

Émetteur : C. DUMONT

Date : 11 mars 2014

Direction / service : Technique/GRD

Réf. DRD/CD/14.027

Date de la réunion : 16 décembre 2013

Participants : Benoit DELVINCOURT – Jacques LECADET – Patrick DELABORDE – Philippe JACQUET – Louis-Marie RABBE – Philippe PETIT – Olivier LURDOS – Alexandre FORNARA – Eric GEORGES – Jean-Baptiste MAILLET – Christian DUMONT – Denis BECHET – Laurent CLUZEL

Par téléphone et Netwiever : Romain FORESTIER – Arnaud VEZIAN – Marion BESSAGNET

Excusés : Laurent CLUZEL – Denis BECHET

Lieu : UKAD

Destinataire(s) : Participants

Copie(s) :

Objet : **Programme R&D UKAD**

1. Ordre du jour de la réunion

- relecture du précédent compte rendu
- point d'avancement sur les programmes en cours
 - o validation des outils UKAD
 - o fabrications barres 10" en PER718
 - o études TA6V
- Organisation R&D et programme 2014

Les différentes présentations sont jointes en annexes.

2. Compte rendu de la précédente réunion

Cette réunion remplace celle du 21 octobre 2013, annulée et reportée à ce jour. Les différents points du précédent compte rendu ont été repris au cours de la réunion. La question de la démultiplication des travaux R&D auprès des équipes UKAD est pour l'instant remise en question.

3. Validation des outils UKAD

a. Modélisation de la trempe (cf. annexe 1 – planches 1 à 8)

Pour la 1ère fois, ces essais ont été conduits à partir d'un lopin instrumenté en TA6V, soit un CAA 270 mm et de longueur 1380 mm. Nos jeux de données permettent de retomber avec une bonne précision sur les mesures expérimentales, hormis lors de la transition $\beta \rightarrow \alpha$ à cœur (non prise en compte de la chaleur latente de transformation). Ceux-ci étant validés, nous les avons utilisés pour modéliser la trempe de différentes sections de billettes : la durée d'immersion est limitée pour les produits les plus importants, soit \square 650mm. Néanmoins, même pour cette dimension, les durées pratiquées apparaissent



suffisantes puisqu'une fois les produits ressortis à l'air, le refroidissement se poursuit à cœur avec la même cinétique.

Ces calculs ont été couplés avec une prédiction de l'épaisseur des lattes, modèle affiné du stage d'Etienne ARCHAUD (planche 8). Nous montrons que les prélèvements en extrémité de barres ne sont pas représentatifs.

⇒ **actions R&D :**

- ① **Comparer les cinétiques de refroidissement obtenues avec une trempe à l'air, notamment à cœur des produits**
- ② **Reprendre les calculs en intégrant dans les jeux de données la chaleur latente de transformation**
- ③ **Epaisseur des lattes après trempe eau : garder en mémoire la possibilité de faire une expertise métallurgique sur un prélèvement milieu de barre trempée à l'eau, lorsque l'opportunité se présentera**

b. Modélisation FORGE sur fabrications TA6V (thermique/efforts/bouts de barre) (cf. annexe 1 – planches 9 à 22)

Les essais précédents (cf. § 3.a) ont également permis de confirmer la bonne adéquation de nos modèles thermiques pour les opérations d'enfournement, en tous cas, pour les fabrications concernées, soit \varnothing 240 mm dans le cas présent.

L'essentiel des travaux a porté sur la modélisation d'une gamme complète CAA 650 mm → \varnothing 330 mm, à raison de 4 produits par four, soit 4 CAA 650 mm dans FD103 au départ, puis répartis en 2 x 4 produits dans FD103 et FD104 après coupe en 2 au stade CAA 550 mm. Si le recalage avec la thermique en peau est satisfaisant, la modélisation sous-estime largement les efforts, avec des écarts quasi systématiques de l'ordre de 50 %. Cet écart peut provenir soit d'une erreur au niveau des enregistrements presse, soit d'une loi de comportement inadaptée. A noter sur ce dernier point, que nous disposons de données établies à partir de microstructures aiguillées fines ou équiaxes, mais pas du type « spaghetti », telles que nous devons les rencontrer sur nos demi-produits à ce stade.

Les auto-échauffements obtenus au cours du forgeage par rapport à des essais statiques à partir d'un lopin instrumenté (cf. planche 21) permettent d'atteindre plus rapidement le top à température (soit 930 °C). Les nouveaux temps de remise au feu préconisés et qui ont largement amélioré les microstructures seraient donc suffisants, **sauf après coupe en 2. Dans ce cas, les 930 °C ne sont atteints qu'au bout de 2 h 23 théoriques, pour seulement 2 h 15 préconisés dans la gamme.** A noter que l'allongement des temps de remise au feu a conduit à une augmentation des teneurs en H₂, qui ont depuis tendance à devenir limites.

Comme nous avons pu le vérifier par ailleurs sur d'autres outils et d'autres produits au-delà d'UKAD, nous confirmons la capacité de FORGE à rendre compte correctement de la géométrie des extrémités de barres, pourvu que soit pris dans tous ses détails chaque coup de presse (cf. planche 22). Ce résultat ouvre la voie à d'autres travaux, notamment pour ce qui concerne les billettes en PER 706.

⇒ actions UKAD et R&D

- ① **Contacter Daniel CAILLOT pour pister d'éventuelles erreurs au niveau du calcul des efforts dans les acquisitions presse**
- ② **Revisiter nos lois de comportement utilisées pour le TA6V en fonction de la microstructure initiale**
- ③ **Réajuster les temps de remise au feu à l'issue des opérations de coupe en 2**
- ④ **Voir également pour les essais initialement programmés à plus hautes températures, notamment à 1050 °C (recristallisation) et 1150 °C (forgeage β)**

c. Calculs thermiques sur fabrications Ti 10 2 3 (annexe 2)

Des demandes analogues concernent le chauffage des lingots et billettes intermédiaires en Ti 10 2 3, en parallèle des actions conduites à la forge des Ancizes.

⇒ **action R&D : Lancement des calculs suivant le plan indiqué en annexe 2**

4. Gammes PER718 SIEMENS et MTU

Nous avons tiré 2 enseignements majeurs des 2 campagnes précédentes :

- Les forgeages CAA sont préférables aux forgeages octogones, ces derniers entraînant des échauffements plus importants
- Le passage de l'ébauchage à 1120 °C aux finitions à 1010 °C doit se faire sans maintien de stabilisation à cette dernière température.

Par voie de conséquence, les choix contraires génèrent des microstructures systématiquement plus grossières. Ces observations ont pu être validées pour partie par la modélisation. Dès lors une 3^{ème} campagne a été lancée fin octobre en suivant ces prescriptions. En complément, nous en avons profité pour tester l'abaissement de la température lors de la dernière remise au feu à la valeur plus standard de 1010 °C, au lieu de 1030 °C. L'imposition à 1030 °C est héritée des pratiques Ancizes, de façon à effacer en peau les résidus d'écrouissage et de précipitations de phase δ trop denses. Elles présentent l'inconvénient de refaire grossir le grain en périphérie, certes tout en restant conformes aux cahiers des charges, mais à des tailles supérieures à celles observées sur les produits concurrents. La qualité des microstructures obtenues sur UKAD, en liaison avec les cadences plus élevées de la presse, rend cet objectif atteignable, comme nous l'avions espéré au démarrage de ce projet.

Seules les macrographies étaient disponibles au jour de la réunion. Un bilan complet, avec modélisations à l'appui sera présenté lors de la prochaine réunion.

⇒ **action R&D : Terminer les expertises métallurgiques de la 3^{ème} campagne et les dernières simulations qui clôtureront ce projet.**

5. Etudes métallurgiques sur TA6V

a. **Grossissement et taille du grain β (présentation en annexe 3)**

Les travaux réalisés lors du stage de Jordan GALORPEAU à partir de prélèvements lingots, se sont poursuivis, avec cette fois-ci l'étude de la température et du corroyage en phase β . **Ils montrent l'intérêt d'augmenter la température de forgeage β de 1120 à 1160 °C.** La recristallisation, qui intervient dans l'heure qui suit la remise au feu est alors complète, dès le 1^{er} forgeage ($K = 2.25$), ce qui permet ensuite d'affiner davantage la taille du grain β (cf. planches 11 et 12). Des essais complémentaires réalisés uniquement en compression, toujours sur des prélèvements lingots, conduisent au même résultat.

Rappelons que ces travaux ont également montré qu'une recristallisation incomplète après un 1^{er} forgeage β conduit à des hétérogénéités de taille de grains lors de la recristallisation à 1040 °C, avec des cinétiques de croissance très différentes entre les grains initialement recristallisés et ceux encore écrouis (planches 5 à 9). Ces observations ouvrent une piste pour expliquer les macrostructures hétérogènes observées par Pamiers sur du métal RTI traité en β . Des 1^{ers} examens EBSD ont été lancés à Eramet Research sur ces produits afin d'analyser l'orientation des grains en fonction de leur cinétique de croissance dans le domaine β (cf. rapport 48.13/CG/JM). Des différences de texture pourraient être à l'origine de ces écarts.

⇒ **action R&D : Poursuivre les investigations avec des examens en EBSD entre les zones à grossissement rapide ou plus lent (effet de texture ?)**

b. **Globularisation de la phase α**

⇒ **action R&D : relancer ce programme de travail en 2014 avec d'autres moyens de laboratoire, mettant en jeu des changements de chemin de déformation (partenaire visé : Ecole des Mines de Saint-Etienne)**

c. **Réflexions par rapport à la problématique aval (présentation en annexe 4)**

Un plan d'essai a été proposé pour améliorer la qualité des produits laminés aval UKAD (applications médicales et AIRBUS). Nous partons de l'idée qu'à l'engagement dans les cylindres, la microstructure doit être la plus globulaire possible :

- D'une part en retravaillant la gamme de fabrication des \square 270 mm. Pour cela un plan d'expérience a été défini (planches 4 à 6), notamment en introduisant une trempe eau après recristallisation et en augmentant le corroyage α/β (gamme 7 et 8 – planche 5)
- D'autre part en ajustant les conditions de chauffage ou en introduisant un éventuel traitement de globularisation avant laminage. Lorsque ce dernier est introduit en fin de gamme, nous pouvons certes recouvrer des microstructures conformes (passage de A10 jusqu'à A3 selon ETTC2), mais avec un abaissement rédhibitoire des caractéristiques en traction

⇒ **action R&D : dépouillement du plan d'expérience et des essais de laminage aux Ancizes**

6. Programme R&D 2014 (présentation en annexe 5)

Le passage en revue du portefeuille R&D a permis de faire ressortir les points suivants, en complément des actions citées précédemment :

⇒ **actions UKAD et R&D :**

- ① **Nécessité de mettre en place un rituel pour l'analyse des rapports de forgeage en corrélation avec les microstructures obtenues sur produit, en coopération avec l'atelier. Une 1^{ère} réunion de travail est à programmer dans les prochaines semaines**
- ② **Lancer une action « bout de billette PER706 », qui ferait suite aux travaux sur le PER718, qui arrivent à leur terme**
- ③ **Gros volet à prévoir sur le long terme sur les aspects métallurgie de la mise en forme du TA6V (aspects globularisation), l'action listée au § 5.b n'étant qu'une 1^{ère} étape**
- ④ **Action similaire au point précédent à prévoir pour l'alliage Ti 10 2 3, l'action listée au § 2.c n'étant qu'une 1^{ère} étape**

Parmi les autres actions et réflexions de fond sur le TA6V, nous pouvons signaler :

- L'apport du forgeage sur angles (aspects US, microstructures) relativement coûteux en termes de gammes et de mise au mille.
- Comprendre l'origine des différences de comportement entre le métal UKAD et celui issu d'autres élaborateurs ou d'autres types d'élaboration (SKULL par exemple), que ce soit en termes de globularisation, de forgeabilité ou de contraintes d'écoulement.

7. Prochaine réunion

La prochaine réunion est fixée **au 17 mars 2014 de 9 h à 12 h à UKAD.**