

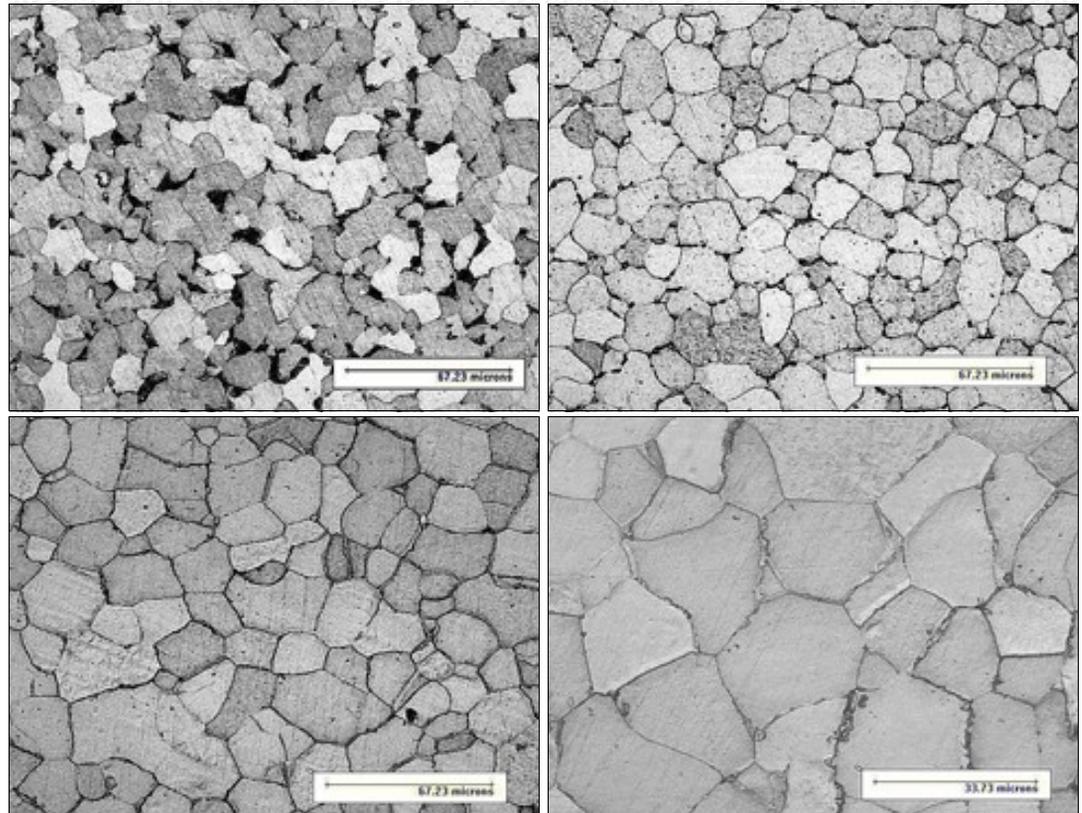
LA TECHNIQUE DES REPLIQUES DE PLUS EN PLUS APPLIQUEE – PARTIE 2

APPLICATIONS

La technique des répliques est de plus en plus connue et appliquée dans l'industrie en raison de son caractère non destructif et de sa grande rapidité. Un premier article, paru dans l'édition 151 de *Métallerie*, a expliqué la technique des répliques et l'a comparée à l'examen métallographique destructif. Ce deuxième article donne quelques exemples pour montrer où la prise de réplique est importante.

Par Vandevyver Andries, ing. (IBS-BIL)

Traduction: M.C. Ritzen (IBS-BIL)



En haut de g. à dr. Figure 1a: acier au carbone d'une cheminée à l'état initial: perlite lamellaire présente, x 500; **figure 1b:** même matériau à un autre endroit - la perlite lamellaire s'est transformée en perlite globulaire, x 500

En bas de g. à dr. Figure 1c: même matériau à un autre endroit - l'acier au carbone s'est dégradé en ferrite avec carbures à la limite des grains (et lamelles de cémentite), x 500;

figure 1d: idem à 1c - ferrite + cémentite à la limite des grains, x 1.000

DOMAINES D'APPLICATION

La technique des répliques s'étend sur deux domaines. Dans le premier domaine, on examine la microstructure du matériau afin d'avoir une preuve de la qualité livrée ou souhaitée ou pour constater une évolution dans le matériau. Le deuxième domaine de la technique des répliques concerne l'examen de dommages et de fissures.

MICROSTRUCTURE DU MATERIAU

Vieillessement

Pour l'acier au carbone, on peut déterminer dans quelle mesure le matériau a vieilli. On peut suivre un processus de vieillissement d'après l'apparition successive de perlite lamellaire (état le plus initial), perlite globulaire, carbures serrés ou isolés à la limite des grains, cémentite à la limite des grains (film mince à la limite des grains), la présence de ferrite uniquement (voir les figures 1a-1b-1c-1d).

Dans un cas extrême, une graphitisation peut se produire (transition du système métastable

vers le système stable). L'acier au carbone résistant est ainsi transformé en fonte fragile (voir les figures 2a-2b).

Propriété de fragilité ou de ténacité?

Sur base de la microstructure, on peut déterminer si un acier au carbone a été soumis à un traitement thermique et dans quelle mesure. La dimension des grains, calculée sur la microphoto suivant ASTM E112, est une valeur importante pour connaître la qualité de l'acier. Un grain fin présente des propriétés de ténacité.

Un gros grain présente des propriétés de fragilité (non souhaité). Avec un comportement fragile, une rupture soudaine peut se produire lors d'un impact, surtout à des températures froides. Ceci est très dangereux parce qu'on n'a pas le temps d'intervenir. La forme de la perlite (sous forme d'aiguilles) peut également indiquer des propriétés de fragilité.

Surchauffe

On veut parfois savoir dans quelle mesure la structure a été modifiée à la suite d'une surchauffe: par exemple dans une cheminée, dans

un échangeur de chaleur après mise à sec, dans un four, après un incendie (profils en I). On vérifie surtout s'il y a eu un grossissement de grains.

Après une surchauffe, on peut se demander dans quelle mesure le matériau est encore utilisable. Dans l'acier inoxydable, les carbures de titane (facilement reconnaissables sur la microstructure) disparaissent lors d'un échauffement supérieur à 1.100 °C ce qui a des conséquences néfastes en cas de corrosion ('knife line attack' possible).

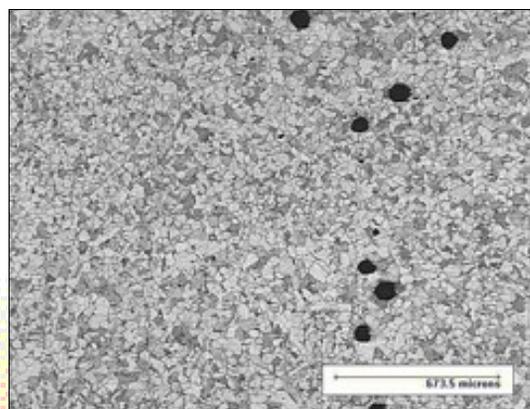


Figure 2a: graphitisation dans l'acier au carbone, x 50

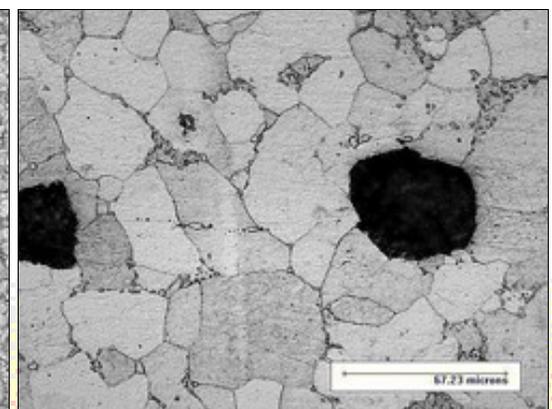


Figure 2b: détail, x 500

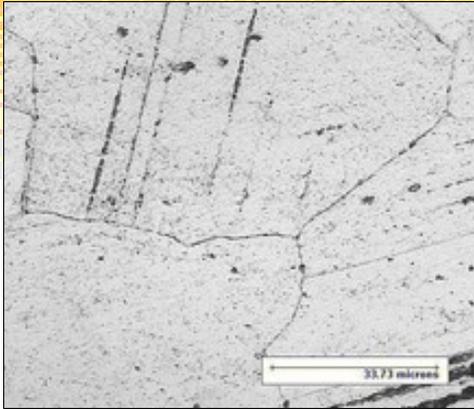


Figure 3a: 'step structure' dans l'acier inoxydable (carbures isolés à la limite des grains), x 1.000, LG 00-030

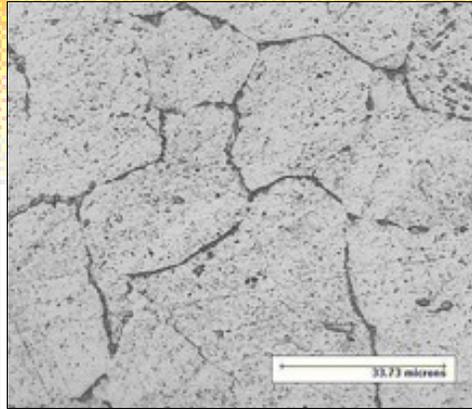


Figure 3b: 'dual structure' dans l'acier inoxydable (carbures serrés à la limite des grains, encore aucun grain complètement encerclé), x 1.000, LG 00-030

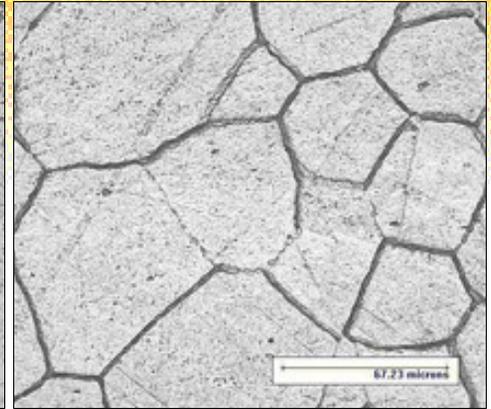


Figure 3c: 'ditch structure' dans l'acier inoxydable (carbures serrés à la limite des grains, au moins un grain complètement encerclé), x 500, LG 00-030

Test de sensibilité

L'un des contrôles le plus courant pour l'acier inoxydable est celui sur la sensibilité: la susceptibilité à l'attaque par des produits agressifs en présence d'humidité. Ceci est déterminé par la quantité de précipitations de carbures de chrome aux joints des grains. Le test sur base de l'ASTM 262, practice A prévoit une attaque à l'acide chromique 10% pour 90 s à 1 A/cm² et distingue une 'step structure' (début de la dégradation), une 'dual structure' et une 'ditch structure' (dégradation complète) (voir les figures 3a-3b-3c). Dans le cas d'une sensibilité à la corrosion intergranulaire, sous l'influence d'un acide, des fissures peuvent très rapidement apparaître.

EXAMEN DE DOMMAGES ET DE FISSURES

Fatigue thermique

Ce processus donne une forme de fissures bien typiques: nombreuses fissures parallèles, perpendiculaires à la direction des tensions, remplies d'oxydes (voir les figures 4a-4b). Dans le cas de la fatigue thermique, la réparation en éliminant les fissures par polissage est impossible car le processus de la fissuration se poursuit sur le nombre de cycles déjà atteint.

Corrosion sous tensions due aux chlorures ou fissuration caustique?

Un phénomène de fissuration comme la corrosion intergranulaire peut être reconnu par sa forme en

ramifications à l'état non attaqué. Quand on peut également dire si les fissures traversent les grains (transgranulaires) ou si elles suivent la limite des grains (intergranulaires), on peut alors déterminer si la cause est une fissure caustique (caustic cracking) ou une attaque d'acide (corrosion sous tensions due aux chlorures).

Des microfissures présentes?

Après un nettoyage de fours ou d'échangeurs de chaleur (industrie pétrochimique) au moyen d'un nettoyage par explosion (faibles explosions à la dynamite à l'échelle microscopique à une température de 200 °C), on veut savoir si aucune microfissure n'est apparue dans le matériau.

Fluage

Afin de pouvoir faire une distinction, avec certitude, entre la présence de carbures ou la présence de cavités de fluage, la réplique peut être examinée une seule fois sous microscope électronique car une irradiation prolongée détruit le film des répliques. Les carbures apparaissent en blanc et les cavités en noir. Lors de l'examen sur le fluage, il est nécessaire que le matériau soit découpé étant donné que le polissage bouche les micro-inclusions dans le matériau. Au stade initial du fluage, il n'est pas toujours possible de faire la distinction entre des cavités éventuelles (bien que celles-ci se situent entre les limites des grains) ou les artefacts par polissage (poussières, projections, ...).

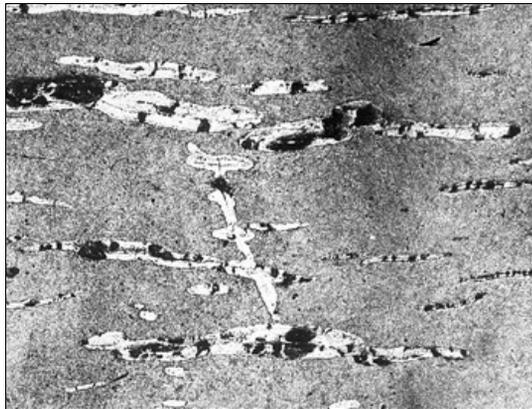


Figure 4a: fatigue thermique dans l'acier au C, tube-foyer ondulé d'une chaudière, x 50, prise au bord de la réplique

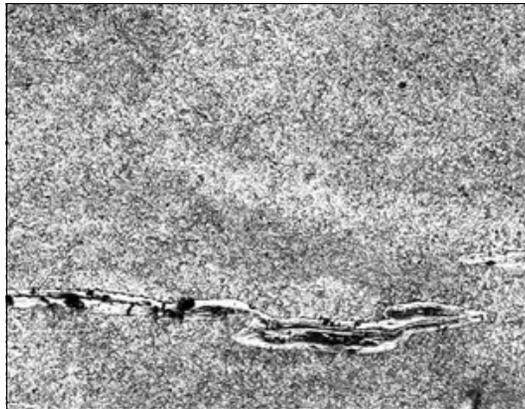


Figure 4b: idem, prise au centre de la réplique

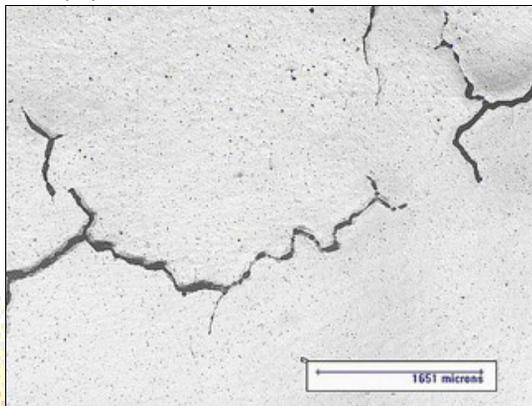


Figure 5a: fissures intergranulaires dans 25Cr/4Ni à cause du Pb et Cd (Liquid Metal Embrittlement), x 20, LG98/063

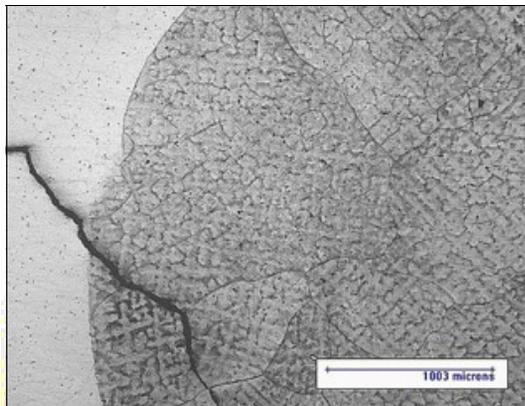


Figure 5b: idem, dans une partie non attaquée (à gauche) et dans une partie attaquée (à droite)

Qu'y a-t-il dans la fissure?

Sur une réplique, dans des oxydes probables ou dans des fissures, on peut réaliser une analyse EDX (Energy Dispersive X) semi-quantitative (analyse chimique approximative à l'aide d'un microscope électronique) car quand la réplique est enlevée, on peut avoir emporté un peu de matériaux.

Quel matériau?

Dans des vieilles turbines, on ne sait pas toujours si certaines parties sont en acier coulé (facilement soudable) ou en fonte (difficilement soudable).

Liquid Metal Embrittlement

Zn, Pb et Cd, sous forme liquide, peuvent, dans certaines conditions, pénétrer le long des joints de grains et donc causer une fragilisation de l'acier (voir les figures 5a-5b).

CONCLUSION

De nombreux exemples montrent que grâce à la technique de réplique on peut obtenir une richesse d'information pour une analyse des dommages ou la création d'une analyse des causes profondes (root cause analysis). Lorsqu'un examen destructif n'est pas possible, alors un examen de réplique est souvent le seul moyen de s'en sortir. □