

Impact des imperfections de surface sur la tenue en fatigue des composants nucléaires

Paul Cussac^a, Catherine Gardin^a, Véronique Pelosin^a, Gilbert Hénaff^a, Stéphan Courtin^b, Laurent De Baglion^b

- a. Institut PPRIME, CNRS, Université de Poitiers, ISAE ENSMA, UPR 3346, Téléport 2, 1 Avenue Clément Ader, BP 40109, 86961 FUTUROSCOPE CHASSENEUIL Cedex, France
- b. Areva NP, 1 place Jean Millier 92400 COURBEVOIE

Résumé

L'objectif de cette étude est de prédire les cinétiques de fissuration et d'évaluer le conservatisme des méthodes de dimensionnement actuelles en présence d'imperfections surfaciques. L'acier inoxydable austénitique 304L sera principalement étudié sur la base d'essais expérimentaux en amplitude de déformation imposée sur éprouvette élémentaire.

Mots clés : fatigue oligocyclique ; imperfections surfaciques ; acier inoxydable austénitique 304L ; plasticité généralisée ; propagation

1. Introduction

La tenue en fatigue de pièces présentant des imperfections surfaciques a été largement étudiée pour différents types d'alliages métalliques. Cependant, ces études se sont essentiellement focalisées sur la fatigue à grand nombre de cycles. Or, les dommages pouvant survenir sur certains matériels nucléaires relèvent plus de la fatigue oligocyclique pour laquelle la plasticité est non confinée. L'étude qui sera menée au cours de cette thèse vise d'une part à déterminer dans quelle mesure les imperfections surfaciques peuvent impacter la tenue en fatigue dans le cadre d'une plasticité généralisée, et d'autre part à mieux comprendre les mécanismes de propagation à partir de telles imperfections. L'analyse des phases d'amorçage, de micro et macro propagation de fissure à partir des imperfections fera l'objet d'une attention particulière au cours de cette étude.

2. Imperfections surfaciques

2.1 Introduction des imperfections surfaciques

Préalablement à la réalisation des essais en fatigue oligocyclique, il est nécessaire de mettre en place une méthodologie d'introduction d'imperfections qui soient à la fois représentatives des imperfections observées sur site et reproductibles. Dans ce but, l'utilisation de l'électroérosion et d'un procédé mécanique est actuellement envisagée.

2.2 Caractérisation et géométrie des imperfections

La caractérisation géométrique des imperfections préalablement introduites est essentielle, d'une part pour vérifier que les critères imposés sont respectés (profondeur par exemple) et d'autre part afin de pouvoir évaluer l'influence éventuelle de la géométrie sur la fissuration.

La caractérisation des imperfections se fera essentiellement par microscopie optique. Les éléments géométriques à caractériser seront principalement la profondeur (p), l'angle d'ouverture (θ), l'angle en fond de défaut, la largeur (l) et la longueur (L) des imperfections. Le tableau 1 récapitule les profondeurs envisagées dans le cadre de ce travail.

Profondeur (p)
μm
100
200
300

Table 1. Profondeurs envisagées

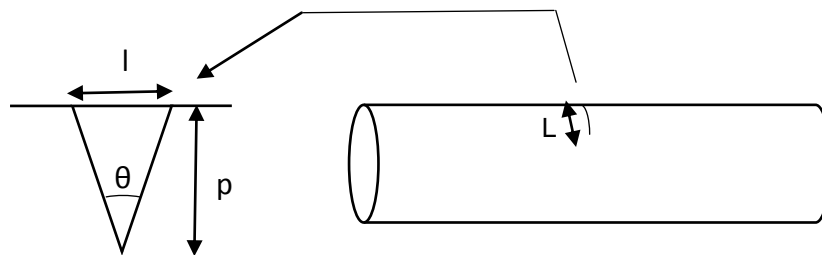


Figure 1. Vue en coupe schématique d'une imperfection sur une surface cylindrique

3. Étude expérimentale

Les campagnes d'essais envisagées visent à étudier le comportement en fatigue oligocyclique de l'acier 304L en présence d'imperfections surfaciques. Des essais sous air seront menés pour deux températures :

- A température ambiante
- A 300°C

Les essais seront réalisés en contrôle d'amplitude de déformation sur des éprouvettes cylindriques ayant une géométrie similaire à celles utilisées dans le cadre de thèses concernant la fatigue oligocyclique du 304L (L. de Baglion [1] et T. Poulain [2]) afin de permettre une comparaison des résultats. Plusieurs amplitudes de déformation seront étudiées. La vitesse de déformation sera fixée à $4.10^{-3}.s^{-1}$ et ne fera pas l'objet d'investigations particulières car son influence a déjà été largement étudiée dans le cadre des thèses citées précédemment.

Une attention particulière sera portée aux phases d'amorçage, de micro et de macro propagation de la fissure à partir de l'imperfection initiale. La micro propagation est définie ici comme l'évolution d'une fissure sur quelques grains seulement après amorçage. A cet effet, la réalisation d'essais interrompus, de marquages du front de fissure ainsi que de mesures d'inter stries sur faciès de

rupture sont envisagées pour enrichir la description de la durée de vie totale. Toutefois l'outil privilégié ici consiste en la mise en œuvre de la méthode de différence de potentiels pour le suivi de la propagation.

4. Résultats issus de la bibliographie

Des premiers résultats issus d'une étude réalisée sur un acier 304L dans le cadre d'un stage de fin d'études réalisé à l'institut Pprime (V. Renon [3]) montrent que la présence d'imperfections surfaciques peut avoir une influence notable sur la tenue en fatigue dans le domaine oligocyclique. La figure 2 recense les résultats obtenus pour différents types d'imperfections et différentes profondeurs.

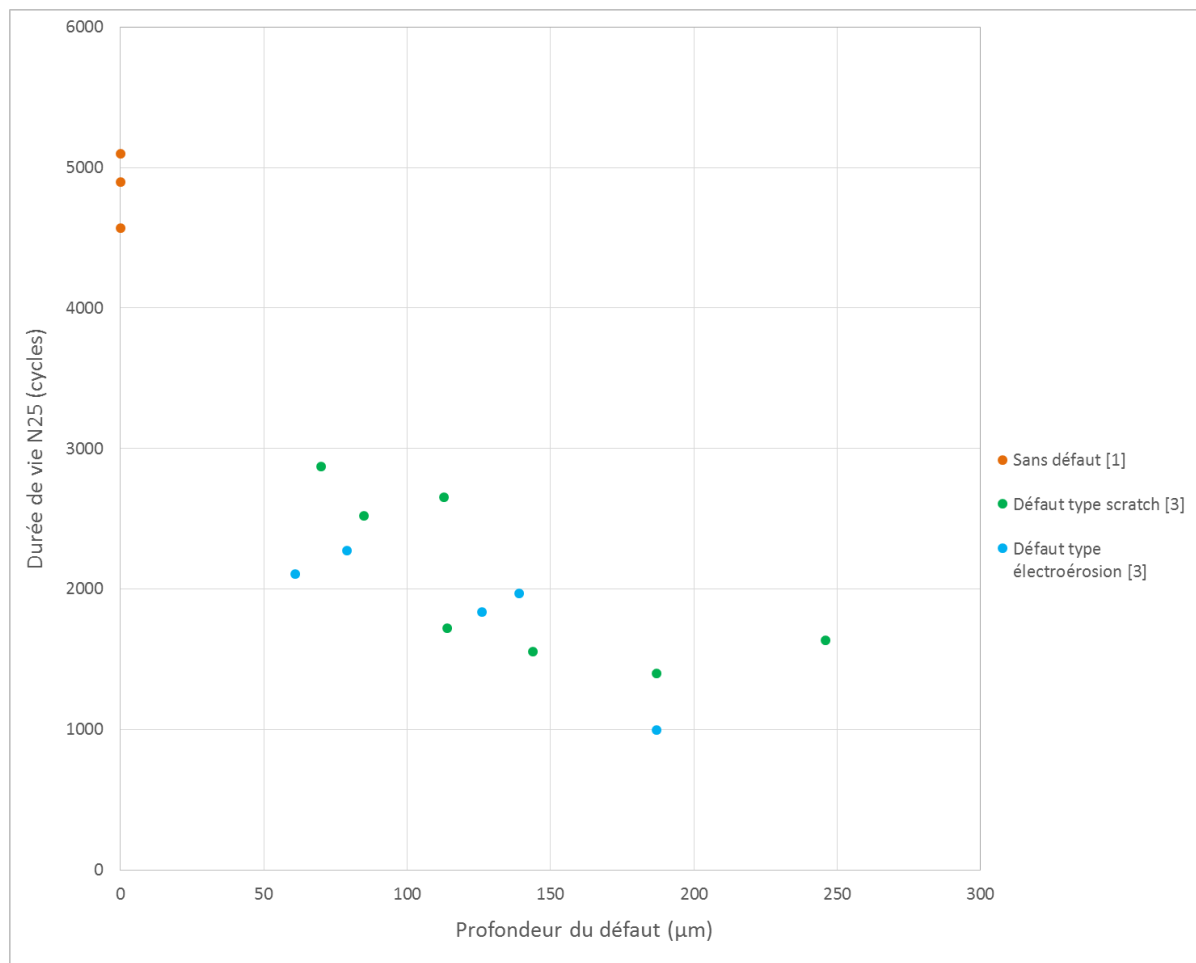


Figure 2. Durées de vie N25 (chute de 25% de la contrainte stabilisée) à $\Delta\epsilon_t/2 = 0,6\%$, sous air à température ambiante pour différents types et profondeurs d'imperfections [3]

La figure 3 représente un exemple de faciès de rupture d'une éprouvette comportant une imperfection de type scratch (profondeur 100 μm) sur lequel on peut observer un front de fissure semi-elliptique avec présence de « rivières » convergeant vers l'imperfection introduite initialement.

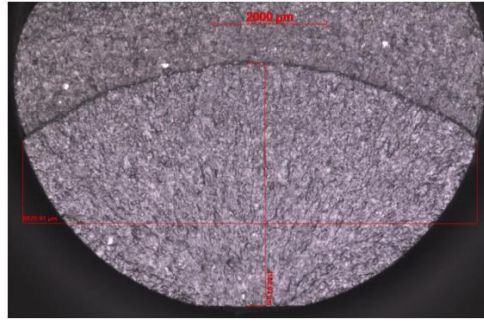


Figure 3. Illustration d'un faciès de rupture [3]

Remerciements

Je remercie ici l'entreprise AREVA NP ainsi que la région Nouvelle Aquitaine pour le cofinancement de cette thèse.

Références

- [1] L. de Baglion, Comportement et endommagement en fatigue oligocyclique d'un acier inoxydable austénitique 304L en fonction de l'environnement (vide, air, eau primaire REP) à 300°C, Thèse ENSMA, 2011
- [2] T. Poulain, Fatigue oligocyclique d'un acier inoxydable austénitique 304L : influence de l'état de surface et de signaux de chargement en milieu eau primaire REP, Thèse ENSMA, 2015
- [3] V. Renon, Propagation des fissures de fatigue à partir de défauts dans un champ complexe, Rapport de stage Master, ENSMA, 2015