

Boucles de dislocation dans des alliages ferritiques et martensitiques irradiés par des ions krypton à 500 et 550°C

L. Boulanger*, Y. Serruys

Commissariat à l'Energie Atomique, DEN/DANS/DMN
Service de Recherches de Métallurgie Physiques
Centre d'Etudes de Saclay, F91191 Gif- sur Yvette, France

Résumé - Dans le cadre de l'étude des microstructures d'irradiation des alliages de fer, des irradiations ont été effectuées à 500 et 550°C dans un alliage ferritique modèle et un alliage martensitique industriel de même teneur en chrome. On montre que des boucles de dislocation prismatiques de diamètre 50-200 nm se forment avec un vecteur de Burgers de type $\langle 100 \rangle$, ceci de manière similaire, dans la structure ferritique et dans la structure martensitique. Une variation du couple flux-temps, à fluence (dose) constante ne modifie pas la population de boucles.

1. Introduction

Les défauts ponctuels (lacunes et interstitiels) produits par irradiation se condensent dans les plans denses en boucles prismatiques contenant une faute d'empilement : respectivement les plans $\{111\}$ et $\{110\}$ dans les métaux cfc et cc. Dans ces derniers, compte tenu de l'énergie de faute d'empilement, un cisaillement selon les directions $\langle 100 \rangle$ or $\langle 110 \rangle$ forme une boucle parfaite $a/2 \langle 111 \rangle$ ou $a \langle 100 \rangle$ selon les réactions proposées by Eyre and Bullough [1] :

$$\begin{aligned} a/2[110] + a/2[00,-1] &= a/2 [11, -1] \\ a/2 [110] + a/2 [-1,10] &= a [010] \end{aligned}$$

Ce comportement est connu dans le fer et l'objet de ce travail est d'observer l'effet de l'ajout de chrome. Ensuite on présente l'influence de la présence de la taille de grains et la présence d'interfaces en irradiant un alliage martensitique à structure en lamelles. Enfin, on regarde si la structure évolue avec le flux d'irradiation : à savoir, que l'on compare des irradiations pendant 0,3 et 6 heures à fluence constante (dommage).

2. Matériaux et conditions d'irradiation

L'alliage modèle (Fe-9% masse Cr) élaboré par lévitation magnétique à partir d'éléments de haute pureté est constituée de gros grains équiaxes (~50 μm). Un traitement thermique de recuit à 980°C et revenu à 760°C conduit à l'absence de défauts microstructuraux (dislocations).

L'alliage industriel est l'Eurofer97 (Fe-9%Cr-1%W-0.5%Mn-0.2%V-0.1%Ta-0.1%C) de structure martensitique constitué de lamelles d'épaisseur 1 à 3 μm contenant un réseau de dislocations.

Les irradiations par les ions Kr^{++} de 700 keV sont effectuées dans l'accélérateur Van de Graaff du SRMP, sur des lames minces à une fluence correspondant à un dommage de 3 déplacements par atome (dpa). Pour l'étude de l'effet de flux-temps, à dommage constant, un facteur 20 est appliqué (Table 1).

temps long : 6 h, faible flux		temps court : 0.3 h, fort flux	
taux de dommage (dpa/s)	flux (ions/cm ² .s)	taux de dommage (dpa/s)	flux (ions/cm ² .s)
$1.4 \cdot 10^{-4}$	$4.46 \cdot 10^{10}$	$2.8 \cdot 10^{-3}$	$8.9 \cdot 10^{11}$

Table 1 – Caractéristiques des irradiations

3. Alliage ferritique Fe-9%Cr

Après l'irradiation, la microstructure est homogène et composée majoritairement de boucles de dislocation contenues dans les plans $\{100\}$ et de vecteur de Burgers $\langle 100 \rangle$ (fig. 1). Quelques boucles sont contenues dans les plans proches de $\{112\}$.

Après inclinaison, les boucles présentent une forme originale: la ligne de dislocation qui les limite montre une forme dendritique en « pétales de fleurs » (fig. 2). Cette microstructure dendritique est visible en contraste résiduel quand la boucle est perpendiculaire au faisceau (fig. 3). Elle a été étudiée par Kiritani et al. [2] après irradiation de fer pur par les électrons.

* Auteur à contacter : loic.boulanger@cea.fr – Tel : 01 64 46 29 08

Quelques boucles (<10 %), plus petites et de forme carrée sont présentes entre les grandes boucles (fig. 2,3). Elles possèdent un vecteur de Burgers différent non déterminé et vraisemblablement de type <111>.

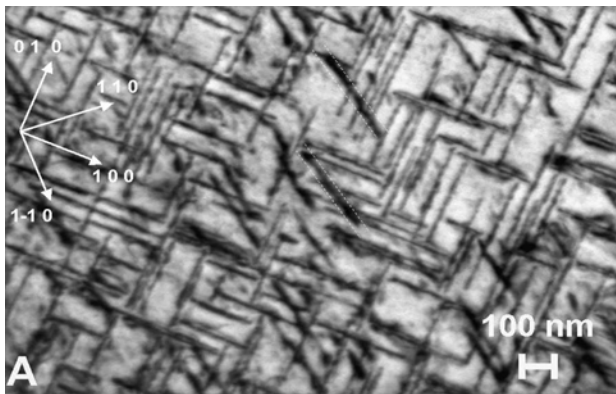


Fig. 1 : FeCr : plan 001, boucles sur chant

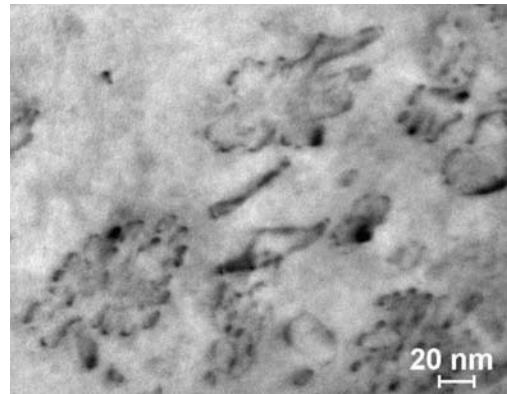


Fig. 2 : FeCr : structure dendritique

4. Alliage martensitique industriel

Dans l'alliage martensitique, le réseau de dislocations initial n'est pas modifié par l'irradiation. Les mêmes boucles dans les plans {100} sont présentes et cohabitent avec le réseau (fig. 4).

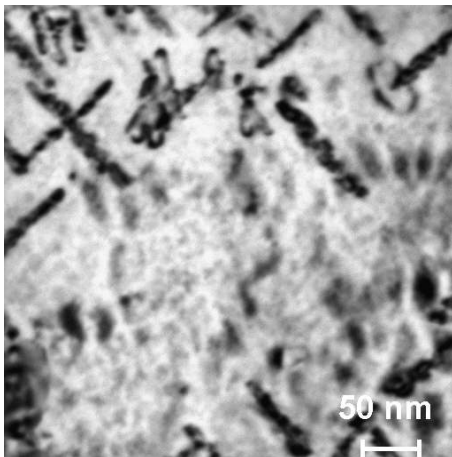


Fig. 3 : FeCr : boucles horizontales en contraste résiduel

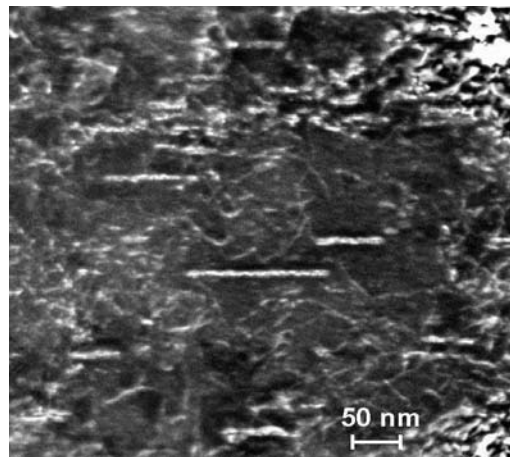


Fig. 4 : Eurofer97 : boucles en présence de dislocations

5. Conclusion

Les amas de défauts sont de grandes boucles (50-200 nm) prismatiques situées majoritairement dans les plans {100} (parfois # {112}), avec un vecteur de Burgers $b = \langle 100 \rangle$. Leur forme dendritique (en fleurs) traduit une croissance par montée en compétition avec la présence d'amas lacunaires.

On remarque l'absence de basculement par glissement en accord avec le caractère sessile. Ce comportement diffère de celui des alliages austénitiques dans lesquels les boucles, se défontent, interagissent, perdent leur individualité et glissent pour former un réseau.

Quelques boucles rectangulaires sont présentes. Elles sont vraisemblablement d'espèce $b = \langle 111 \rangle$ et peu fréquentes compte tenu de la mobilité de ce type de dislocations coin.

Ces observations s'appliquent à l'alliage modèle et l'alliage industriel montrant d'une part que la composition n'est pas déterminante et que les interfaces présentes dans l'alliage martensitique ne sont pas des puits de défauts ponctuels.

Le facteur 20 appliqué sur les flux d'irradiation n'a pas d'effet sur les distributions de boucles.

6. Références

- [1] B. L. Eyre and R. Bullough, *On the formation of interstitial loops in B.C.C. metals*, Phil. Mag. 12(1965)31
- [2] M. Kiritani, H. Takata, K. Moriyana and F. Eiichi Fujita, *Mobility of Lattice Vacancies in Iron*, Phil. Mag. A 40 (1979) 779