

Introduction au thème

Des déformations déterminées par diffraction aux contraintes résiduelles, un passage moins simple qu'il n'y paraît...

From strains determined by X-ray diffraction to residual stresses, a procedure which is not so simple as it would seem

X-ray diffraction is a commonly applied technique for the analysis of the mechanical state (residual stresses) at the surface of solids. It is used for the study, in particular, of coated layers and of surface treated materials. In this method, the crystal lattice is used as strain gauge for the determination of elastic residual strains at the mesoscopic scale. Stresses are derived from these deformations by using a mechanical model, which, in its simplest version, leads to the classical so-called $\sin^2\psi$ relation. This formulation relies, however, on restrictive assumptions on microstructure, which are often not verified in the case of new materials, and in particular of solids with reduced dimensions. In order to remove all or part of these assumptions and obtain a correct interpretation of the diffraction data, the knowledge of two complementary aspects is required.

In the first place, the local elasticity of the volume analyzed by diffraction has to be considered, i.e. the state of the surface layers of the material, which may behave in a significantly different way than the bulk material. In the second place, one needs relationships between the measuring scale of diffraction which is the scale of crystallites (typically 100 nm), and the scale at which the stress result has to be expressed, generally the macroscopic scale.

The interpretation problems relative to these two aspects are complex. They have been discussed at specific sessions during the symposium organized by the French Group of Stress Analysis (Groupe Français d'Analyse des Contraintes, GFAC) at Saint-Nazaire on March 22 and 23, 2001. The papers published in this

La diffraction des rayons X est une méthode couramment employée pour analyser l'état mécanique (contraintes résiduelles) superficiel, en particulier dans les revêtements et les matériaux soumis aux traitements de surface. Elle repose sur l'utilisation du réseau cristallin comme jauge de la déformation élastique résiduelle à l'échelle mésoscopique. À partir des déformations, on remonte à la contrainte par l'intermédiaire d'un modèle mécanique qui, dans sa version la plus simple, conduit à la relation classique dite des $\sin^2\psi$. Toutefois, cette formulation repose sur des hypothèses restrictives sur la microstructure qui sont souvent mises en défaut dans les nouveaux matériaux, et en particulier dans les matériaux à dimension réduite. Pour lever tout ou partie de ces hypothèses et obtenir une interprétation correcte du signal diffracté, la connaissance de deux aspects complémentaires est indispensable.

Il s'agit en premier lieu de l'élasticité locale du volume analysé par diffraction, c'est-à-dire des couches superficielles du matériau, qui peut être significativement différente de celle du matériau à l'état massif. En second lieu, on a besoin des relations entre l'échelle de mesure par diffraction, qui est l'échelle des cristallites (typiquement 100 nm), et l'échelle où l'on souhaite exprimer le résultat qui est généralement l'échelle macroscopique.

Les problèmes d'interprétation liés à ces deux points sont complexes. Ils ont fait l'objet de sessions particulières au cours du colloque du Groupement Français d'Analyse des Contraintes (GFAC) qui a eu lieu à Saint-Nazaire les 22 et 23 mars 2001. Les articles

issue and issue No. 2/04 (February 2004) of the *Revue de Métallurgie-CIT/Science et Génie des Matériaux* give account of the communications presented at this symposium and underline the contributions and limitations proper to the different experimental techniques used for the evaluation of the elasticity of surfaces, as well as the contribution of scale transition models used for the analysis of the micromechanical states determined by diffraction. It is this second aspect which is developed in the papers of the present issue.

publiés dans ce numéro et le numéro 2/04 (février 2004) de la *Revue de Métallurgie-CIT/Science et Génie des Matériaux* reprennent les communications présentées en soulignant les limites et les apports des différentes techniques expérimentales d'évaluation de l'élasticité des surfaces ainsi que les apports des modèles de transition d'échelle à l'analyse des états micromécaniques par diffraction. C'est ce deuxième aspect qui est abordé dans les articles du présent numéro.

Manuel François
Université de Technologie de Troyes