TECHNIQUES ET MÉTHODES D'ANALYSE MÉTALLOGRAPHIQUE IN SITU

PRINCIPE ET DESCRIPTION SOMMAIRE

OBJECTIF

Caractériser en surface la microstructure d'un métal, d'une soudure, d'un revêtement métallique, de produits de corrosion, sans prélèvement de matière.

Cette connaissance permet d'identifier le type de métal en présence, de caractériser le mécanisme de dégradation et son évolution. Une analyse de dureté est généralement complémentaire à l'examen métallographique.

Ces méthodes font partie des essais permettant d'expertiser sur site les dégradations métallurgiques en surface, suite à incident (incendie, etc.) ou pathologie (fissuration, etc.) notamment.

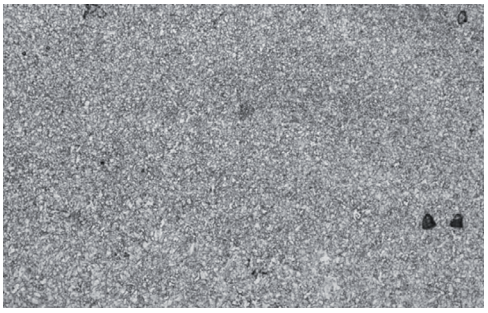
PRINCIPE

La réplique métallographique consiste à prendre une empreinte en négatif de la microstructure d'un matériau. La réplique sera ultérieurement examinée en laboratoire.

A l'aide d'un matériel portatif, la zone objet de la réplique est successivement nettoyée, meulée, poncée et polie, jusqu'à obtenir une surface polie miroir (taille de l'ordre de quelques centimètres carrés). La microstructure est ensuite révélée par attaque chimique ou électrolytique (exemple du Nital pour les aciers). La prise de l'empreinte peut alors être réalisée par plaquage chimique d'un film plastique en acétate de cellulose, ou par application d'un vernis. La surface de l'empreinte est ensuite examinée en laboratoire (révélation par métallisation : dépôt d'une fine couche d'aluminium réfléchissante par exemple, ou examen par transparence).

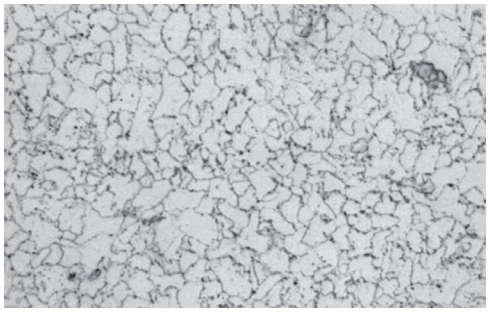
Les microstructures peuvent être caractérisées par les phases en présence, la forme des grains, et leurs tailles.

Les différents paramètres de la microstructure sont obtenus par examen microscopique (par exemple Microscope Électronique à Balayage ou microscopie optique).



(Réplique : détail d'une zone affectée thermiquement (grossissement x 100)

Source : Institut de Soudure



Réplique : détail de la photo de gauche (grossissement x 1000)

Source : Institut de Soudure

La dureté est mesurée à l'aide d'un duromètre portatif, par l'une des 2 méthodes suivantes :

– mesure de rebond d'une bille ;
– mesure de la taille d'une empreinte d'un pénétrateur (mesure directe ou méthode UCI).
– Ces appareils sont communs dans l'industrie ; ils font l'objet d'étalonnage et sont régis par des normes dans certains pays étrangers (USA par ex.).



Exemple de duromètre portatif pour mesure de dureté Brinell, Rockwell, Vickers.

(Document MASHPROJECT LLC)

CARACTÈRE DESTRUCTIF DE LA MÉTHODE	Méthode non destructive pour la structure métallique La pollution (oxydes, suie, etc.) et / ou les revêtements de surface (protection anticorrosion, etc.) doivent être ôtés au droit des zones examinées
MATURITÉ	Méthode utilisée depuis les années 1970
MATÉRIEL SPÉCIFIQUE EMPLOYÉ	– Matériels de polissage, réactifs d'attaque, acétone, films d'acétate de cellulose, microscope portatif; – Duromètre portatif; – Matériel de métallisation sous vide; – Microscopes optiques pour l'examen de la réplique.
MODALITÉS D'APPLICATIONS	
DOMAINE D'APPLICATION	Tous types d'alliages métalliques, ferreux ou non
SUJÉTIONS PRATIQUES D'INTERVENTION	Sur site, la zone à examiner doit être visuellement accessible, permettre la manipulation aisée du matériel de préparation de surface et la vérification de la qualité du polissage. La prise de l'empreinte doit être réalisée en l'absence d'eau (pollution de la réplique) et de vent (évaporation trop rapide de l'acétone). La phase de polissage est à réaliser soigneusement, en croisant les sens de polissage, de façon à éviter toute marque susceptible de perturber l'interprétation ultérieure de la réplique. Lors de cette phase, il convient d'éviter un échauffement excessif. La progression de l'attaque chimique sera contrôlée à l'aide d'un microscope portatif (risque de mauvaise révélation de la microstructure en l'absence de contrôle). La nature des matériaux et la gravité de l'atteinte (dans le cas d'une pathologie) peuvent fortement varier sur un ouvrage. La zone examinée doit être très précisément localisée. En cas de retrait du système de protection anticorrosion, la zone examinée sera recouverte d'un système haute tolérance à l'issue de l'intervention.
LIMITES D'UTILISATION	Une réplique est moins précise qu'une métallographie sur prélèvement (influence de la préparation de surface, de la précision de la réplique, absence de couleur sur la réplique, etc.). Le meulage est susceptible d'obturer de fines fissures. Les répliques ne pouvant être réalisées qu'après attaque chimique, la teneur et le type des inclusions non-métalliques ne peuvent être interprétés sur une réplique. L'examen au MEB n'est possible que pour certains modes de répliques. La représentativité de l'essai est strictement limitée à la surface de la zone examinée. Il n'est pas possible de statuer en profondeur. Il peut être nécessaire de compléter l'examen par des essais / analyses additionnels (métallographie avec prélèvement, analyse chimique, dureté en profondeur, traction, résilience, etc.). Représentativité limitée aux zones examinées (importance du choix de ces zones).
PRÉCISION ET/OU SENSIBILITÉ	Variable selon l'outil d'observation utilisé : MEB (+/-1 µm) ou microscope optique, le grossissement variant de 50 à 1000. Méthode moins précise que sur prélèvement.
PERSONNEL ET COMPÉTENCES	Technicien spécifiquement formé à la prise de réplique. Chargé d'étude spécialiste en analyse de matériaux métalliques.
CARACTÉRISTIQUES OPÉRATOIRES	
ACCÈS À 1 OU 2 FACES	Une face
COUPURES OU RESTRICTIONS DE CIRCULATION NÉCESSAIRES	Non, dans le cas général
RENDEMENT ET/OU ÉCHANTILLONNAGE	Ponctuel Échantillonnage : au moins 3 zones examinées (si possible) Réplique : surface représentative de 4 à 5 cm² dans le cas général Pour le rendement d'une réplique, il faut compter environ 1 heure pour la préparation de surface + la réalisation de la réplique elle-même, auquel il faut rajouter le temps d'analyse postérieur en laboratoire. Dureté : possibilité de réaliser des dizaines de mesures par jour, sous réserve du retrait préalable du revêtement éventuel et d'un état de surface compatible.

DÉLAIS DE DISPONIBILITÉ DES RÉSULTATS	De l'ordre de la semaine (à adapter selon la quantité de répliques à examiner).
PERTURBATIONS DU TRAFIC SUR LES MESURES	Non
PERTURBATIONS DE L'ENVIRONNEMENT SUR LES MESURES	Non
RISQUES POUR LES UTILISATEURS OU LE PUBLIC	Utilisation de réactifs d'attaque chimique pour révéler la microstructure
ENCOMBREMENT – POIDS	Matériel portatif sur site
AVANTAGES – INCONVÉNIENTS	
AVANTAGES	Détermination qualitative et quantitative des microstructures des produits métalliques sans prélèvement : utilisable dans des zones sensibles, sans porter atteinte à l'ouvrage. Une des composantes indispensables d'une expertise sur une pièce métallique pour caractériser le matériau et statuer sur sa pathologie.
INCONVÉNIENTS	Interprétation demandant un personnel qualifié. Interprétation incomplète par rapport à une métallographie sur prélèvement (inclusions difficiles voire impossibles à détecter). Représentativité limitée aux zones examinées et à la surface de la pièce (pas d'examen en profondeur).
DISPONIBILITÉ – COÛT	
DISPONIBILITÉ	Rare
COÛT	Moyen
RÉFÉRENCES	
NORMES – MODES OPÉRATOIRES – ARTICLES	NF A05-150 (1985) : Techniques d'examen micrographique. NF A05-154 (1985) : Technique de la réplique métallographique (Examen optique). ISO 3057 (1998) : Essais non destructifs — Techniques de réplique métallographique pour l'examen des surfaces EN 10020 (2000) Définition et classification des nuances d'acier. ISO 4967 (2013) Determination of content of non-metallic inclusions. Micrographics method using standard diagrams. NF EN ISO 643 (2012) Détermination micrographique de la grosseur de grain apparente. NF EN 10247 (2007) Détermination micrographique de la teneur en inclusions non-métalliques. ASTM E1351-01 (2012) : Standard Pratice for Production and Evaluation of Field Metallographic Replicas. ASTM E45-13 Test Methods for Determining the Inclusion Content of Steel. ASTM E112-13 Test Methods for Determining Average Grain Size. ASTM E3-11 Guide for Preparation of Metallographic Specimens. ASTM E110 Standard Test Method for Indentation Hardness of Metallic Materials by Portable Hardness Testers. ASTM A1038 Standard Practice for Portable Hardness Testing by the ultrasonic Contact Impedance Method (UCI). VDI/VDE 2616 Hardness testing of metallic materials (recommandations). DIN 50519 Metallic materials – Hardness testing with the UCI method.