Solids and Structures*, 17(11) :1069–1083, 1981.

[3] W. J. Bottega and A. Maewal. Delamination buckling and growth in laminates. *Journal of Applied Mechanics - Transactions of The ASME*, 50(1) :184–189, 1983.

[4] A. G. Evans and J. W. Hutchinson. On the mechanics of delamination and spalling in compressed films. *International Journal of Solids and Structures*, 20(5) :455–466, 1984.

[5] B. Storakers and B. Andersson. Nonlinear plate theory applied to delamination in composites. *Journal of the Mechanics and Physics of Solids*, 36(6) :689–718, 1988.

[6] D. Bruno and A. Grimaldi. Delamination failure of layered composite plates loaded in compression. *International Journal of Solids and Structures*, 26(3) :313–330, 1990.

[7] O. Allix and A. Corigliano. Geometrical and interfacial non-linearities in the analysis of delamination in composites. *International Journal of Solids and Structures*, 36(15) :2189–2216, 1999.

[8] P. Cresta, O. Allix, C. Rey, and S. Guinard. Nonlinear localization strategies for domain decomposition methods : Application to post-buckling analyses. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 196 :1436–1446, 2007.

[9] S. Nezamabadi, H. Zahrouni, J. Yvonnet, and M. Potier-Ferry. A multiscale finite element approach for buckling analysis of elastoplastic long fiber composites. *International Journal for Multiscale Computational Engineering*, 8(3) :287–301, 2010.

[10] P. Kerfriden, O. Allix, and P. Gosselet. A three-scale domain decomposition method for the 3D analysis of debonding in laminates. *Computational Mechanics*, 44(3) :343–362, 08 2009.

[11] A. Nouy and P. Ladevèze. On a multiscale computational strategy with time and space homogenization for structural mechanics. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 192 :3061–3087, 2004.