

Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique
Université Ferhat Abbas- Sétif 1
Institut : Optique et Mécanique de Précision
Département : Optique et mécanique de précision
Domaine : Sciences et Technologies
Filière : Optique et Mécanique de Précision
Spécialité : Mécanique fine

Mémoire de Master

Conception et réalisation d'un dispositif de cisaillement pour les panneaux sandwich

Etudié par : LABANI Abdarraahmane.

Dirigé Par : Dr. CHOUITER Adel.

Co-encadreur : Pr. KESKES Boualem.

Devant le jury :

Dr. REDJACHT Abdelouahab (Président)
Dr. ROUABHI Abdalhamid (Examineur)

Soutenue le : 03/07/2023

Remerciements

Dédicace

Introduction générale

CHAPITRE I : Généralités sur les matériaux sandwichs

I.1. Introduction.....	3
I.2. Définition des panneaux sandwichs.....	3
I.3. Éléments constituant les matériaux sandwichs	4
I.3.1. Les peaux.....	4
I.3.2. Âmes.....	5
I.3.2.1. Âmes pleines.....	5
I.3.2.2. Âmes creuses	5
I.3.3. Adhésif	6
I.4. Caractéristiques des panneaux sandwichs	6
I.4.1. Légèreté et résistance	6
I.4.2. Stabilité.....	6
I.4.3. Isolation thermique et acoustique.....	7
I.5. Domaine d'application des structures sandwichs	7
I.5.1 Industrie aérospatiale.....	7
I.5.2 Construction de navires.....	7
I.5.3 Industrie automobile.....	8
I.5.4 Construction pour l'architecture	9
I.6. Comportement mécanique des structures sandwichs.....	9
I.6.1 Comportement en flexion.....	10
I.6.1.1 La flexion en trois points	10
I.6.1.2 Flexion en quatre points	10
I.6.2. Comportement en traction-compression	11
I.7. Modes de dégradations des panneaux sandwichs	12
I.7.1. Flambement généralisé des peaux.....	12
I.7.2. Rupture des peaux en traction ou en compression	12
I.7.3. Modes locaux de rupture	13
I.7.4. Flambement généralisé de l'âme ou « crimping »	13
I.7.5. Flambement localisé, « wrinkling » ou « dimpling ».....	13
I.7.6. Dégradation de l'adhésive	14

Sommaire

I.7.8. Rupture de l'âme en cisaillement	15
I.8. Comportement en Cisaillement des panneaux sandwichs	16
I.8.1. Procédure expérimentale de l'essai de cisaillement	16
I.8.2. Caractéristiques mécaniques obtenus de l'essai de cisaillement.....	17
Conclusion.....	19
CHAPITRE II : Conception et réalisation du dispositif de cisaillement	
II.1.Introduction	19
II.2.Le cahier des charges Fonctionnel (CDCF)	19
II.3.Les exigences techniques du cahier des charges	20
II.3.1. Diagramme « bête à cornes » ou Analyse du besoin	20
II.3.2. Diagramme « pieuvre ».....	21
II.3.3. Diagramme A-0 (SADT)	22
II.4.Description de la conception du dispositif de cisaillement	23
II.4.1. Description de la conception du dispositif de cisaillement.....	24
II.4.2. Constitution du dispositif de cisaillement.....	25
II.4.2.1 Réalisation du dispositif di cisaillement et Description des principaux éléments	27
II.4.3.Dessin d'ensemble et les dessins de définitions des pièces du dispositif de cisaillement.....	29
II.5. Critères du choix le matériau.....	29
II.5.1. Choix de matériau	29
II.6. Dimensionnement des éléments du dispositif et contrôle de résistance	30
II.6.1. Contrôle des contraintes de cisaillement et de pression des goupilles.....	31
II.6.1.1. Contrôle de résistance de la goupille N°1	32
II.6.1.2. Contrôle de résistance de la goupille N°2	33
II.6.1.3 Contrôle de résistance de la goupille N°3	34
II.6.2. Contrôle et dimensionnement de la vis de serrage.....	35
II.6.2.1. Calcul de la force axiale	37
II.6.2.2. Contrôle du profil de filetage	37
II.6.2.3. Contrainte de pression entre les filets.....	38
II.7. Fabrication du dispositif de cisaillement	39
II.7.1. Réalisation du Support supérieur	39
II.7.2. Réalisation de La Bride.....	40
II.7.3. Réalisation du support inferieur	41
II.7.4. Assemblage dispositif	42

Sommaire

Conclusion.....	43
Chapitre III : Essai et validationDu dispositif	
III.1. Introduction	44
III.2. Procédure expérimentale et matériaux	44
III.2.1. Procédure expérimentale	44
III.2.1.1 Fixation l'éprouvette sur le dispositif	44
III.2.1.2 Mode opératoire du collage de l'éprouvette	45
III.2.2. Matériaux et Éprouvettes.....	46
III.2.2.1 Panneaux sandwichs en mousse : métal- polyuréthane.	46
III.2.2.2.Panneaux sandwich en nid d'abeille : en aluminium- aluminium L et W.....	46
III.2.2.3.Panneau sandwich en nid d'abeille : aluminium- aramide (nomex)	48
III.3. Mode opératoire de l'essai de cisaillement	48
III.4. Résultats expérimentaux des essais de cisaillement.....	49
III.4.1.Résultats des essais sur des éprouvettes en panneaux sandwichs en mousse.....	49
III.4.1.1 Détermination de la contrainte de Cisaillement et du module de cisaillement G... 50	
III.4.2. Résultats des essais sur des éprouvettes en panneaux sandwichs nid d'abeille : aluminium-aluminium, sens W et L	51
III.4.2.1. Courbe d'essai de cisaillement sur panneau sandwich nid aluminium- aluminium, sens W (Figure III.11).	51
III.4.2.2.Courbe d'essai de cisaillement sur panneau sandwich nid aluminium- aluminium, sens L (Figure III.13).	52
III.4.3. Résultats de l'essai sur éprouvette en panneau sandwich nid d'abeille : aluminium- nomex	55
III.4.3.1. Détermination de la contrainte de Cisaillement et du module de cisaillement G	55
Conclusion.....	56
Conclusion générale	57
Références et bibliographies	
Annexes	
Résumé	

Liste figure

Figure I.1 : Structure sandwich à âme cellulaire en nids d'abeilles.[3]	3
Figure I.2 : Matériaux pour les peaux. [5].....	4
Figure I.3 : Âme carrée de balsa.	5
Figure I.4 : Nid d'abeille.....	6
Figure I.5 : Âme ondulée.....	6
Figure I.6 : Répartition des matériaux dans le Boeing 787. [9]	7
Figure I.7 : Panneaux en nid d'abeille pour la construction de bateaux. [10]	8
Figure I.8 : Usine de fabrication de voitures.	8
Figure I.9 : Nouveau panneau sandwich d'isolation thermique. [11].....	9
Figure I.10 : Sollicitations mécaniques.	10
Figure I.11 : la flexion en trois points.	10
Figure I.12 : Flexion 4 points d'une poutre sandwich.[13].....	11
Figure I.13: Flambement généralisé des peaux du sandwich. [2]	12
Figure I.14 : Rupture des peaux en traction ou en compression.[14].....	12
Figure I.15 : Modes locaux de rupture par indentation[2]	13
Figure I.16 : Flambement généralisé de l'âme du sandwich.[2]	13
Figure I.17 : Flambement localisé « wrinkling ».[14].....	14
Figure I.18 : Flambement localisé «damppling».[14]	14
Figure I.19 : Type de dégradation de l'adhésif. [14].....	15
Figure I.20 Rupture de l'âme en cisaillement. [2].....	15
Figure I.21 : a) Montage expérimental des essais de cisaillement transverse ; b) relation contrainte-déformation de l'éprouvette testée dans la direction L ; c) relation contrainte-déformation de l'éprouvette testée dans la direction W. [16].....	17
Figure I.22 : Montage d'essai de cisaillement du SC270 sur machine de traction G_a . [17].....	18
Figure I.23 : Plaque de liège fixée sur deux	19
Figure I.24 : Montage d'essai de cisaillement[17]	19
Figure II.1 : Diagramme « bête à corne ».	21
Figure II.2 : Diagramme « pieuvre » pour le besoin.	21
Figure II.3 : diagrammes A-0.	23
Figure II.4: Modélisation du dispositif de cisaillement sur Solid Works.....	24
Figure II.5 :Vue éclaté du dispositif	25
Figure II.6 : Principe de fonctionnement du dispositif de cisaillement sur SolidWorks.....	26
Figure II.7 : Manchon (Pièce de fixation avec la machine).	27
Figure II.8 : Support supérieur.	27

Liste figure

Figure II.9 : Bride.....	28
Figure II.10 : Contact inférieur.	28
Figure II.11 : La plaque de chargement.	29
Figure II.12 : Les principaux éléments du dispositif à contrôler.	31
Figure II-13 : Représentation des charges appliquées sur la goupille 10 mm x 60 mm.	32
Figure II.14 : Représentation de la pression spécifique sur la goupille 10mm x 60mm.....	32
Figure II-15. Représentation des charges appliquées sur la goupille 12 mm x 60 mm.	33
Figure II.16 : Représentation de la pression spécifique sur la goupille 12mm x 60mm.....	34
Figure II-17 : Représentation des charges appliquées sur la goupille 15mmx50mm.	34
Figure II.18 : Représentation de la pression spécifique sur la goupille 15mm x 50mm.....	35
Figure II.19: Le positionnement des vis de serrages dans le dispositif.....	36
Figure II-20 : Vis 6 pans creux CHC.	36
Figure II-21 : Représentation du profil de filetage normalisé.....	37
Figure II-22 : Réalisation des trous sur le Support supérieur.....	39
Figure II-23 : les Supports supérieurs.	40
Figure II-24 : Réalisation de la bride sur une machine à commande numérique (CNC).....	40
Figure II-25 : La bride.....	41
Figure II-26 : le support inferieur a été placé sur une machine à commande numérique (CNC).	41
Figure II-27 : Support inferieur.....	42
Figure II-28 : Partie fixe du dispositif.....	42
Figure II-29 : Partie mobile du dispositif.....	43
Figure III.1 : configuration de l'essai cisaillement.	44
FigureIII.2 : Epoxy steel. [20].....	45
Figure III.3 : Les outils de fixation (serre-joints).....	45
Figure III.4 : le panneau sandwich en mousse (métal- polyuréthane).	46
Figure III.5 : la configuration L et W.....	47
Figure III.6 : Panneau sandwich en nid d'abeille : aluminium-aluminium, sens transversal W.	47
Figure III.7 : Panneau sandwich nid d'abeille : aluminium-aluminium, sens longitudinal L. .	48
Figure III.8 : Panneau sandwich nid d'abeille : aluminium -aramide.....	48
Figure III.9 : Courbe d'essai représentant la force de cisaillement en fonction du déplacement	49
Figure III.10 : Mode de rupture de l'éprouvette en mousse testée en cisaillement	50

Liste figure

Figure III.11 : Courbe d'essai représentant la force de cisaillement en fonction du déplacement,sens W	51
Figure III.12 : Mode de rupture de l'éprouvette nid d'abeille en aluminium (W) testées en cisaillement.....	52
Figure III.13 : Courbe graphique représentant l'évolution de force (N) en fonction du déformation (mm)	52
Figure III.14 : Comparaison entre les résultats d'essai dès l'éprouvettes nid d'abeille en aluminium-aluminium sens (L) et (W).....	53
Figure III.15 : Mode de rupture de l'éprouvette nid d'abeille en aluminium (L) testées en cisaillement.....	54
Figure III.16 : Courbe graphique représentant l'évolution de force (N) en fonction du déformation (mm)	55
Figure III.17 : Mode de rupture de l'éprouvette nid d'abeille en aluminium aramide.....	56

Liste des tableaux

Tableau I.1 : Résumé des essais transversaux de cisaillement.[16]	16
Tableau II.1 : Explication du diagramme de pieuvre et ses fonctions.	22
Tableau II.2 : Les éléments constituant le dispositif.	25
Tableau II.3 : Composition chimique de l'Acier XC48. [19]	29
Tableau II.4 : Les longueurs principales de vis CHC.	37
Tableau II.5 Caractéristiques mécaniques de vis CHC classe 8.8.....	37
Tableau II.6 : Les dimensions diamétrales.	38
Table III.1 : dimensions géométriques d'éprouvette en panneaux sandwichs en mousse.	46
Table III.2 : les caractéristiques des panneaux sandwich nid d'abeille en aluminium L et W.	47
Table III.3 : les résultats de l'essai	50
Table III.4 : Résultats de l'essai de cisaillement.....	52
Table III.5 : les résultats de l'essai.	53
Tableau III.6 : Comparaison des caractéristiques en cisaillement de panneau sandwich sens w et l des cellules de l'âme.	54
Table III.7 : les résultats de l'essai	56

Introduction générale

Le monde industriel est amené à une utilisation de plus en plus importante des matériaux composites en raison de leur faible densité, grande résistance, rigidité importante et de leur excellente durabilité. On enregistre une progression importante dans l'emploi des matériaux composites dans divers domaines industriels et technologiques. Parmi les matériaux composites les plus utilisés, on peut citer les matériaux de type 'panneau Sandwich'.

Les panneaux sandwichs à âme nid d'abeilles ou en mousse sont de nouveaux matériaux particulièrement utilisés dans le domaine de l'aéronautique et de l'aérospatial, le secteur des transports, la construction navale et maritime, etc. Leurs avantages résident principalement dans la forte rigidité en flexion, l'excellente résistance à la fatigue, la résistance au feu, bonne isolation thermique et acoustique et le faible poids.

La résistance et la rigidité des panneaux sandwichs dépendent essentiellement de l'adhésif (collage par un film de colle) qui assure la liaison entre les peaux et l'âme. Cet adhésif est un composant important permettant un bon assemblage de la structure sandwich et une bonne transmission des contraintes d'un milieu à l'autre. Sa principale caractéristique est la résistance au cisaillement.

Dans cette optique notre travail consiste à concevoir et à réaliser un dispositif de cisaillement permettant de caractériser le comportement et la résistance en cisaillement entre les peaux et l'âme des panneaux sandwich. Le dispositif doit être adaptable sur la machine de traction (ZWICK) de notre institut et offre la possibilité de tester le comportement en cisaillement de différentes structures en panneau sandwich (nid d'abeille, mousse,... etc) et les assemblages collés.

Notre mémoire se décompose en trois chapitres :

Le premier chapitre présente une synthèse bibliographique concernant le comportement et les propriétés mécanique des matériaux sandwichs et leurs modes de dégradations

Le deuxième chapitre est dédié entièrement à la partie conception du dispositif de cisaillement en fonction des exigences fonctionnelles et techniques du cahier des charges. Le dimensionnement des éléments essentiels et la réalisation du dispositif ont été présentés.

Introduction générale

Le troisième chapitre porte sur la validation expérimentale du dispositif de cisaillement réalisé. Des essais de cisaillement ont été effectués pour l'étude du comportement en cisaillement sur différents panneaux sandwichs en nids d'abeilles et en mousse.

Enfin, une conclusion générale qui permettra de proposer une synthèse des principaux résultats obtenus et d'envisager les perspectives découlant de cette étude.

Résumé

Résumé

La mécanique appliquée, Il est une branche d'ingénierie qui a pour but d'étudier le comportement des dispositifs mécaniques d'intérêt pratique à l'aide de la méthodologie et les résultats de la mécanique théorique.

Le but de cette étude est de proposer un moyen de caractérisation des panneaux sandwich à partir d'analyse mécanique. Pour faire une conception et réalisation d'un dispositif de cisaillement pour les panneaux sandwich, le département Mécanique nous a proposé de concevoir et de réaliser selon un cahier des charges prédéfini un dispositif de cisaillement.

Après étude et réalisation, ce dispositif sera adapté par la suite sur la machine de traction- (ZWICK) déjà existante, ce qui nous permettra une bonne compréhension du phénomène de sollicitation au cisaillement.

Les mots clés : la méthodologie, panneaux sandwich, un cahier des charges, dispositif de cisaillement, la machine de traction- (ZWICK)

Abstract

Applied mechanics, It is a branch of engineering that aims to study the behavior of mechanical devices of practical interest using the methodology and results of theoretical mechanics.

The purpose of this study is to propose a means of characterization of sandwich panels from mechanical analysis. In order to design and build a shear device for sandwich panels, the Mechanical Department has proposed to design and build a shear device according to a predefined specification.

After study and realization, this device will be adapted later on the traction machine- (ZWICK) already existing, which will allow us a good understanding of the phenomenon of shear stress.

Keywords : methodology, sandwich panels, specifications, shearing device, traction machine- (ZWICK)

Résumé

ملخص

الميكانيك تطبيقية ، وهي فرع من فروع الهندسة يهدف إلى دراسة سلوك الأجهزة الميكانيكية ذات الأهمية العملية باستخدام منهجية ونتائج الميكانيكا النظرية.

الغرض من هذه الدراسة هو اقتراح وسيلة لتوصيف الألواح العازلة من التحليل الميكانيكي. لتصميم وتصنيع جهاز قص للألواح العازلة ، عرضت الإدارة الميكانيكية تصميم وتصنيع جهاز القص وفقًا لمواصفات محددة مسبقًا بعد الدراسة ، الموجودة بالفعل، مما سيجب لنا فهمًا جيدًا لظاهرة إجهاد القص تكيف هذا الجهاز لاحقًا على آلة الشد (ZWICK)

-الكلمات الأساسية: المنهجية ، الألواح العازلة ، المواصفات ، جهاز القص ، آلة الشد (ZWICK)