

Caractérisation du comportement mécanique des matériaux métalliques à partir d'essais de cisaillement simple

P.Y. MANACH^a, S. THULLIER^a

a. Univ. Bretagne Sud, UMR CNRS 6027, IRDL, Lorient France

Résumé :

L'essai de cisaillement simple a fait l'objet de nombreuses études au cours des dernières décennies (e.g. [1-3]). La raison principale est qu'il peut être facilement réalisé sur une machine de traction classique en utilisant un dispositif approprié. L'essai de cisaillement présente plusieurs avantages : les échantillons de cisaillement et de traction peuvent être usinés à partir de la même tôle, il permet d'effectuer des déformations cycliques et la forme plane des éprouvettes est particulièrement appropriée pour étudier l'influence de différents traitements thermomécaniques tels que le laminage à froid et / ou le recuit sur les propriétés résultantes. Il n'y a pas d'artefacts dus à la dilatation thermique, ce qui est un point important pour de nombreux matériaux pour lesquels la température joue un rôle essentiel dans leur comportement. Enfin, la déformation peut être considérée avec une bonne approximation comme homogène dans la zone cisailée. Un autre avantage est que les tests de traction et de cisaillement homogènes sont complémentaires : l'état de déformation ne concerne que les composantes diagonales du tenseur de déformation en traction alors que le cisaillement simple fait intervenir principalement les composantes non diagonales. Les deux essais sont aussi régulièrement utilisés pour mesurer l'anisotropie planaire ce qui permet d'obtenir des points différents pour l'identification des critères de plasticité. Enfin, pour certains matériaux, l'essai de cisaillement permet d'atteindre de très grandes déformations plastiques équivalentes et la possibilité de réaliser des essais cycliques permet de caractériser l'écrouissage cinématique, ce qui est difficile à obtenir en traction-compression par exemple. L'essai de cisaillement présente également plusieurs inconvénients. Par exemple, la mesure de la déformation locale est difficile en raison de l'étroitesse de la zone cisailée. De même, le rapport entre la longueur, la largeur et l'épaisseur de la zone cisailée doit être déterminé pour chaque matériau afin d'obtenir un état de déformation homogène et d'éviter le flambement de la zone utile. Enfin, le choix d'une largeur fixe génère des contraintes de traction dans le plan de la tôle qui ont tendance à perturber l'homogénéité de l'essai près des bords libres.

Ces travaux présentent l'évolution de la caractérisation en cisaillement au cours des années et son utilisation pour la caractérisation des lois de comportement élastoplastiques anisotropes pour les tôles métalliques. Des premiers essais et simulations numériques réalisés en 1989 [4], au développement de plusieurs générations de machines de cisaillement [5,6], à l'utilisation des mesures de champ pour la mesure des déformations en passant par la caractérisation de l'effet Portevin Le Châtelier et à celle des tôles ultrafines pour l'identification de modèles de plasticité cristalline, ces travaux analysent des essais réalisés sur plusieurs matériaux (aciers, alliages d'aluminium, alliages de cuivre) et montrent que cet essai est particulièrement adapté à la caractérisation de loi de comportement élastoplastiques très variées [7].

Abstract :

The simple shear test has been extensively studied in recent decades (e.g. [1-3]). The main reason is that it can easily be achieved on a conventional tensile machine using a suitable device. The shear test has several advantages: the shear and tensile samples can be machined from the same sheet, it allows for cyclical deformations and the flat shape of the specimens is particularly suitable for studying the influence of different thermomechanical treatments such as cold rolling and/or annealing on the resulting properties. There are no artifacts due to thermal expansion, which is important for many materials where temperature plays a key role in their behavior. Finally, the deformation can be considered with a good approximation as homogeneous in the shear zone. Another advantage is that the homogeneous tensile and shear tests are complementary: the tensile strain state concerns only the diagonal components of the strain tensor whereas the simple shear mainly involves the non diagonal components. The two tests are also regularly used to measure the planar anisotropy which makes it possible to obtain different points for the identification of yield criteria. Finally, for some materials, the shear test makes it possible to reach very large equivalent plastic deformations and the possibility of carrying out cyclic tests enable to characterize the kinematic work hardening, which is difficult to obtain in tension-compression for example. The shear test also has several disadvantages. For example, the measurement of local deformation is difficult because of the narrowness of the shear zone. Likewise, the ratio between the length, width and thickness of the shear zone must be determined for each material in order to obtain a state of homogeneous deformation and to avoid buckling of the useful zone. Finally, the choice of a fixed width generates tensile stresses in the plane of the sheet which tend to disturb the homogeneity of the test near the free edges.

This work presents the evolution of shear characterization over the years and its use for the characterization of anisotropic elastoplastic constitutive laws for metal sheets. From the first tests and numerical simulations carried out in 1989 [4], to the development of several generations of shearing machines [5,6], to the use of field measurements for the measurement of strains via the characterization of the the Portevin Le Châtelier effect and that of ultrafine sheets for the identification of crystal plasticity models, this work analyzes tests carried out on several materials (steels, aluminum alloys, alloys of copper) and show that this test is particularly adapted to the characterization of constitutive laws elastoplastics very varied [7].

Mots clefs : Cisaillement simple, Lois de comportement, non homogénéités

Références

- [1] Wack B, Tourabi A, Cyclic simple shear of metallic sheets: application to aluminum–lithium alloy, *Journal of Materials Science* 28 (1993) 4735–4743
- [2] Manach PY, Favier D, Shear and tensile thermomechanical behavior of near equiatomic NiTi alloy, *Materials Science and Engineering A* 222 (1997) 45–57
- [3] Yoon JW, Barlat F, Gracio JJ, Rauch E, Anisotropic strain hardening behavior in simple shear for cube textured aluminum alloy sheets, *International Journal of Plasticity* 21 (2005) 2426–2447
- [4] Manach PY, Analyse par simulations numériques des non-homogénéités au cours d’essais mécaniques, Master’s Thesis, Grenoble France (1989)
- [5] Manach PY, Couty N, Elastoviscohysteresis constitutive law in convected coordinate frames: application to finite deformation shear tests, *Computational Mechanics* 28 (2002) 17–25

- [6] Thuillier S, Manach PY, Comparison of the work-hardening of metallic sheets using tensile and shear strain paths, *International Journal of Plasticity* 25 (2009) 733–751
- [7] Yin Q, Zillmann B, Suttner S, Gerstein G, Biasutti M, Tekkaya AE, Wagner M, Merklein M, Schaper M, Halle T, Brosius A, An experimental and numerical investigation of different shear test configurations for sheet metal characterization, *International Journal of Solids and Structures* 51 (2014) 1066–1074