

Émetteur : C. DUMONT

Date : 15 octobre 2013

Direction / service : Technique/GRD

Réf. DRD/CD/13.095

Date de la réunion : 15 juillet 2013

Participants : Christophe REBILLON – Jacques LECADET – Patrick DELABORDE – Philippe JACQUET – Louis-Marie RABBE – Philippe PETIT – Olivier LURDOS – Alexandre FORNARA – Eric GEORGES – Jean-Baptiste MAILLET – Christian DUMONT – Etienne ARCHAUD, Alexandre BALLAN et Sébastien TRANCHANT (stagiaires)

Par téléphone et Netwiever : Romain FORESTIER – Arnaud VEZIAN – Jordan GALOPIN (stagiaire)

Excusés : Laurent CLUZEL – Denis BECHET

Lieu : UKAD

Destinataire(s) : Participants (sauf stagiaires) – Benoit DELVINCOURT

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 études TA6V
 - o fabrications barres 10" en PER718

Les différentes présentations sont jointes en annexes.

2. Compte rendu de la précédente réunion

a. forgeabilité TA6V

réévaluer la question de la forgeabilité du TA6V (influence de la chimie ...), nos produits étant de ce point de vue moins bons que certains concurrents (VSMPO notamment) dans le domaine des basses températures (< 800 °C).

⇒ **action terminée**

b. Thermique des fours

Poursuite des essais comme prévus dans le cas des enfournements à 940 °C, avec notamment la mise en œuvre d'un lopin instrumenté en TA6V (□ 270 mm). Pour mémoire, cette action prioritaire est passée devant les travaux initialement programmés (influence de la charge des fours, cas des enfournements à 1050 ou 1150 °C).

⇒ **action UKAD et R&D : cf. présentation dans le cadre de la présente réunion**

c. Modélisation des efforts de forgeage

- En refoulement : pas de nouvelles avancées depuis la dernière réunion : jeux de données presse validés dans le cas des lingots PER706 LF860.

⇒ **action UKAD et R&D : à poursuivre en fonction des opportunités sur nouveaux lingots (dont LF1020)**

- En étirage : 1^{ère} modélisations présentées dans le cadre cette réunion (sur CAA470 → R345 mm)

⇒ **action UKAD et R&D : données acquisition manquantes toujours à compléter pour poursuivre l'action (voir aussi § 3.b)**

- d. Démultiplication des travaux auprès des équipes UKAD

⇒ **action UKAD et R&D : à abandonner ?**

- e. Gamme d'étirage PER 718

Voir présentations dans le cadre de cette réunion

⇒ **actions UKAD, R&D et SM : nouveaux essais définis dans le cadre de réunions spécifiques et programmés en septembre/octobre**

- f. Bac de trempe

Prélèvement sur □ 550 mm recristallisé et trempé non réalisé

⇒ **actions UKAD et R&D : voir comment rebondir sur nouvelle fabrication**

3. Validation des outils UKAD (cf. présentation en annexe 1)

- a. Aspects thermiques

Nous nous sommes dans un 1^{er} temps intéressés à la transformation de 4 CAA650 en R345 mm à 940 °C (planches 1 à 6). Pour chaque planche est présentée l'histoire de la 1^{ère} barre qui voit donc les enfournements des 3 autres, à chaque stade (CAA550, CAA470, CAA400 et T345). Ces résultats sont basés sur les essais avec le lopin instrumenté en X25. Ils devront être confirmés avec de futurs tests mettant un jeu un lopin instrumenté en TA6V. La consigne actuelle de durée de remise au feu de 2 h 15 min. -0/+2h apparaît limite pour réchauffer suffisamment les grosses sections (jusqu'au stade CAA400 mm). La coupe en 2 de la chaude pénalise grandement les temps nécessaire pour remonter en température (cf. cas du CAA470 mm).

Les 1^{ers} résultats partiels ont été présentés avec le □ 270 mm instrumenté (planches 13 à 17) au chauffage et au refroidissement (simulation d'une trempe pour la gamme R250 mm). Les données sont largement incomplètes pour le chauffage (manque acquisition FD103 et ruptures de thermocouples). A la trempe, nous avons un 1^{er} accord acceptable à partir d'un 1^{er} jeu de données estimé antérieurement. A noter l'effet mineur de la non prise en compte de l'aspect a priori exothermique de la transformation $\beta \rightarrow \alpha$.

- b. Aspects prédiction des efforts (planches 7 à 12)

Les 1^{ers} résultats sont encourageants pour une 1^{ère} approche, mais des améliorations sont encore nécessaires, notamment en reprenant les acquisitions qui sont encore manquantes.

⇒ **actions UKAD et R&D :**

- ① **Poursuivre les dépouillements avec les jeux de données manquants à récupérer (four FD103, efforts presse sur CAA650 et 470 mm, ...)**
- ② **Reconduire l'essai avec 6 billettes sur gamme R250 mm avec le lopin instrumenté en TA6V (□ 270 mm remis en état)**
- ③ **Reprendre même approche (purement calcul dans un 1^{er} temps) pour le Ti 10 2 3**
- ④ **Voir également pour les essais initialement programmés à plus hautes températures, notamment à 1050 °C (recristallisation) et 1150 °C (forgeage β)**

4. Etudes métallurgiques sur TA6V

a. Grossissement et taille du grain β (stage ARDEM – présentation en annexe 2)

Ces travaux s'appuient sur des essais de forgeage à l'ARDEM sur prélèvements lingots □ 65 x 150 mm. Ils font suite à une étude conduite l'an passé sur du métal issu de billettes pour lequel nous avons volontairement fait grossir le grain β , pour obtenir des microstructures initiales les plus grossières possibles. Même en partant de lingot, nous vérifions cette fois encore que la fraction recristallisée du grain β après recristallisation n'est pas pilotée par le corroyage α/β préalable, en tout cas pour les taux appliqués, proches des gammes réelles : nous obtenons une recristallisation complète après chauffage à 1040 °C, quel que soit le taux de déformation en α/β . Nous n'avions donc pas introduit la 1^{ère} fois de biais en travaillant à partir du produit déjà corroyé.

En complément, les travaux de l'ARDEM mettent clairement en évidence que la microstructure est essentiellement pilotée par la déformation et les traitements en β :

- L'augmentation du corroyage en β et de la température augmente la fraction recristallisée et la taille du grain β
- Les zones qui restent écrouies après le 1^{er} forgeage β , recristallisent à grains plus fin après le traitement à 1040 °C. La différence avec les zones initialement recristallisées, plus grossières, s'accroît avec le temps.

Ce dernier résultat est à rapprocher des observations faites à Pamiers sur les tailles de grain des billettes traitées β . En cas d'hétérogénéité de microstructures (cas observé sur une plaquette RTI par rapport à une plaquette UKAD), les différences s'accroissent avec le temps : les zones les plus fines ont tendance à le rester, tandis que les plus grossières continuent d'évoluer.

⇒ **actions R&D :**

- ① **Poursuivre les investigations avec des examens en EBSD entre les zones à grossissement rapide ou plus lent (effet de texture ?)**
- ② **Poursuivre les travaux avec les 2 axes d'investigations suivants : température de déformation en β et répartition du corroyage en β et α/β**

b. Globularisation de la phase α (stage ANCIZES – présentation en annexe 3)

L'objectif de ce travail est d'aboutir à (long !) terme à une prédiction du taux local de globularisation de la phase α en fonction du corroyage finale en α/β . Notre modèle permettant de calculer la taille des liserés en fonction de la vitesse de refroidissement au cours de la trempe (état initial) a été revisité et validé. Par contre, nous confirmons que les essais de torsion à chaud seuls ne sont pas suffisants pour permettre une analyse complète et fiable de l'influence des paramètres thermomécaniques (déformation, température, ...). Ainsi, s'il est admis qu'un

corroyage K de l'ordre de 3 à 4 est le minimum requis pour garantir une globularisation acceptable ($K = 6$ pour une globularisation idéale - application pièces tournantes), nous retrouvons les mêmes tendances en torsion, mais en raisonnant sur les taux de déformation ε (or en 1^{ère} approche $\varepsilon = \ln K$) ! L'influence évidente du chemin de déformation va nous amener à mettre en œuvre d'autres essais (compression multiaxiale). Toutefois, nous avons retrouvé en torsion une évolution clairement non linéaire de la globularisation avec la déformation, avec un effet de seuil très marqué (aucune évolution en-deçà de $K = 2$).

⇒ **actions R&D : relancer ce programme de travail en 2014 avec d'autres moyens de laboratoire (partenaire visé : Ecole des Mines de Saint-Etienne)**

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

Le laminage ne permet pas de globulariser les microstructures, en tout cas aux températures pratiquées jusqu'à présent (890 °C sur produit en sortie pits) : les liserés s'orientent suivant le sens long du produit, sans morcellement efficace. Augmenter la température de chauffage en pits (attention aux risques de dépassement du transus !) constitue bien sûr une voie à tester, mais sans doute insuffisante. Les pratiques antérieures (années 80/90) qui se situaient à 920 °C, donneraient des résultats aujourd'hui non conformes avec les cahiers des charges actuels. Il est clair qu'à l'entrée du laminoir (\square 270 mm), la structure doit être globularisée au mieux.

⇒ **actions R&D : proposer un plan d'essais visant à améliorer le niveau de globularisation sur les produits en entrée du laminoir. Cette action pourra s'appuyer sur les gammes connues issues de la concurrence**

5. Fabrications barres 10'' en PER718 (présentations en annexes 5 et 6)

Les résultats de l'essai du 15 avril sont présentés en annexes 5. Les résultats sont globalement corrects avec toutefois la présence de grains trop grossiers (typiquement structures duplex légèrement écrouies 4/5 + colliers jusqu'à 8 ASTM). Ce constat concerne surtout la variante testée par rapport à la gamme Ancizes historique (FO1730) sur PYRAD53NW avec barres octogones. Il est par ailleurs probable que le rallongement des temps de remises au feu, certes bénéfiques, ont été cette fois-ci poussés trop loin. La chaude supplémentaire à 1120 °C (refoulement et étirage en 2 chaudes pour des raisons pratiques à UKAD) n'arrange rien. Une 1^{ère} analyse de l'histoire thermique cœur / peau des produits via des simulations FORGE a été présentée en réunion (annexe 6). Pour la suite, nous nous acheminons donc vers la reproduction au plus près de la gamme FO1730 des Ancizes avec des temps de remise au feu à 1010 °C définis à 45 min. (0/+10 min.) et limités à 30 min. à 1120 °C.

⇒ **actions SM, R&D et UKAD :**

- ① **Poursuivre les examens micros sur d'autres plaquettes prélevées le long de la barre**
- ② **Terminer l'analyse de l'histoire thermomécanique des barres (simulations FORGE)**
- ③ **Statuer sur la gamme définitive sur la prochaine fabrication (gamme de qualification). Faut-il maintenir la remise au feu finale à 1030 °C ?**

6. Prochaine réunion

La prochaine réunion est fixée au 21 octobre 2013 de 9 h à 12 h à UKAD.