**Commission Thématique LAMINAGE**

**-----------------------**

**Réunion du 29 Mars 2021**

*Connexion Zoom*

**----------------------------**

**Thème de la matinée : Rapid Alloy Prototyping**

**Compte Rendu**

**Participants**

Didier Farrugia (Tata Steel Europe)

Alexis Gaillac (Framatome ANP, CR Ugine)

Didier Lawrjaniec (Ascometal Hagondange, CREAS)

Eliette Mathey (ArcelorMittal R&D Maizières)

Pierre Montmitonnet (MINES ParisTech, CEMEF),

Daniel Weisz-Patrault (Ecole Polytechnique, LMS)

Jean-Philippe Ponthot (Université de Liège, LTAS)

Thomas Sourisseau (Ugitech, CR Ugine)

10h00 – 10h45 Exposé scientifique : D. Farrugia, *Rapid Alloy Prototyping*

10h45 - 11h45   Discussion sur le thème du jour

11h45 - 12h15   Programmation des thèmes des futures réunions

**Rapid Alloy Prototyping (RAP)**

La vérification des propriétés d’un nouvel alliage ou la mesure de l’effet d’éléments résiduels dans le contexte du recyclage passe par de nombreuses étapes destinées à reproduire plus ou moins fidèlement la gamme de fabrication. On réalise un Plan d’Expérience avec les divers paramètres libres, et on caractérise le matériau en volume (microstructures, propriétés mécaniques) et en surface (oxydation, corrosion) à des étapes cruciales de ce cycle. Traditionnellement on s’appuie sur des mini-coulées de laboratoire de 30 à 60 kg, suivies de phases de laminage à chaud puis à froid. C’est un travail consommateur en ressources, équipement et personnels. L’objectif du RAP est de réduire la consommation de ces ressources. La voie explorée par Tata Steel Europe avec les Universités de Swansea et Warwick dans le cadre d’un projet financé par l’EPSRC consiste à travailler sur de plus petites quantités qui permettent une approche de type « chimie combinatoire » : 20-40 g dans une modalité, 200 g dans une deuxième et 5-10 kg dans une troisième. Les challenges sont 1) la miniaturisation des éprouvettes (faible quantité de métal disponible), 2) l’impact éventuel de la taille sur la microstructure (donc sur l’ensemble des propriétés) du fait d’une histoire thermique différente et presque nécessairement hétérogène quand il est impossible d’atteindre un régime stationnaire.

- la voie 20-40 g, dans laquelle la précision de la composition est obtenue par métallurgie des poudres, a montré la difficulté de reproduire les microstructures compte tenu des capacités des outils (réduction, température réelle de déformation, absence de régime permanent). La comparaison de mini-éprouvettes de traction avec les éprouvettes standards montre que l’UTS est peu impacté, il y a un effet de taille sur le Re (~10%) mais c’est la déformation à rupture qui devient très variable.

- la voie 200 g a mis en œuvre fusion par induction / coulée centrifuge / laminage à chaud avec cylindre chauffés / laminage à froid. Les inconvénients du cas précédent sont en partie levés. La limite principale serait ici par exemple la difficulté d’étudier l’anisotropie mécanique par manque de place pour prélever des éprouvettes en direction transverse et diagonale.

- la voie 5-10 kg permet certes un gain matière et temps plus limité par rapport au standard 30 kg mais on se rapproche de conditions représentatives de l’échelle industrielle. Ici, le laminage à chaud est suivi d’un refroidissement contrôlé en four (simulant la table de sortie), la microstructure est donc plus adéquate et la plupart des caractérisations standards sont possibles.

- voie hybride : elle consiste à insérer des échantillons de petite taille (issus des voies 20-40 g ou 200 g) dans une billette de la voie 5-10 kg ; ainsi on bénéficie de la représentativité process tout en pouvant, dans une même opération, comparer plusieurs compositions dans des conditions identiques. Mais la quantité de métal pour la caractérisation souffre des mêmes limites que la voie d’origine.

Ajoutons une composante forte de modélisation physique qui permet de cerner quelles sont, pour une famille de nuances donnée, les étapes clés de la formation de la microstructure, celles sur lesquelles on ne doit pas accepter de compromis. Car l’intérêt pratique de chacune des voies ci-dessus dépend fondamentalement des mécanismes physiques à l’origine de ces microstructures : le choix, la hiérarchisation des possibilités et limites des différentes voies ne peuvent se faire qu’à l’aide de la connaissance métallurgiste accumulée dans les laboratoires et la pratique industrielle.

**Discussion**

Eliette Mathey (AMMz) souligne que la question posée au sein d’ArcelorMittal serait plutôt celle de la représentativité de la voie 30-60 kg et de son amélioration ou sa certification, ce qui passe par des échelles intermédiaires de l’ordre de la tonne. Par contre il n’y a pas de travaux sur les petites échelles.

Thomas Sourisseau mentionne la même préoccupation en soulignant que dès cette échelle des 30 kg, propreté inclusionnaire et microstructure peuvent montrer pour les inox des différences sensibles avec l’échelle industrielle.

Didier Farrugia fait état de recherches similaires à celles de Tata Steel Europe, sur les très petites quantités, en Allemagne, au Max Planck de Dűsseldorf ou à l’IBF d’Aachen.

Alexis Gaillac souligne que du côté du zirconium, la problématique est différente, la coulée industrielle étant de l’ordre de la tonne. Les petits échantillons sont donc utilisés pour des études limitées (corrosion…) et on passe rapidement à l’échelle industrielle pour toute étude d’ampleur.

Daniel Weisz-Patrault se demande si la petite taille permet l’automatisation des essais et analyses – puisque le gain de temps et en particulier de temps opérateur est clairement une des voies d’économie. Didier répond que de tels dispositifs de manipulation automatique existent sur certains équipements mais ne font pas partie de l’étude décrite.

Enfin, Thomas Sourisseau pose la question de l’échelle à partir de laquelle les essais de fatigue seraient représentatifs. Didier n’a pas de réponse : la fatigue ne fait pas partie des propriétés testées par Tata Steel Europe. Mais la question est évidemment pertinente.

**Planning des thèmes des prochaines réunions trimestrielles (proposition)**

**2ème trimestre 2021**

*Contrôle de la température : enjeux, technologies de mesure et de contrôle, performances*

Si nous arrivons à rassembler assez d’orateurs, nous organiserons une Journée (ou longue ½ journée) et la diversité des facettes de la question pourra être abordée, effets de la température sur la lubrification, sur le bombé cylindre et la planéité, sur la microstructure métallurgique et les propriétés mécaniques, l’hétérogénéité thermique, en four ou dans les attentes sur train, points chauds et points froids et leurs conséquences… problèmes intéressants le laminage à froid comme le laminage à chaud.

**3ème trimestre 2021**

*Essais mécaniques et/ou tribologiques en conditions réalistes*

La difficulté d’atteindre, dans des essais de laboratoire, de grandes vitesses et grandes déformations, des états de contrainte et de déformation proches du procédé réel rendent tentant d’utiliser les méthodologies inverses, à partir de laminage pilote voire industriel, pour remonter à des données thermomécaniques et tribologiques pertinentes. Les mesures nécessaires, l’indispensable modélisation, et par là les possibilités et limites de telles approches seraient à l’ordre du jour.

**4ème trimestre 2021**

*Modèles métallurgiques et contrôle de la planéité*

Lors du refroidissement après laminage à chaud des aciers se produit, sur la table de sortie, la transformation austénite 🡪 ferrite. La température étant hétérogène, la transformation n’est pas forcément synchrone en tout point de la bande et la déformation associée peut donc créer des défauts de planéité manifestes ou latents. La modélisation de ce phénomène sera abordée.

**2022**

Nous pouvons d’ores et déjà prévoir l’année prochaine deux thèmes, à positionner en fonction des orateurs disponibles.

* Laminabilité, criques et fissures dans les alliages complexes (biphasés, alliages chargés…), 10 ans après une première Journée de la CT Laminage sur ce sujet le 31 Octobre 2012.
* Les phénomènes vibratoires des laminoirs (broutage et autres) : aspects mécanique et interactions avec la lubrification.