

MODÉLISATION DU PRECHARGEMENT A CHAUD AVEC L'APPROCHE LOCALE DE LA RUPTURE

Renaud MASSON (EDF-R&D Département MTC)

Depuis les premiers travaux remontant à presque 40 ans, de nombreuses expériences concernant des aciers ferritiques similaires à ceux constituant nos cuves de réacteurs REP ont confirmé l'effet de « préchargement à chaud » ou WPS (« warm-prestressing ») : une résistance accrue à la rupture brutale (par clivage) à froid est systématiquement observée après le préchargement d'une structure à une température plus élevée (i.e. température du plateau ductile). Plus généralement, si on considère une structure soumise à des trajets de chargement tels que ceux représentés dans un diagramme température - tenacité (cf. figure), elle ne rompt pas si le facteur d'intensité des contraintes décroît ou reste constant lorsque la température en pointe du défaut diminue (Principe conservatif associé au WPS).

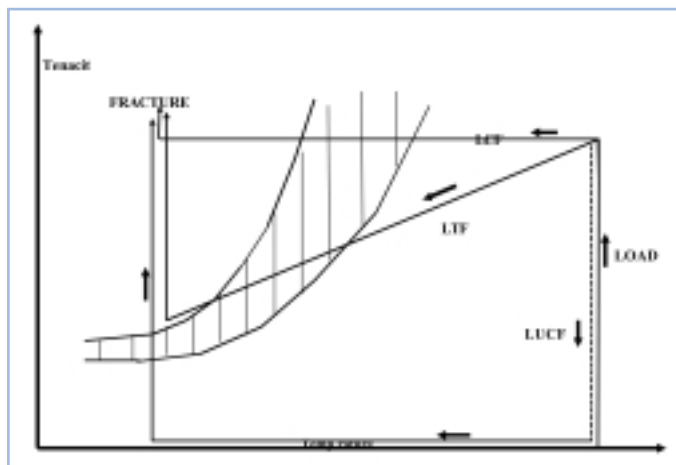
On comprend tout l'intérêt de la prise en compte de cet effet lors des analyses d'intégrité de la cuve soumise à un choc thermique pressurisé. L'interprétation dans un diagramme (température - tenacité) du chargement mécanique correspondant à de tels transitoires montre que, dans le cas d'un défaut sous revêtement, le choc thermique induit précisément un préchargement à chaud de l'acier de cuve. Dans de telles situations, la tenacité effective de la cuve est donc significativement augmentée.

Afin de dégager des marges dans de telles situations, il est nécessaire de traduire quantitativement l'effet bénéfique du WPS dans les modèles de mécanique de la rupture brutale.

A la demande des unités opérationnelles (DIS et DPN), des travaux de R&D sont donc menés dans ce but. Dans cette étude, nous avons adopté le modèle de Beremin (aussi appelé modèle de Weibull). Selon ce modèle, la rupture brutale résulte de la propagation instable de microfissures de clivage. Le critère de rupture retenu est un critère « local » (la contrainte de clivage), la dispersion des propriétés à rupture étant caractérisée à l'aide d'un paramètre supplémentaire (module de Weibull).

En l'état, l'application du modèle de Beremin au WPS se heurtait à deux difficultés. Tout d'abord, ce modèle est réputé trop conservatif dans la zone de transition fragile - ductile alors que la décharge a précisément lieu dans cette plage de température. En outre, ce modèle n'avait été proposé jusqu'ici que pour des trajets de chargement monotones. La première difficulté a été résolue pragmatiquement en faisant dépendre la contrainte de clivage de la température. La seconde difficulté a nécessité un travail d'analyse plus poussé conduisant à une nouvelle expression de la probabilité de rupture cumulée.

Ces développements ont été intégrés dans Code_Aster (modifications de la commande POST_ELEM, option WEIBULL). Par ailleurs, le recalage des paramètres du modèle de Beremin a nécessité, en coopération avec le projet Centenaire (Corrélation Résilience - Tenacité), la



réalisation d'une commande de recalage automatique. Des simulations ont alors été menées dans le cas d'éprouvettes CT de mécanique de la rupture afin de comparer les résultats obtenus avec une base expérimentale importante, fruit d'une collaboration avec le MPA (Stuttgart). Cette

comparaison montre que ce modèle de Beremin modifié reproduit correctement le principe conservatif associé au WPS, notamment pour des trajets de chargement représentatifs des situations réelles.

Ces résultats prometteurs devront être étayés à l'avenir, notamment en étudiant plus en détail le cas de fortes décharges ainsi qu'en considérant des structures et des chargements encore plus proches du problème industriel posé (projet européen SMILE).