

Titre : Incertitude dans la mise en œuvre de composites et conséquence pour la co-consolidation thermoplastique/thermodurcissable

Mots clés : Thermoplastique, thermodurcissable, co-consolidation, incertitude, traitement de composite

Résumé : Ce travail avait quatre objectifs principaux :

1. Les sources de variabilité les plus influentes dans le traitement des composites ont été déterminées par des analyses de sensibilité utilisant des modèles couplés de transfert de chaleur et de cinétique de durcissement. Les analyses ont montré que dans le cas aéronautique standard considéré, la température de durcissement a la plus grande influence et les effets cinétiques de durcissement limitant la diffusion deviennent très influents après la vitrification.

2. Pour démontrer l'effet qu'une source de variabilité de processus peut avoir, des mesures calorimétriques provenant de fours et d'autoclaves à l'échelle industrielle ont été utilisées comme entrées dans un modèle numérique. Il a été démontré qu'avec des coefficients de transfert thermique plus élevés dans les autoclaves, la variabilité spatiale des conditions thermiques avait moins d'influence. Cependant, cet effet a été contrebalancé par la plus grande variabilité des autoclaves, ce qui a permis une répétabilité comparable entre les deux types de récipients.

3. Des combinaisons de matériau d'outil, d'épaisseur d'outil et de coefficient de transfert thermique ont été explorées pour maximiser la rigidité de la pièce tout en conservant la réactivité de la surface de liaison pour le co-durcissement. Un outil épais à diffusion thermique pour la surface de liaison et un outil fin à faible diffusivité ailleurs, dans un environnement hors autoclave, ont été proposés.

4. L'effet du degré initial de durcissement sur le co-durcissement des thermoplastiques et des thermodurcissables a été étudié au niveau du stratifié. Un modèle de diffusion a été dérivé de mesures in situ de l'interdiffusion entre le polyétherimide et un système époxy modèle. Le modèle prédit que toute augmentation du degré initial de guérison réduirait l'interaction à travers l'interface. Ceci a été étayé par les résultats des tests mécaniques et les mesures d'épaisseur d'interphase. Les résultats ont indiqué que contrairement au co-durcissement conventionnel, les avantages en matière d'efficacité de fabrication résultant de l'augmentation du degré initial de durcissement ne peuvent pas justifier la diminution significative de la force d'adhérence.

Title : Uncertainty in Composite Manufacturing and Consequences for Thermoplastic-Thermoset Co-curing

Keywords : Thermoplastic, thermoset, co-curing, uncertainty, composite processing

Abstract: This work had four primary objectives:

1. The most influential sources of variability in composite processing were determined by sensitivity analyses using coupled heat transfer and cure kinetics models. The analyses showed, that in the standard aerospace case considered, cure temperature has the most influence and diffusion limiting cure kinetic effects become highly influential post vitrification.

2. To demonstrate the effect a source of process variability can have, calorimeter measurements from industrial scale ovens and autoclaves were used as inputs to a numerical model. It was shown that with the higher heat transfer coefficients in the autoclaves, spatial variability in thermal conditions was less influential. However, this effect was counteracted by the greater variability in the autoclaves, resulting in comparable repeatability between the two vessel types.

3. Combinations of tool material, tool thickness and heat transfer coefficient were explored for maximising part stiffness while retaining bonding surface reactivity for co-curing. A thick, thermally diffusive tool for the bonding surface and a thin, low diffusivity tool elsewhere, in an out-of-autoclave environment was proposed.

4. The effect of initial degree of cure on thermoplastic-thermoset co-curing was investigated at the laminate level. A diffusion model was derived from in-situ measurements of interdiffusion between polyetherimide and a model epoxy system. The model predicted that any increase in initial degree of cure decreased the interaction across the interface. This was supported by mechanical test results and interphase thickness measurements. The results indicated that unlike conventional co-curing, the manufacturing efficiency benefits from increasing the initial degree of cure cannot justify the significant decrease in bond strength.