

Transition ductile-fragile dans la rupture de peaux en PVC plastifié.

C. Bertaux¹, P. Marly², N. Amouroux², L. Laiarinandrasana¹.

¹MINES Paristech, PSL Research University, Centre des Matériaux, CNRS UMR 7633, BP 87, 91003 Evry, France

²NAKAN– 1bis rue Maurice Hollande, 51100 Reims, France

1. Introduction :

NAKAN fabrique des poudres de polychlorure de vinyle (PVC) plastifié destinées à la fabrication des peaux de tableaux de bord par la technique du *slush molding*. Après transformation des poudres, les peaux obtenues sont « moussées » avec de la mousse polyuréthane (PU) sur un support en polypropylène (PP) fibré appelé *Carrier*. Pour faciliter l'ouverture de la trappe à airbag, l'ensemble *Carrier/Mousse/Peau* est fragilisé par une entaille. Cet ensemble mécanique présente des propriétés dépendantes du temps et de la température. Les tests de spécification pour le déploiement de l'airbag préconisent des températures entre -35°C et 85°C, pour des vitesses caractéristiques de déploiement valant de 25m/s à 50m/s. Dans ces conditions, la rupture de la peau peut varier d'une grande fragilité à une grande ductilité. L'objectif est de maîtriser le couple température/vitesse permettant d'éviter la rupture fragile mais n'engendrant pas une telle ductilité qui pourrait aboutir à une non ouverture de la trappe. Ainsi, mettre au point un mode opératoire permettant de contrôler le mode de ruptures des matériaux permettra de choisir et développer les meilleures formulations pour l'application donnée.

2. Méthodes :

L'étude de la température de transition entre la rupture fragile et ductile (en anglais Ductile to Brittle Transition Temperature = DBTT) pour tout type de matériaux s'effectue avec les techniques conventionnelles de tests Charpy et Izod [1]. Mais la finesse des peaux ne permettent pas d'effectuer de telles expérimentations.

2.1. Matériaux et éprouvettes :

Afin de réduire le risque de fragmentation lors de la rupture du tableau de bord, la peau doit être la première à céder [2]. On commencera donc par étudier cette couche du système. Pour cette étude nous disposerons de quatre matériaux. Nous aurons trois nuances de PVC fournies par NAKAN et une peau en Thermoplastic Polyurethane (TPU) pour comparer. Les échantillons sont préparés sous forme de plaques de 90 mm x 90 mm x 1,1mm. Une partie de ces plaques est entaillée par un robot, avec un rapport de profondeur de $a/t = 0,5$ (a étant la profondeur de la fissure et t l'épaisseur de la peau), le même ratio que dans la structure réelle (tableau de bord).

2.2. Expérimentations et observations :

Une première série de tests d'impact a d'abord été effectuée sur de la peau non entaillée selon la norme ISO 6603 [3]. La DBTT a été ainsi étudiée pour différentes vitesses d'impact (de 2m/s à 10m/s, vitesses limites de l'instrument) et températures (de -20°C à 25°C), en utilisant l'énergie à la force maximale et l'aspect macroscopique de la surface de rupture.

Il a ensuite été proposé des essais avec le même dispositif mais sur les plaques entaillées, plus proche de la structure réelle et se rapprochant des essais Charpy ou Izod. Les observations des surfaces de rupture sont réalisées cette fois-ci avec le microscope optique (aspect macroscopique) et le MEB (aspect microscopique). Ce dernier permet d'évaluer le taux de fragilité qui est défini par le pourcentage de surface de rupture fragile par rapport à la surface totale de la rupture [1]. La DBTT est ensuite déterminée selon trois paramètres :

i) l'énergie à la force maximale appelée énergie à l'amorçage ; ii) le rapport entre l'énergie d'amorçage (ou l'énergie totale) et l'énergie de propagation de la fissure ; iii) le taux de fragilité.

2.3. Simulation numérique :

Dans le but de prédire ce qui se passe sur le tableau de bord ou sur un démonstrateur (une structure plus réduite), l'utilisation d'un code de calcul par éléments finis est envisagée. Pour cela, tous les essais sont simulés sur le code Zset [4]. L'enjeu étant de bien analyser les contraintes et déformations locales lors de la propagation de fissure, on utilise des éléments briques (3D) linéaires, formulés en grandes transformations. Le contact entre l'impacteur et la plaque est également pris en compte.

3. Résultats et discussions :

3.1. Eprouvettes sans entaille :

La norme préconise l'étude de E_m et E_p pour déterminer la DBTT, E_m et E_p étant respectivement les énergies à la force maximale et à la rupture. On mettra en évidence l'évolution du rapport $E_p/(E_p-E_m)$ en fonction de la température pour chaque vitesse d'impact, afin d'observer la transition, ainsi que le palier ductile.

3.2. Eprouvettes entaillées :

Pour les éprouvettes entaillées, on utilise les concepts de la mécanique de la rupture reliant la ténacité à l'énergie à l'amorçage. Elle est obtenue expérimentalement à partir de l'aire sous la courbe Force-ouverture d'entaille, jusqu'à F_{max} . Pour chaque essai, la valeur de la ténacité sera vérifiée par le calcul par éléments finis en effectuant le calcul de l'intégrale J au moment de l'amorçage. La DBTT sera alors déterminée en identifiant le début du palier ductile.

4. Conclusions et perspectives :

En rassemblant tous les essais à différentes vitesses et températures, on peut définir les caractéristiques pour chaque type d'échantillon. Pour les éprouvettes sans entaille, on aura un large intervalle de DBTT, avec un faciès macroscopique en tout ou rien. Pour les éprouvettes entaillées, la mesure de la ténacité et l'observation microscopique des faciès de rupture (évolution de la cristallinité) permettent une détermination plus précise de l'intervalle de la transition.

Pour la suite du projet, des essais d'impact à plus haute vitesse sont prévus. Grâce à la machine de Traction Grande Vitesse du Centre des Matériaux, on a pu réaliser des tests à 25m/s, afin de compléter notre base d'essais expérimentaux.

La simulation numérique des essais expérimentaux, puis de la structure réelle sera ensuite mise en place, afin de proposer l'approche locale de la rupture utilisant les champs de contrainte/déformation locaux.

Références :

- [1] - L. Corte, « Renforcement des polymères semi-cristallins », Thèse de doctorat de l'ESPCI ParisTech, 2006.
- [2] - K. R. Cox et R. E. Robertson, « Controlling Failure of Polymer Skin/Foam Bilaminate Sheets », SAE International, Warrendale, PA, SAE Technical Paper 2007-01-1216, avr. 2007.
- [3] - « ISO 6603-2:2000 - Plastiques -- Détermination du comportement des plastiques rigides perforés sous l'effet d'un choc -- Partie 2: Essais de choc instrumentés ».
- [4] - J. Besson et R. Foerch, « Large scale object-oriented finite element code design », *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, vol. 142, n° 1, p. 165-187, mars 1997.