

Effet des charges renforçantes sur le mode de fissuration des caoutchoucs SBR

S. Herib, H. Satha, D. Frihi

Laboratoire d'Analyses Industrielles & Génie des Matériaux (LAIGM) Université 8 Mai 45, Guelma

Résumé

L'objectif principal de ce travail est l'étude expérimentale de l'influence de l'effet Mullins sur le comportement à la rupture des élastomères chargés de noir de carbone. Le mode de propagation de fissure a été étudié sur des éprouvettes entaillées en fonction du taux, et de la vitesse de traction.

Mots clés: Elastomère, SBR, noir de carbone, déviation, rupture, effet Mullins

I Introduction

Les caoutchoucs SBR sont employés dans un grand nombre d'applications industrielles où ils sont soumis aux différents types de chargements duquel résulte l'endommagement du matériau (pneumatique, étanchéité, ...). D'une manière générale, l'endommagement de ces matériaux est le résultat des mécanismes de rupture macroscopiques ou localisés. Une telle rupture dépend évidemment de la résistance du matériau à la propagation de fissures. Les élastomères chargés, dont les SBR font partie, ont une particularité dans leur comportement sous traction qui est la modification de la courbe de traction au moins lors des quatre premiers cycles de tractions. Ce phénomène est connu sous le nom de l'effet Mullins qui se traduit par une perte additionnelle d'énergie utilisée pour détruire la structure de la charge lorsque le matériau est soumis à une force extérieure.

L'objectif principal de ce travail est donc l'étude expérimentale de l'influence de l'effet Mullins [2], [3] sur le comportement à la rupture des élastomères chargés. Le mode de propagation de fissure a été étudié sur des éprouvettes entaillées en traction monotone en fonction du taux, et de la vitesse de traction.

II Matériaux et technique expérimentale

Tableau I: Composition des mélanges SBR

| Matrice | Charge | hr | Nom |
|------------|-----------|-----|-------|
| SBR 5525-0 | | 100 | M |
| SBR 5525-0 | Noir N234 | 19 | MCB19 |
| SBR 5525-0 | Noir N234 | 45 | MCB45 |

La technique expérimentale utilisée pour caractériser le comportement en fissuration des

matériaux est la traction monotone à température ambiante. Les essais ont été réalisés sur une machine de traction MTS équipée d'une caméra qui a servi pour enregistrer des images de la zone de propagation de fissure au cours de l'essai à intervalle de temps régulier.

Nous avons d'abord réalisé des tests de suivi de fissuration sur des éprouvettes haltères qui contiennent une pré-entaille de 2mm de longueur débouchante à mi-hauteur de l'échantillon. On réalise un essai de traction uni-axiale et on enregistre les forces et les déplacements de l'échantillon jusqu'à la rupture. Du début jusqu'à la fin de l'essai on stocke des photos de l'éprouvette à intervalle de temps choisi selon la vitesse d'essai. Le paramètre d'étude est la vitesse de traction.

Vu l'influence considérable que peut avoir l'effet Mullins sur le mode de propagation des fissures dans les élastomères chargés, nous avons pensé à effectuer une démullinisation des matériaux et voir si cela peut avoir une influence sur les modes de propagation de fissure déjà observés. Les échantillons non entaillés sont soumis à une histoire de déformation uni-axiale quasi-statique. Le matériau vierge de toute déformation est d'abord étiré jusqu'à une certaine déformation dont la valeur est choisie de manière que le début de la propagation de fissure dans le même échantillon entaillé ne peut pas avoir lieu. Chaque essai consiste à effectuer un chargement cyclique (5 cycles) sur un échantillon non entaillé puis on introduit l'entaille dans l'échantillon et on réalise l'essai de traction jusqu'à la rupture.

III Résultats et discussions

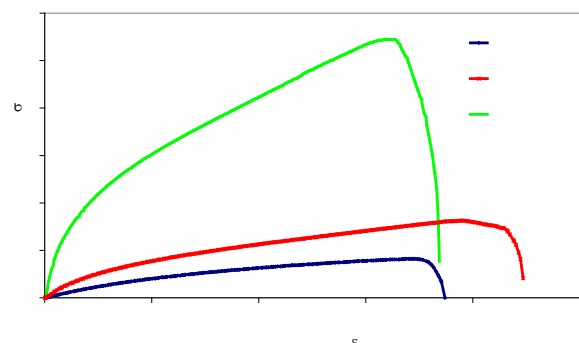


Fig.1 Courbes contraintes- déformations des SBR entaillés non démullinisés

Les images enregistrées au cours des essais de suivi de fissuration montrent que les SBR non chargés (M) ont montré une propagation latérale simple indépendamment de la vitesse d'essai, alors que le mode de fissuration des matériaux chargés était très influencé par le taux de charge et de la vitesse de déformation. Les SBR chargés peuvent présenter des déviations importantes de la fissure quand le taux de charge est suffisamment élevé (MCB45). Cette déviation est encore plus accentuée quand la vitesse de déformation est importante.

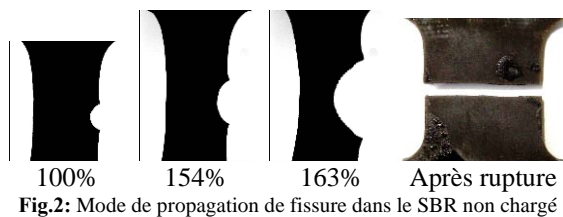


Fig.2: Mode de propagation de fissure dans le SBR non chargé

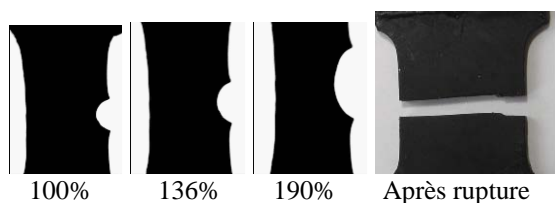


Fig.3 : Mode de propagation de fissure dans le SBR chargé de 19 Phr de noir de carbone (MCB19)

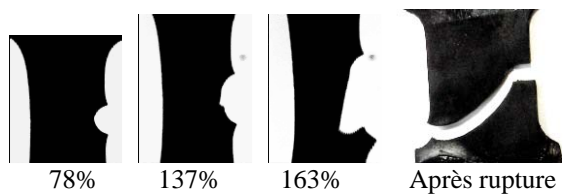


Fig.4 : Mode de propagation de fissure dans le SBR chargé de 45 Phr de noir de carbone (MCB45)

Les élastomères chargés, dont les SBR font partie, ont une particularité dans leur comportement sous traction qui est la modification de la courbe de traction au moins lors des quatre premiers cycles de tractions. Lors de la première traction on obtient la plus grande des courbes. La seconde traction montre une force nettement plus réduite. A partir de la 4^{ème} traction les courbes sont superposées les unes aux autres. Ce phénomène est connu sous le nom de l'effet Mullins qui se traduit par une perte additionnelle d'énergie utilisée pour détruire la structure de la charge lorsque le matériau est soumis à une force extérieure.

L'effet Mullins peut donc avoir une influence considérable sur le mode de propagation des fissures dans les élastomères chargés. Pour cela nous avons pensé à effectuer une démullinisation des matériaux et voir si cela peut avoir une influence sur les modes de propagation de fissure déjà observés.

Les essais réalisés sur les SBR non ou faiblement chargés montrent peu de dissipation

cyclique. La faible dissipation peut être attribuée seulement à la viscoélasticité due à l'écoulement des chaînes. La stabilisation est atteinte dès le deuxième cycle.

La comparaison des courbes de traction récupérées pour un SBR chargé entaillé directement et tiré jusqu'à la rupture et un même matériau qui a été démullinisé avant l'introduction de l'entaille, montre une diminution considérable dans la résistance à la rupture du matériau. Ce changement dans le comportement du matériau est dû certainement au changement qu'on a déjà effectué au niveau de la microstructure du matériau d'où il devient moins résistant.

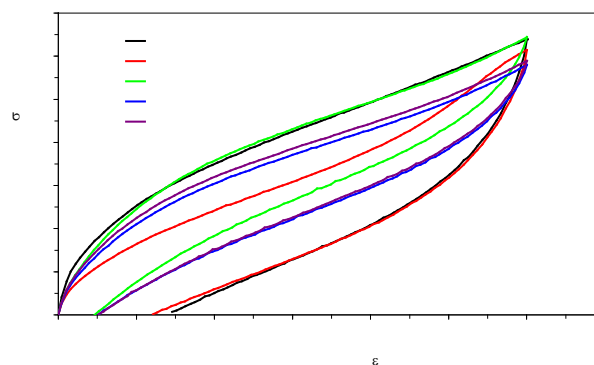


Fig.5: Courbe de chargement cyclique d'un SBR chargé de 45 Phr de noir de carbone (MCB45)

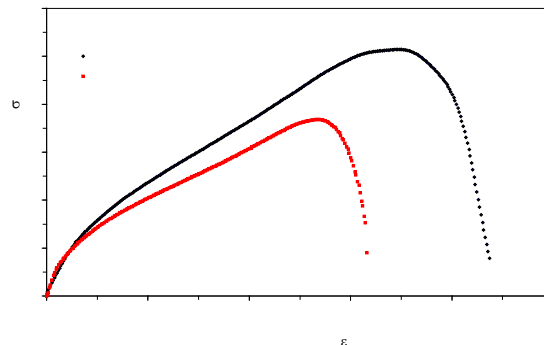
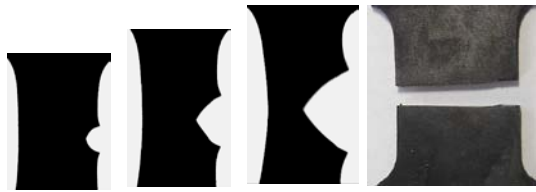


Fig.6: Comparaison des courbes contrainte-déformation du MCB45 entaillé avec et sans démullinisation

D'autre part, les images enregistrées au cours de l'essai de traction réalisé sur les échantillons entaillés après leurs chargements cycliques, montrent bien un grand changement dans leurs comportements à la rupture ainsi que dans le mode de propagation de fissures. La fissure qui s'est propagée d'une manière nettement déviée, elle prend un chemin droit dans ce dernier cas. Cela confirme que la présence des charges dans le matériau modifie considérablement son comportement à la rupture à cause des interactions charges-matrice ainsi que les interactions charges-charges. Le matériau chargé devient alors encore plus résistant à la rupture et la fissure prend un chemin dévié. Mais, si la microstructure du

matériau se trouve modifiée par un processus d'endommagement (décohésion, cavitation, rupture des agglomérats,...), le matériau devient moins résistant et son comportement à la rupture change considérablement.



80% 125% 143% Après rupture
 Fig.7: Mode de propagation de fissure dans le MCB45 après sa démullinisation

I CONCLUSION

Les résultats obtenus dans le cas des essais de fissuration sur des éprouvettes non démullinisées montrent que les SBR non chargés développent une propagation latérale simple indépendamment de la vitesse d'essai, alors que le mode de fissuration des matériaux chargés était très influencé par le taux de charge, et de la vitesse de déformation. Les SBR chargés peuvent présenter des déviations importantes de la fissure quand le taux de charge est suffisamment élevé (45Phr) cette déviation est encore plus accentuée quand la vitesse de déformation est importante. On propose que les charges augmentent la résistance à la rupture du SBR chargé et permet que la fissure prenne un chemin dévié si le taux de charge est suffisamment élevé.

Nous avons aussi réalisé des essais de suivi de fissuration sur des éprouvettes entaillées des SBR chargés après avoir effectué une démullinisation de ces dernières avant introduction de l'entaille. Les images enregistrées ont montré un grand changement dans le comportement à la rupture ainsi que dans le mode d'amorçage et de propagation de fissure de ces matériaux.

La résistance à la rupture des matériaux chargés a considérablement diminuée et la fissure prend un chemin droit ou peu dévié. Cela confirme que la présence des charges dans le matériau modifie considérablement son comportement à la rupture à cause des interactions charges- matrice ainsi que les interactions charges- charges. Le matériau devient alors encore plus résistant et la fissure prend un chemin dévié. Mais, si la microstructure du matériau se trouve modifiée par un processus d'endommagement (décohésion, cavitation, rupture des agglomérats,...), le matériau devient moins résistant et son comportement peut être même proche au comportement d'un matériau pure.

R f r e n c e s b i b l i o g r a p h i e s

- [1] G. R. HAMED, B. H. PARK, Rubber Chemistry and Technology, 72, 946 (1999).
- [2] L. MULLINS, J. Rubber Res. 16, 275, (1947).
- [3] L. MULLINS AND N. R. TOBIN, Journal of Polymer Science, 9, 2993 (1965).
- [4] F. BUECHE, Journal of Polymer Science, 4, 107, (1960).