

Mines ParisTech 1ère année, Mécanique des Matériaux Solides, Mai 2016

Comportement hyperélastique d'enveloppe de prothèses mammaires

1. Introduction

Les prothèses mammaires modernes sont constituées d'une enveloppe et d'un produit de remplissage, qui varie selon les fabricants. Il existe des prothèses remplies de sérum physiologique ou de gel de silicone.



Fig. 1 : Prothèse mammaire constituée d'une enveloppe et d'un gel en élastomères de silicone

Ce mini-projet se limite à l'étude du comportement de l'enveloppe. Lisse ou texturée, cette dernière est généralement constituée de silicone souple, et doit :

- assurer l'étanchéité de la prothèse afin d'isoler le contenu vis-à-vis des organes adjacents ;

- absorber l'énergie due aux différentes sollicitations mécaniques ;
- résister à d'éventuels traumatismes accidentels.

Les enveloppes doivent être souples et biocompatibles. Elles sont généralement fabriquées en structure sandwich par applications successives de plusieurs couches d'élastomères de silicone sur un moule, chacune des couches pouvant avoir une composition différente selon son rôle (barrière, protection mécanique, etc.). L'utilisation d'élastomère de silicone pour la fabrication de l'enveloppe lui confère un comportement élastique avec une capacité de déformation importante.

Matériel et logiciels

Le mini-projet repose principalement sur la réalisation d'essais de traction sur des films minces (*Fig. 2*) afin d'étudier leur comportement en traction.



Fig. 2 : Essai d'étirage d'un film

Les différents échantillons étudiés au cours de ce mini-projet seront prélevés dans une feuille d'élastomère de silicone coulée en une seule couche et texturée avec du sucre.

Un marquage régulier réalisé à la surface de l'éprouvette permettra de vérifier si la déformation du film au cours de l'essai est homogène le long de l'éprouvette et d'effectuer une analyse locale des déformations. Des prises de vues régulières à l'aide d'un dispositif adapté permettront un post-traitement des informations.

On veillera particulièrement à ce que le type de mors utilisé et la méthode de fixation des films sur ces derniers n'engendrent pas d'endommagement ou de localisation de la déformation des films près des mors.

2. Programme détaillé

2.1. Essais de traction sur films

Les essais seront réalisés à température ambiante. La consigne donnée à la machine de traction devra permettre de travailler à vitesse de traverse constante. On pourra tester plusieurs vitesses différentes afin d'étudier l'influence de ce paramètre sur le comportement du matériau. Réaliser tout d'abord un essai jusqu'à rupture, puis sur une seconde éprouvette, réaliser un essai avec retour à la position initiale.

Q1 : Décrire brièvement par des schémas le montage de l'essai, la nature et position des capteurs, etc.

2.1.1 Analyse et discussion des résultats expérimentaux

Q2 : Tracer en premier lieu l'évolution de la force en fonction du déplacement de la traverse et du temps. On vérifiera que la vitesse de traverse est cohérente avec la consigne imposée. Analyser les différentes courbes obtenues, en particulier leur évolution en fonction des différentes vitesses de sollicitation imposées. Qu'en déduisez-vous ?

Q3 : Etudier l'évolution de la forme de l'éprouvette et du marquage au cours de l'essai de traction. Que peut-on en déduire en terme d'homogénéité de déformation ?

Q4 : Que déduisez-vous de cet essai en terme de comportement du matériau ?

2.1.2 Traitement analytique des résultats

Analyse globale des échantillons

Q5 : A partir des courbes force – déplacement expérimentales, remonter à l'évolution de la contrainte nominale en fonction de la déformation nominale, puis de la contrainte vraie en fonction de la déformation vraie dans le cas de grandes déformations, en se référant tout d'abord à la géométrie initiale de l'éprouvette puis à l'évolution de celle-ci au cours du temps. Tracer les différentes courbes et discuter les résultats.

2.2. Loi de comportement

On appelle loi de comportement une relation décrivant la dépendance de la contrainte à la déformation et à la vitesse de déformation (généralement à une température donnée). Les paramètres des lois de comportement sont généralement identifiés à l'aide d'essais de laboratoire tels que celui étudié

ici. Une fois identifiés, ces paramètres peuvent être utilisés dans des codes de calcul pour modéliser la déformation des matériaux étudiés pour des géométries industrielles complexes et des trajets de chargement variables.

Les lois de comportement hyperélastiques s'expriment généralement sous la forme d'une densité d'énergie de déformation W . On citera parmi les plus connues le modèle néo-Hookéen ou encore celui de Mooney-Rivlin, couramment employé pour modéliser le comportement des élastomères.

2.2.1 Expression analytique de la loi de comportement dans le cas d'un essai de traction uniaxiale

Q6 : Exprimer la loi de comportement d'un matériau hyperélastique isotrope incompressible sous la forme d'une relation entre la composante du tenseur des contraintes dans la direction principale de traction et le taux d'élongation suivant cette même direction :

- Dans le cas général (énergie de déformation quelconque)
- Pour différents modèles rhéologiques (néo-Hookéen, Mooney-Rivlin ...)

Justifier les différentes hypothèses posées.

2.2.2 Identification des paramètres des lois de comportement

Analyses globale et locale des échantillons

Q7 : En se basant sur les mesures globales puis locales (par analyse des images enregistrées lors des essais de traction), tracer l'évolution de la contrainte expérimentale en fonction du taux d'élongation.

Q8 : Identifier les différents paramètres des lois de comportement en comparant les courbes expérimentales et analytiques.

Pour l'identification des paramètres rhéologiques, différentes méthodes sont envisageables (méthode graphique, numérique). Différents solveurs sont notamment disponibles. Celui intégré au logiciel Microsoft Excel® répond parfaitement au cahier des charges.

Pour l'analyse d'images, on pourra recourir à un logiciel *open source* tel que ImageJ® (<http://rsb.info.nih.gov/ij/>).

2.3. Essais mécaniques complémentaires

Des essais de traction cycliques, avec des taux d'élongation croissants pourront être réalisés. Il s'agira d'observer le comportement du matériau soumis à ce type de chargement.

Q9 : Observer et discuter les courbes brutes obtenues. Quel phénomène est observé ?

* * * * *