

# Etude de la tenue en fatigue des tôles minces ferromagnétiques

HELMi DEHMANI <sup>a,b</sup>, CHARLES BRUGGER <sup>b</sup>, CHARLES MAREAU <sup>c</sup>, THIERRY PALIN-LUC <sup>b</sup>

*a. Leroy Somer, Boulevard Marcellin Leroy 16915 Angoulême, France*

*b. Arts et Métiers ParisTech, I2M, CNRS, Université Bordeaux 1, Esplanade des Arts et Métiers - 33405 Talence cedex – France*

*c. Arts et Métiers ParisTech, LAMPA, 2 boulevard du Ronceray - BP 93525, 49035 Angers cedex 01 - France*

**Mots clefs :** Tôle mince, tenue en fatigue, comportement mécanique cyclique, amorçage de fissure, bord de découpe

## Résumé étendu

L'amélioration du rendement des moteurs électriques impose l'utilisation de nouvelles nuances de tôles ferromagnétiques d'épaisseur inférieure au demi-millimètre. Les pertes magnétiques dans ces alliages Fer-Silicium sont diminuées, notamment, par une augmentation de la taille de grain, une augmentation du pourcentage de silicium et une diminution de l'épaisseur. Les pertes peuvent également être diminuées par une reconception des pièces qui constituent les rotors. Cela passe notamment par une réduction importante de régions du rotor qui déterminent sa résistance mécanique, et qui sont par conséquent plus fortement sollicitées. Afin de garantir la qualité des moteurs qu'elle produit, la société Leroy Somer souhaite prévoir au mieux la durée de vie des rotors. Pour cela il est donc nécessaire d'étudier la résistance en fatigue à grand nombre de cycles de ces tôles découpées par poinçonnage.

Pour cela, nous prévoyons d'organiser le travail autour des points suivants : (i) identifier le comportement mécanique cyclique du matériau, sa dépendance à la température (le rotor travaillant à 180°C environ en régime permanent) et à la vitesse de déformation (les pièces étant soumises des vitesses de sollicitation assez diverses selon les régimes de rotation), (ii) la résistance à l'amorçage des fissures de fatigue des tôles, ainsi que (iii) l'effet du bord de découpe sur l'amorçage des fissures de fatigue.

Afin de déterminer le modèle de comportement adéquat, il sera nécessaire dans un premier temps de quantifier l'anisotropie mécanique du matériau. Ceci sera réalisé à travers des essais de traction monotone à différentes vitesses de déformation sur des éprouvettes prélevées dans les directions 0°, 45° et 90° par rapport au sens de laminage de la tôle. D'autre part, des essais d'érouissage cyclique permettront d'identifier le comportement mécanique cyclique de ce matériau. Étant donné la faible épaisseur de la tôle, il est difficile de faire ce type d'essais en utilisant des rapports de charges négatifs. En effet, BISWAS K. et al [1] ont présenté les difficultés liées aux essais cycliques sur les éprouvettes très minces. En ce qui concerne le comportement cyclique de cet alliage, SESTAK et al [2] ont montré qu'il dépend du pourcentage de silicium. En effet, l'érouissage cyclique est d'autant plus important que la teneur en silicium est élevée. D'autre part, les auteurs ont également étudié l'effet de la température : une augmentation de la température d'essai a un effet adoucissant sur le comportement de ce type de matériau. Par ailleurs, les essais quasi-statiques et cycliques seront réalisés à température ambiante et à 180°C pour deux objectifs, le premier est de déterminer le degré de dépendance du comportement de cet alliage à la température ; le deuxième est de se rapprocher de la température de fonctionnement des moteurs. A ce propos, SOMMER et al [3] ont travaillé sur du fer pur et sur des alliages fer – carbone. Ces matériaux ont des propriétés proches de celles du matériau étudié, les auteurs ont montré que l'adoucissement cyclique est dû à la formation de structures de dislocations au sein des bandes de glissements persistantes et que la déformation plastique est localisée au niveau de ces BGP, ceci pour une température de 77°C. De plus, l'auteur indique qu'il y a un vieillissement dynamique à des températures supérieures à 177°C. Il nous faudra donc quantifier ce vieillissement dynamique.

Pour déterminer la durée de vie en fatigue de ces tôles, des essais cycliques sur une machine à résonance (type Vibrophore) permettront de déterminer expérimentalement les courbes S-N du matériau. Ces dernières sont nécessaires pour le dimensionnement en fatigue de ces rotors. Des éprouvettes lisses et entaillées permettant d'atteindre des coefficients de concentrations de contraintes proches de ceux identifiés sur les pièces rotor seront utilisés pour ces essais.

Des analyses par microscopie optique in situ - dans le cas des essais de fatigue avec les éprouvettes entaillées – ou après essais (MEB) seront effectuées. On cherchera une évolution éventuelle de la microstructure au cours du cyclage (dans le cas des essais d'érouissage cyclique) et à identifier les principaux mécanismes d'endommagement à l'origine de l'apparition des fissures de fatigue sous des chargements de traction cyclique avec différentes contraintes moyennes.

Étant donné son rôle dans l'amorçage des fissures, une attention particulière sera portée au bord de découpe durant toutes les phases de l'étude. En effet, le procédé de découpe par poinçonnage modifie localement (sur le bord) le matériau et sa microstructure, ce qui introduit des contraintes résiduelles dans les pièces poinçonnées. Ceci est un élément important de l'étude puisque les contraintes résiduelles influencent la tenue en fatigue des métaux. Des analyses par diffraction des rayons X devront permettre d'estimer l'état de contraintes résiduelles sur le bord de découpe ainsi que son influence sur l'amorçage des fissures de fatigue. Néanmoins les forts gradients de microstructure et de contraintes engendrés par la découpe peuvent poser des difficultés expérimentales pour la détermination de ces contraintes.

Une fois que le comportement mécanique cyclique sera identifié et que les mécanismes d'amorçage de fissure en fatigue à grande durée de vie de ce matériau seront appréhendés, une démarche de dimensionnement en fatigue des pièces en tôle fabriquée par poinçonnage sera proposée en tenant compte des phénomènes physiques observés.

## References

- [1] BISWAS K.; ELSING L.; GÖRL E.; SCHULTE M. Problems and feasibilities of testing the cyclic behaviour of thin sheet steels, *Steel research*, 1993, vol. 64, no8-9, pp. 407-413
- [2] SESTAK B., NOVAK V., LIBOVICKY S. Cyclic deformation of single crystals of iron-silicon alloys oriented for signle slip *Phylosophical MagazineA* 1988 Vol 57 No 353-381
- [3] SOMMER C., MUGHRABI H. LOCHNER D. Influence of temperature and carbon content on the cyclic deformation and fatigue behaviour of  $\alpha$ -iron part I. Cyclic deformation and stress behaviour, *Acta mater.* Vol. 46, No. 5, pp. 1527-1536, 1998