

Lien entre microstructure et contrainte critique de clivage à -196°C des aciers 4140

F. Tioguem^{ab}, M. Mazière^a, M. Sennour^a, A. Galtier^b, A-F. Gourgues-Lorenzon^a

a. MINES ParisTech – PSL Research University – Centre des Matériaux – UMR CNRS 7633 – BP 87 – 91003 EVRY CEDEX, France.

b. Ascometal France Holding– Centre de Recherche CREAS – BP 70045–avenue de France, 57301 HAGONDANGE CEDEX, France.

Résumé

Une barre d'acier 4140 (40CrMo4) de diamètre 180mm a été austénitisée à 875°C-30 min puis trempée à l'eau. Elle a ensuite subi un revenu à 600°C pendant 3h pour un niveau de résistance (limite d'écoulement) 130ksi (1ksi → 6.89 MPa). Deux microstructures ont été considérées, aux positions 25 mm (130P) et 55 mm (130M) de la peau de la barre, correspondant à des vitesses de refroidissement et des fractions de bainite différentes. Des ébauches 130P et 130M ont également été retraitées pour varier l'état de précipitation : 1) Configuration 110ksi, revenus à 690°C pendant 3h et à 665°C pendant 3h respectivement pour obtenir les microstructures 110P et 110M, de même comportement élastoplastique. 2) Configuration 90ksi, revenu à 720°C pendant 4h pour obtenir les microstructures 90P et 90M.

Les microstructures de la position P sont globalement martensitiques avec 6% de bainite inférieure, tandis que celles de la position M sont un mélange de martensite en lattes et de 15% de bainite supérieure. Dans la martensite, les carbures sont dispersés aux joints de lattes ; des carbures sont également présents au sein des lattes pour les 130 et 110 ksi. Dans la bainite supérieure, les carbures sont alignés le long des joints de lattes. La quantification des carbures a été faite sur des répliques extractives. Dans la martensite, on note une augmentation de la taille des carbures (80nm → 95nm → 122nm) et de la distance intercarbures lorsqu'on va du 130ksi → 110ksi → 90ksi.

Le comportement mécanique à froid a été caractérisé en traction simple à -196°C. On observe une diminution du niveau de résistance lorsqu'on va du 130ksi → 110ksi → 90ksi. Cette diminution est accompagnée d'une augmentation de la striction. Le comportement à rupture a été étudié par des essais de traction à -196°C sur des éprouvettes axisymétriques entaillées (AE). L'étude fractographique des sites d'amorçage montre que les carbures sont l'entité microstructurale ayant déclenché le clivage pour les microstructures P. Des facettes de clivage de la bainite ont été observées à l'amorçage du clivage des microstructures M.

Une loi d'écrouissage de type Voce et une fonction de charge de type Hosford ont été utilisées pour l'identification du comportement macroscopique de chacune des 6 microstructures puis pour le calcul des éprouvettes AE. On note une bonne prédiction du comportement à rupture sur AE. Pour chacune des 6 microstructures, la contrainte critique de clivage a été déterminée comme étant la contrainte locale au lieu d'amorçage, tel qu'identifié sur le faciès de rupture des AE. Le modèle de Smith (approche de type Griffith à partir des carbures) a été adopté pour modéliser le lien microstructure - contrainte de clivage. Pour les microstructures essentiellement composées de martensite (P), on note une dépendance linéaire de la contrainte de clivage envers la racine carrée de la taille des carbures.

Mots clés : Aciers ; Martensite ; Bainite ; Carbures, Clivage, Rupture.