

Retour sur les Journées Annuelles de la SF2M 2019

Par **Danièle Quantin**

Société Française de Métallurgie et de Matériaux (SF2M), et Materialia, Présidente, 28 Rue Saint-Dominique, 75007 Paris, France

Les Journées Annuelles de la SF2M 2019 se sont déroulées à Paris (Chimie Paris Tech) du 21 au 23 octobre. Plus de 150 participants ont pu assister à 50 présentations scientifiques dont 3 plénières, 1 conférence plénière sur l'histoire des matériaux et table ronde sur les carrières, organisée par le groupe « Jeunes » de la SF2M. Seize posters faisant l'objet d'un concours ont aussi été présentés. Les présentations scientifiques étaient regroupées en 3 thèmes génériques : Fabrication additive, de la fabrication de la matière première à la pièce fonctionnelle ; Ténacité et rupture brutale ; Mise en forme, microstructure et propriétés d'usage des superalliages base nickel polycristallins.

Les Journées annuelles de la SF2M 2019 ont abordé à la fois la fabrication au travers de la fabrication additive de grandes pièces, la mise en forme ainsi que les propriétés et applications.

Elles ont mis en avant le triptyque matériaux – procédés – propriétés, en présentant les avancées significatives concernant les nouveaux procédés et la structuration des matériaux, les techniques de caractérisation et de modélisation et les domaines d'applications où une ingénierie spécifique des matériaux entraîne une amélioration des performances.

Trois thèmes techniques génériques, structurés en différentes sessions ont été proposés. En outre, une quatrième session a été organisée par le groupe Jeunes de la SF2M autour de l'histoire des matériaux et des possibilités de carrières qu'offre ce domaine.

Fabrication additive

Frederic Schuster a ouvert la session avec une conférence plénière sur « L'approche intégrée de la fabrication additive, exemple des énergies bas Carbone », présentant la fertilisation croisée entre les problématiques du nucléaire et des énergies renouvelables. Les approches nécessitent des procédés robustes, des outils pour les changements d'échelle, une vision économie circulaire à la fois pour la fabrication additive mais aussi les traitements de surface pour « fonctionnaliser » les pièces de fabrication additive, la gestion des nanoparticules, le monitoring...

Une chaire industrielle « IMPACT » a été mise en place avec Paris Saclay et l'INSTN pour l'enseignement des procédés émergents avec des cours génériques et des « teaching blocks » sur l'impression 3D, les revêtements, la fabrication à l'échelle nano par exemple. Des écoles d'été sont prévues sur ces mêmes thèmes.

Dix-sept présentations ont suivi, toutes de grande qualité et présentant des approches complémentaires. Les sujets principaux ont couvert principalement la relation entre paramètres des procédés de fabrication additive métallique (aciers inoxydables, titane, aluminium, aciers alliés, tungstène...), traitements complémentaires (thermiques ou de surface),



caractéristiques microstructurales et porosités et propriétés, de façon expérimentale ou via la modélisation.

De nombreuses équipes sont actives sur ce sujet en France, tant industriels qu'équipes académiques, comme CEA, INSA Lyon, IRT Jules Verne, IRT St Exupéry, CIRIMAT, Air Liquide, ENSAM, UTT, Centrale Lyon, CETIM, Mines Paristech, Université de Rouen, UTT, Airbus, Ariane Group, Aubert & Duval... si on se limite aux équipes ayant participé aux présentations du thème.

Différents procédés ont été mis en avant, Robocasting (extrusion 3D à partir d'une poudre dans un gel puis frittage) (X. Boulnat), Arc-Fil WAAM (obtention des pièces par dépôt de fil métallique au moyen des technologies de soudage à l'arc) (V. Legrand, L. Guilmois), fusion sur lit de poudres avec un ou 2 lasers (un gros faisceau et un faisceau fin pour les détails complexes) (M. Sow) ainsi que des traitements de surface comme le CVD – chemical vapor deposition (protection et infiltration) (F. Addou) ou mécanique (comme SMAT – surface mechanical attrition treatment) (Q. Portella).

La fabrication additive rend accessible les gradients de composition via 2 réservoirs de poudres et un mélange choisi couche par couche (F. Villaret). De même, elle donne la possibilité d'avoir des précipités nanométriques type ODS (P. Castany). Le rôle des « lasages » successifs (C. Keller) a aussi été étudié



ainsi que son rôle sur les caractéristiques. L'optimisation d'un post-traitement thermique (C. Galy, C. Dupressoir, C. Mayer) ajuste les microstructures réduisant la sensibilité à la fissuration des super alliages ou optimisant la dureté.

En fonction des technologies, les verrous restent la taille des pièces (grandes dimensions), le coût, la maîtrise des porosités (B. Tranchand), l'état de surface (géométrie et contraintes superficielles)...

Pour finir, une communication de la société GRANTA (M. Dwek) a complété ces présentations sur la gestion des données et le choix des matériaux pour des solutions via la fabrication additive. Cette base comporte des outils pour comparer les technologies par rapport aux matériaux. Elle permet de capitaliser les résultats, d'assurer une traçabilité des essais, d'optimiser le design... Cette base est actuellement utilisée par l'aérospatiale.

Ténacité et rupture brutale

La session « Rupture brutale et ténacité » a rassemblé 13 présentations orales, toutes de très bonne qualité. Mention spéciale aux doctorants et jeunes docteurs qui ont fourni de très belles communications.

La conférence plénière de T. Pardoen a ouvert le sujet en rappelant que la ténacité était rarement le seul paramètre matériau dimensionnant, lorsque la masse ou la déformation imposée à un objet étaient à prendre en compte. La course à la résistance ne va pas de pair avec une bonne ténacité : elle peut parfois réduire la capacité d'écroutissage ou disperser plus finement les particules (inclusions, précipités) à l'origine de la rupture. Ceci réduit le volume dans lequel l'énergie est dissipée par endommagement.

La méthodologie du travail essentiel à rupture, qui permet de déterminer la ténacité d'une tôle mince par essais sur des éprouvettes sévèrement entaillées de diverses géométries, a été présentée, puis appliquée à deux alliages prometteurs, un acier dual-phase à microstructure plaquettaire (K. Ismail) et un alliage à haute entropie (A. Hilhorst).

D'autres méthodologies de caractérisation, telles que l'instrumentation d'essais de déchirure ductile sur panneaux larges (F. Mas), l'exploitation des courbes d'essais Charpy instrumentés (R. Chaouadi) dans le contexte de la surveillance des installations nucléaires, l'analyse mécanique



fine d'essais de survitesse sur disques (N. Guillermin) ont montré que les essais « classiques » de rupture pouvaient être revisités à l'aide d'outils modernes et fournir de riches informations.

L'importance d'une identification soignée du comportement élastoplastique a été soulignée par la majorité des orateurs. L'effet d'une précipitation voulue (T. Petit, F. Tioguem) ou non voulue (inclusions, L. Jacquet) ainsi que celui de la taille de grains et d'un revenu (A. Milani) ont été quantifiés dans diverses conditions (ténacité, résilience, pliage) sur la résistance à la rupture. Le rôle central des hétérogénéités a également été mis en évidence, qu'il s'agisse de méso-ségrégations de solidification dans des pièces forgées épaisses (P. Joly) ou de micro-hétérogénéités liées à une remise en solution incomplète de précipités intermétalliques dans des aciers à très haute résistance pour train d'atterrissage (D. Delagnes). Le cas de la rupture ductile d'alliages de titane fortement écrouissables et dépourvus de particules de seconde phase pose enfin le problème de l'amorçage de l'endommagement ductile et de la résistance à la localisation de la déformation en présence de la seule solution solide (L. Choisez, C. Varenne).

Superalliages base nickel

La session « Mise en forme, microstructure et propriétés d'usage des superalliages base nickel polycristallins » comportait 19 présentations orales et la conférence plénière de Lee Semiatin, par ailleurs récipiendaire du titre de « Membre d'honneur » de la SF2M. Il était également présenté 7 posters, tous relatifs à la chaire industrielle ANR-Safran OPALE (2015-2019) dont cette session constituait le colloque de clôture.

Le programme de cette chaire concernait l'optimisation des propriétés de superalliages base nickel polycristallins par la maîtrise des microstructures issues des opérations de forgeage. Douze présentations se rapportaient aux travaux de cette chaire, couvrant à la fois la relation procédé-microstructure et la relation microstructure - propriétés d'emploi, sur 3 alliages : l'INCO718 qui reste la référence industrielle et deux alliages récents encore en cours de développement (le René65™ de GE et l'AD730™ d'Aubert et Duval). Il a été

mis en évidence les différents phénomènes de recristallisation dans ces alliages qui dans certains cas apparaissent tout à fait anormaux.

Des études sur l'alliage allemand VD780™, superalliage forgé riche en cobalt, ont également été présentées ainsi que des travaux plus amont sur de nouvelles compositions dans lesquelles les phases η et δ interviennent dans le durcissement. Lors de sa conférence plénière, Lee Semiatin a présenté les phénomènes de dissolution statique de γ' dans le superalliage MdP LSHR (low solvus high refractory) en parallèle à l'alliage de titane TA6V.

Après ces présentations orales toutes de grande qualité, la session s'est terminée par une discussion sur les perspectives de recherche de nouveaux alliages pour haute température. Le développement de nouvelles nuances passera par l'amélioration de la résistance à l'environnement, nécessaire pour les températures les plus élevées mais aussi par la poursuite d'études de base sur les mécanismes de transformation thermo-mécanique en particulier les effets de cinétique et les phénomènes transitoires. Enfin, les industriels aimeraient disposer d'une bonne compréhension du comportement de ces « nouveaux alliages » encore en développement avant d'envisager de nouvelles nuances, de nouveaux procédés...

Session Jeunes « L'histoire des matériaux, toute une carrière ! »

Une session supplémentaire a été organisée par le Groupe Jeunes. Cette session a démarré par une conférence plénière de Louissette PRIESTER sur « Les matériaux et l'homme, un voyage dans le temps et l'espace ». Au cours de la conférence, L. Priester a retracé l'histoire des matériaux à travers l'histoire de l'homme, depuis la préhistoire avec l'utilisation des matériaux naturels, jusqu'à nos jours où ont été évoqués les matériaux « modernes » tels que les matériaux architecturés et les matériaux biomimétiques, ainsi que les enjeux géopolitiques autour de leur utilisation.

Une table ronde sur les métiers et carrières a suivi, avec comme invités Clarisse Angelier (déléguée générale de l'ANRT), Marjorie Cavarroc (ingénieur de Recherche à SafranTech), Vincent Mignotte (directeur de l'ABG), Louissette Priester (professeure émérite à Paris XI), Danièle Quantin (présidente de la SF2M et de Materialia) et comme animateur Frédéric Prima (professeur à Chimie Paris).

Les expériences des divers intervenants ont permis de nombreux échanges avec la salle tout en laissant encore beaucoup de points pour de futurs échanges. Les sujets abordés ont concerné entre autres l'accueil des docteurs dans l'entreprise ainsi que les carrières en particulier managériales versus expertise, les qualités développées pendant la thèse au-delà de la spécialité scientifique (agilité, autonomie, frugalité, créativité...), etc.

Parmi les nombreuses questions qui ont pu être discutées, certaines ont davantage fait réagir le public. Par exemple : qu'est-ce que m'apporte un doctorat par rapport à un diplôme d'ingénieur ? Peut-on faire une HDR (habilitation à diriger des recherches) en industrie, et à quoi ça sert ? Peut-on passer d'expert à manager ? Comment s'y prendre pour



trouver un travail qui soit en accord avec mes convictions ? Dans quelle mesure puis-je m'éloigner de ma spécialité ? À la suite de la table ronde, nous avons reçu beaucoup de retours positifs de la part des jeunes et des moins jeunes faisant partis du public. Un compte rendu plus complet des échanges ayant eu lieu pendant la table ronde est disponible sur la page « Groupe Jeunes » du site de la SF2M.

Cette session s'est terminée par la remise de 2 Prix du Meilleur Poster, incluant pour chacun un certificat, un chèque de 250 € et une adhésion gratuite de 1 an à la SF2M (et au groupe jeunes !). Les critères étaient à la fois esthétique, scientifique et pédagogique. Le jury (constitué de trois binômes associant un animateur du Groupe Jeune et une personne expérimentée de la SF2M) a décidé de décerner le prix à :

- Silvia Lopez Castano (CEMES-CNRS, Toulouse) : « Caractérisation Microstructurale de TA6V élaboré par déposition directe de fil », et ;
- Aron N'Semi-Noah (Mines Paris Tech Evry - CEA, Saclay) : « Développement de méthodes et d'analyses pour l'étude de la ténacité sur petites éprouvettes ».

À la fin de ces Journées, le Prix de la Meilleure Communication Orale a été remis (même récompense que pour les Posters). La sélection du meilleur oral s'est faite via le vote du public et l'évaluation par les « chairpersons » de chaque session. Environ un tiers des participants aux Journées annuelles ont votés. Ainsi, le prix a été attribué à :

- Julien Fausty (CEMEF, Sophia-Antipolis) pour son excellente communication « Anisotropic grain boundary energies and their effects on simulations of grain growth in polycrystals ».

Séance Prix et Médailles

Comme traditionnellement, la séance « Prix et Médailles » a eu lieu à l'occasion de ces journées annuelles. Quinze prix et médailles ont été remis. Le récipiendaire de la Grande Médaille, Jacques Jupille ainsi que notre nouveau membre d'honneur, Lee Semiatin, nous ont fait partager leur carrière et leurs savoirs au cours de 2 présentations passionnantes.

La session 2020 des Journées annuelles de la SF2M aura lieu du 28 au 30 octobre à Caen.