

Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique
Université Ferhat Abbas- Sétif
Institut d'optique et de Mécanique de Précision
Département : d'optique et mécanique de précision
Domaine : Sciences et Technologies
Filière : Optique et Mécanique de Précision
Spécialité : Mécanique fine

Mémoire de Master

Identification par analyse inverse du comportement mécanique d'un sandwich Aluminium/ mousse d'aluminium

Présenté par : AIB Sofia

Encadré Par : Dr. FIZI Yazid

Dr. BOUSSOUAR Layachi

Devant le jury :

Dr. Ariane (P)

Dr. Rouabhi

Dr. Boussouar

Dr. Fizi

Soutenu le : 04/07/ 2023

Les structures sandwich sont devenues une solution de conception très polyvalente et recherchée dans de nombreux secteurs. Elles offrent une réduction significative du poids tout en maintenant une résistance exceptionnelle et une absorption d'énergie élevée. En raison de la composition complexe des structures sandwich, des essais de compression ont été proposés pour évaluer leurs capacités de déformation. L'identification du comportement des structures sandwich repose sur une combinaison d'essais expérimentaux et de simulations par éléments finis et l'analyse inverse pour extraire les propriétés élastoplastiques du matériau utilisé.

Sandwich structures have become a very versatile and sought-after design solution in many industries. They offer significant weight reduction while maintaining exceptional strength and high energy absorption. Due to the complex composition of sandwich structures, compression tests have been proposed to assess their deformation capacities. Identifying the behavior of sandwich structures relies on a combination of experimental testing and finite element simulations and inverse analysis to extract the elastoplastic properties of the material used.

أصبحت هياكل الساندويتش حلاً تصميمياً متعدد الاستخدامات ومطلوباً للغاية في العديد من الصناعات. فهي توفر خفضاً ملحوظاً في الوزن مع الحفاظ على قوة استثنائية وامتصاص عالي للطاقة بسبب التركيب المعقد لهياكل الساندويتش، تم اقتراح اختبارات الضغط لتقييم قدراتها على التشوه يعتمد تحديد سلوك الهياكل العازلة على مجموعة من الاختبارات التجريبية ومحاكاة العناصر المحدودة والتحليل العكسي لاستخراج الخصائص المرنة للمادة المستخدمة.

Introduction générale.....	1
----------------------------	---

Chapitre 1. Généralités sur les structures sandwich

1.1 Développement de composites sandwichs.....	3
1.2 Vue d'ensemble de la structure sandwich.....	3
1.2.1 Construction des structures sandwichs.....	3
1.2.2 Peaux.....	4
1.2.3 Âme.....	4
1.2.4 Adhésif.....	4
1.2.5 Classification d'Âme.....	5
1.2.6 Alliage d'aluminium.....	5
1.3 Structure en nid d'abeilles.....	6
1.3.1 Définition de l'âme en nid d'abeille.....	6
1.3.2 Les caractéristiques géométriques d'âme nid d'abeille.....	6
1.3.3 Processus de fabrication des nids d'abeilles.....	7
1.3.4 Mise en œuvre de sandwich nid d'abeille.....	9
1.4 Structure en mousse.....	11
1.4.1 Définition de la structure en mousse.....	11
1.4.2 Propriétés des mousses d'aluminium.....	11
1.4.3 Méthodes de production de matériaux métalliques cellulaires.....	12
1.4.4 Avantage.....	13
1.4.5 Obstacle.....	13
1.5 Application de la structure sandwich.....	14
1.5.1 Industrie navale.....	14
1.5.2 industrie aéronautique.....	15
1.5.3 industrie automobile.....	15
1.5.4 Industrie spatiale.....	15

Chapitre 2. Comportement mécanique des structures sandwich

2.1 Introduction.....	17
2.2 L'essai d'impact basse vitesse.....	17
2.3 La simulation numérique d'essai de l'impact.....	18
2.4 L'étude de réponse Force-déplacement.....	19
2.5 La résistance à l'impact des structures sandwichs.....	19
2.6 Mécanismes d'endommagement lors l'impact sur les structures sandwichs.....	20
2.7 Essais d'impact et absorption d'énergie dans les structures sandwich.....	21
2.8 Évaluation de l'absorption d'énergie par l'analyse des dommages dans les structures sandwich.....	22
2.9 Les propriétés mécaniques influencent la réponse de structure sandwich sous l'impact....	22
2.9.1 l'influence de l'épaisseur de peaux.....	22
2.9.2 l'influence de l'épaisseur de l'âme.....	23
2.9.3 L'influence de la densité de l'âme en mousse.....	23
2.9.4 Effet de taille du filet adhésif dans les panneaux sandwich métalliques en nid	

d'abeilles.....	25
2.9.5 L'influence des types des pénétrateurs.....	26

Chapitre 3. Caractérisation et identification par analyse inverse du comportement des composite sandwichs

3.1 Introduction.....	28
3.2 Comportement mécanique de composite en compression.....	28
3.2.1 Test de compression en indentation.....	29
3.3 Modélisation numérique par la méthode des élément finis.....	30
3.3.1 Simulation du comportement des Structure sandwich en en nid d'abeille.....	30
3.3.2 Simulation du comportement des Structure sandwich en mousse.....	35
3.4 Identification du comportement mécanique par la méthode inverse.....	37
3.4.1 Identification des paramètres de la loi de Johnson-Cook (JC).....	37
3.5 Développement d'un programme exécutable pour analyse inverse.....	41
Conclusion générale.....	46
Références bibliographiques.....	47



Introduction générale

Les structures en sandwich ont suscité une attention particulière ces dernières années en raison de la demande croissante de structures d'ingénierie possédant une résistance, une rigidité et une capacité d'absorption d'énergie accrues. Particulièrement dans des industries telles que l'aérospatiale et l'automobile, les panneaux sandwich sont devenus un choix privilégié en raison de leur capacité à réduire le poids tout en maintenant des performances structurelles optimales et en offrant une meilleure absorption de l'énergie lors d'impacts ou de chocs. Cette capacité d'absorption d'énergie contribue à améliorer la sécurité, la durabilité et les performances globales des structures en sandwich, en réduisant les dommages potentiels en cas d'accidents ou de situations à fort impact. La structure en sandwich est composée de deux couches externes, appelées peaux, qui sont séparées par une âme central. La nature composite de la structure traduit une difficulté de la détermination de comportement à l'aide de méthodes d'essai traditionnelles, telles que des essais de traction. Ce qui rend un développement nécessaire d'une stratégie d'identification fiable. Cette stratégie vise à établir une approche robuste de détermination des paramètres d'un modèle élastoplastique, permettant une représentation précise du comportement de la structure sandwich.

L'objectif de cette mémoire est de déterminer et identifier les paramètres d'un modèle élastoplastique, représentant le comportement des structures sandwich en mousse d'aluminium. L'approche est basée sur l'utilisation de données expérimentales d'essais de compression comme référence, et la construction d'un modèle numérique à l'aide d'une analyse par éléments finis. Un algorithme d'optimisation est utilisé pour coupler le modèle d'éléments finis afin de minimiser l'écart entre les données expérimentales et numériques.

Le travail effectué est présenté dans cette mémoire qui est constituée de trois chapitres :

Le chapitre 01: Ce chapitre vise à explorer le concept de structures sandwich, en se concentrant spécifiquement sur les panneaux en nid d'abeille et en mousse, souvent en aluminium. Nous avons présenté un aperçu complet des structures sandwich en général, y compris leur définition et leurs composants, traité des caractéristiques géométriques de différents types de l'âme, et leurs procédés de fabrication, ainsi que des avantages et des défis auxquels sont confrontés les ingénieurs. Ce chapitre conclut en soulignant l'utilisation et l'importance des structures sandwich dans divers domaines industriels.

Le chapitre 02: présente une recherche bibliographique approfondie sur la réponse des structures sandwich à l'impact à faible vitesse. Il se concentre sur l'analyse de la résistance, des dommages et de l'absorption d'énergie de ces structures lorsqu'elles sont soumises à une sollicitation mécanique spécifique. Le chapitre examine également les différents facteurs qui influencent le comportement des structures, tels que l'épaisseur de la peau et de l'âme, les caractéristiques géométriques de la structure de l'âme et l'influence du type de pénétrateur. Une meilleure compréhension de ces facteurs permet d'optimiser la conception de structures plus performantes et sécurisées, en accord avec les exigences spécifiques de chaque application.

Le chapitre 03: Le chapitre utilise une approche globale en combinant des tests expérimentaux, la modélisation numérique et des analyses inverses pour acquérir une compréhension approfondie des propriétés mécaniques et du comportement des structures sandwich en nid d'abeille et en mousse. Pour faciliter cette analyse, un programme exécutable a été développé en utilisant un codage Python spécialement conçu pour effectuer la analyse inverse.

Ce chapitre comprend trois parties principales. La première partie porte sur l'analyse classique des structures sandwich en nid d'abeille. Elle implique des tests expérimentaux et une modélisation numérique utilisant une analyse tridimensionnelle par éléments finis. La deuxième partie concerne l'identification des paramètres de la loi du comportement mécanique élastoplastique de Johnson-cook pour le sandwich. Grâce à une combinaison de données expérimentales et l'approche numérique réalisée par un calcul élément finis 2D axisymétrique couplée à un outil d'optimisation. Dans la troisième partie, une description concise est donnée sur les étapes utilisées pour but de développer un programme exécutable en utilisant le langage de programmation Python. Ce programme est spécialement conçu pour offrir une interface compatible avec tous les systèmes, ce qui facilite le processus de lancement des analyses inverses.