



**HAL**  
open science

# Optimization of Anticlastic Core Structures for Lightweight Sandwich Panels

Fabien Ebnöther

► **To cite this version:**

Fabien Ebnöther. Optimization of Anticlastic Core Structures for Lightweight Sandwich Panels. Structural mechanics [physics.class-ph]. Ecole Polytechnique X, 2012. English. NNT: . pastel-00771256

**HAL Id: pastel-00771256**

**<https://pastel.hal.science/pastel-00771256>**

Submitted on 8 Jan 2013

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

---

# Optimization of Anticlastic Core Structures for Lightweight Sandwich Panels

-

*Optimisation d'une structure gaufrée pour la conception de panneaux sandwichs légers*

---

Thèse présentée pour l'obtention du titre de  
DOCTEUR DE L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE  
(Palaiseau, France)

Spécialité : Mécanique

par

**Fabien Ebnoether**

M.Sc. Mechanical Engineering  
Eidgenössische Technische Hochschule Zürich, Switzerland, 2009

Soutenue le 12.11.2012 devant le jury composé de

Vikram S. DESHPANDE.....*Rapporteur*  
University of Cambridge, United Kingdom

Gérard GARY.....*Co-directeur de thèse*  
LMS, École Polytechnique, Palaiseau, France

Vincent GROLLEAU.....*Rapporteur/Président*  
Université de Bretagne Sud, Lorient, France

Dirk MOHR.....*Directeur de thèse*  
LMS, École Polytechnique, Palaiseau, France



## Abstract

This thesis investigates the mechanical behavior of all-metal sandwich panels with anticlastic core structures. Anticlastic core structures provide a cost-effective alternative to hexagonal honeycomb core structures as these can be produced in a mass production environment through progressive stamping and embossing. Fracture during manufacturing limits the space of possible microstructural configurations of anticlastic core structures. The optimization of the load carrying capacity of sandwich panels with anticlastic core structures is therefore conducted under the constraint of ductile fracture. The choice of a suitable ductile fracture model for predicting the fracture of the basis sheet materials plays a central role in this research. The first part of this thesis is entirely devoted to the experimental and numerical evaluation of the predictive capabilities of the original stress-based and the mixed stress-strain based damage indicator version of the Mohr-Coulomb failure model. Limiting our attention to tension-dominated stress states between uniaxial and equi-biaxial tension of thin low carbon steel, basic fracture tests such as notched tension and circular punch test are carried out to identify the fracture model parameters. A Hasek test and the recordings during the stamping of an anticlastic structure are used to assess the predictive capabilities of both fracture models. It is found that the damage indicator model with stress state dependent weighting function predicts the onset of fracture in the stamping test with greater accuracy. In the second part of this thesis, the Mohr-Coulomb damage indicator model is used to determine the maximum stamping depth during the making of anticlastic core layers as a function of the tool geometry. The large deformation behavior is described through a quadratic plasticity model with an isotropic hardening law and a non-associated flow rule. Design maps are developed that express the effective core shear stiffness, the core shear strength, the delamination strength and elastic face sheet buckling as a function of the core layer geometry. A method to optimize the performance of anticlastic sandwich panels is presented for simply supported rectangular panels subject to uniform lateral loading. The results from the four-point bending experiments demonstrate that the optimized anticlastic sandwich panels provide a higher strength and stiffness (at a lower weight) than foamed HDPE panels. The last part of this thesis investigates the puncture resistance of all-metal sandwich panels with a stamped anticlastic core structure. The effect of the parameters describing the core geometry and the choice of the substrate materials is studied. In particular, a low carbon steel, a DP780 dual phase steel and

an ultra-high strength martensitic steel as candidate materials for the face sheets. A newly-developed damage indicator model with a weighting function based on Hosford's criterion is employed to model the fracture response of these materials. A parametric finite element study is performed on the puncture resistance of sandwich panels covering different cell sizes for the anticlastic core structure. The analysis of the simulation results reveals that the puncture resistance decreases with the cell size and core height respectively, i.e. the thinner the sandwich panel the higher the puncture resistance. Selected experiments are also presented to support this important finding.

## Résumé

Dans le cadre de cette thèse, on étudie le comportement mécanique de panneaux sandwich métalliques avec une âme à architecture gaufrée. Ces structures fournissent une alternative économiquement avantageuse aux nids d'abeilles hexagonaux car leur production de masse est réalisable par emboutissage progressif de tôles planes. Les différentes géométries possibles de la structure gaufrée sont limitées par des risques de rupture lors de la fabrication. Ainsi, l'étude de l'optimisation de la capacité portante des panneaux sandwich à âme gaufrée est contrainte par la rupture ductile du matériau de base. Le choix d'un modèle de rupture ductile approprié pour prédire le comportement à rupture du matériau de base joue donc un rôle central dans cette recherche.

La première partie de cette thèse est entièrement consacrée aux évaluations expérimentale et numérique des capacités prédictives de deux versions du modèle de rupture de Mohr-Coulomb; l'une étant la version originale, l'autre intégrant un indicateur d'endommagement. En limitant notre attention aux contraintes planes induites par la traction uni-axiale et équibi-axiale dans la tôle d'acier doux, on réalise des essais de rupture sur des éprouvettes entaillées et des essais de poinçonnement à l'aide d'un poinçon circulaire afin d'identifier les paramètres du modèle de rupture. Un test de Hasek et un essai d'emboutissage d'une structure gaufrée sont utilisés afin d'évaluer les capacités prédictives des deux modèles de rupture. Le modèle avec indicateur d'endommagement utilisant une fonction poids dépendant de l'état de contrainte prédit l'apparition de la rupture lors de l'essai d'emboutissage avec la meilleure précision.

Dans la deuxième partie de cette thèse, pour l'étude de la fabrication de la structure gaufrée, on utilise le modèle de Mohr-Coulomb avec indicateur d'endommagement pour déterminer la profondeur d'emboutissage maximale en fonction de la géométrie de l'outil de mise en forme. Le comportement en grandes déformations est décrit par un modèle de plasticité quadratique avec écrouissage isotrope et une loi d'écoulement non associée. Des cartes de sensibilité aux principaux paramètres sont développées : rigidité au cisaillement de la partie cœur, résistance au cisaillement, résistance au délaminage et au flambement élastique des peaux en fonction de la géométrie de la structure cœur. Une méthode d'optimisation des performances des panneaux sandwich à âme gaufrée est développée pour les panneaux rectangulaires sur appuis simples soumis à un chargement latéral uniforme. Les résultats des

expériences de flexion quatre points montrent que les panneaux sandwichs optimisés offrent des plus grandes résistance et rigidité (pour un moindre poids) que des panneaux avec une partie cœur en mousse de polyéthylène de haute densité.

La dernière partie de cette thèse se concentre sur l'étude de la résistance à la perforation des panneaux sandwich métalliques à âme gaufrée. L'effet des paramètres décrivant la géométrie de la structure cœur et le l'influence du matériau constituant les peaux est étudié. On s'intéresse en particulier à un acier doux, un acier « dual-phase » DP780 et un acier martensitique à très haute résistance. Un nouveau modèle utilisant un indicateur d'endommagement avec une fonction poids basée sur le critère de Hosford est utilisé pour modéliser la réponse à la rupture de ces matériaux. Une étude paramétrique de la résistance à la perforation des panneaux sandwich pour différentes tailles de cellule élémentaire de la partie cœur est réalisée à l'aide d'un modèle éléments finis. La résistance à la perforation diminue avec la taille de la cellule et avec la hauteur de la partie cœur. Ainsi, le panneau sandwich le plus mince offre une résistance supérieure à la perforation. Des essais sont réalisés qui confirment ce résultat important.