

**Nom et Prénom : ABD BAGHAD**

**Date de soutenance : 30/09/2022**

**Directeur de Thèse : NOUNEH KHALID**

**Sujet de Thèse :**

**Fabrication et évaluation des stratifiés carbone/époxy pour l'aéronautique : Effets des paramètres de fabrication en autoclave et les conditions opérationnelles**

**Résumé :**

Dans l'industrie aéronautique, le procédé autoclave est considéré un équipement indispensable pour la fabrication des composantes structurales de haute qualité à partir des composites à matrice polymère. Les cycles de polymérisation en autoclave sont des étapes clés quant à la fabrication de composites de qualités à base du préimprégné. Ces cycles déterminent les propriétés mécaniques et thermomécaniques finales des pièces fabriquées. La présente thèse s'inscrit dans le cadre d'un projet de recherche et développement qui vise à étudier une nouvelle préimprégné aéronautique 8552S/AS4. L'objectif est d'identifier les paramètres clés de la fabrication en mode autoclave, afin d'améliorer les propriétés mécaniques tout en préservant les propriétés physiques. Dans un premier temps, la cinétique de la réaction de polymérisation de la résine époxyde et la validation du modèle cinétique théorique correspondant ont permis de décrire son comportement dans un cycle de température et de temps. Par la suite, les cycles thermiques de fabrication en autoclave ont été simulé en utilisant la DSC, afin de démontrer le temps minimal de maintien à par rapport à la température du palier, et bien évidemment déterminer l'évolution du degré de polymérisation au cours du temps. Par la suite, les effets des paramètres de fabrication en autoclave (température, pression et vide) sur les propriétés microstructurales, physiques, thermomécaniques et mécaniques ont été évalués. Comme la température de fonctionnement des nacelles des avions est de 120°C, il a été raisonnable d'étudier l'effet de la température d'opération et du temps de maintien sur les propriétés mécaniques et thermomécanique.

Mots-clés : préimprégné époxy, composites stratifiés, cinétique de polymérisation, paramètres de fabrication en autoclave, propriétés mécaniques, conditions opérationnelles

**Abstract:**

The autoclave process has become an essential equipment in the aeronautical industry for manufacturing high-quality structural components from polymer matrix composites. Autoclave cure cycles are key steps in the manufacture of high quality prepreg-based composites. These cycles determine the final mechanical and thermomechanical properties of the manufactured parts. The present thesis is part of a research and development project studying a new aerospace prepreg 8552S/AS4. The objective is to identify the key manufacturing parameters in order to improve the mechanical properties while maintaining the physical properties. First, the kinetics of the epoxy resin polymerization reaction and the validation of the corresponding theoretical kinetic model allowed to describe its behavior in a temperature and time cycle. Then, the thermal cycles in autoclave were stimulated by using the DSC in order to determine the minimum holding time at isothermal temperature, as well as to evaluate the evolution of the degree of cure over time. The effects of the autoclave manufacturing parameters (temperature, pressure and vacuum) on the microstructural, physical, thermomechanical and mechanical properties were then evaluated. Since the operating temperature of aircraft nacelles is 120°C, it was important to study the effect of operating temperature and holding time on mechanical and thermomechanical properties.

Keywords: Epoxy prepreg, composite laminates, curing kinetics, autoclave process parameters, mechanical properties, operating conditions.

ملخص :

تندرج هذه الأطروحة من ناحية في إظهار قيمة تقنية ضباب القناة الدقيقة (FCM-CVD) "Fine Channel Mist CVD"، بالإضافة إلى التحضير بتقنية ضباب القناة الدقيقة (FCM-CVD) لأفلام من أكاسيد موصل شفاف (AZO) ( $\text{ZnO}$  dopés Al)، وطبقات فاصلة (couches tampons) المكونة من كبريتيد الزنك وأيضاً تحضير الطبقة الماصة (CZTS) بطريقة الانحلال الحراري بالرش (Spray pyrolysis) من ناحية أخرى، تندرج هذه الأطروحة في محاكاة الخلايا الشمسية المنظمة على النحو التالي: AZO / couche tampon / CZTS باستخدام برنامج SCAPS-1D.

خلال هذه الأطروحة، يتم استخدام تقنية التحضير FCM-CVD من ناحية لإنتاج أغشية أكسيد الزنك الغير منشط (ZnO) والمنشط (AZO)، ومن ناحية أخرى لتحضير الأغشية الرقيقة من كبريتيد الزنك الغير منشط (ZnS) والمنشط بالكوبالت ( $\text{ZnS:Co}$ ) والمنغنيز ( $\text{ZnS:Mn}$ )، بينما يتم استخدام طريقة الانحلال الحراري بالرش (Spray pyrolysis) لتحضير الطبقة الماصة CZTS ( $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$ ). تمت دراسة وتحسين تأثير شروط تحضير مختلف الطبقات مثل تركيز المادة المذابة، ومعدل المنشطات، ودرجة حرارة الركيزة، وتركيبية المذيب، ووقت التحضير على الخصائص الفيزيائية لطبقات الثلاث، طبقة الأكسيد الموصل الشفاف (AZO)، والطبقة الفاصلة (la couche tampon)، وطبقة الامتصاص (CZTS). في نهاية هذه الأطروحة، يتم إجراء محاكاة محسنة للخلية الشمسية بناءً على الطبقات الثلاث المحضرة تجريبياً.

الكلمات الرئيسية: FCM-CVD، ZnO، ZnS،  $\text{ZnS:Co}$ ،  $\text{ZnS:Mn}$ ، CZTS، الأكسيد الموصل الشفاف (AZO)، الطبقة الفاصلة (la couche tampon).