

Émetteur : J.ESCAFFRE

Date : 04/11/2014

Direction / service : Technique / DPE

Réf. DPE-14-2644

---

Date de la réunion : 03/11/2014

Participants : AD : R.ALLIER, T.BARRE, D.CAILLOT, J.ESCAFFRE, S.HANS, C.DUCREUX.

Pr. Alec MITCHELL (par téléphone)

---

Lieu : Les Ancizes

Destinataire(s) : Les participants, P.HERITIER, P.DELABORDE, H.POISSON, J.LECADET.

Copie(s) :

Objet : Réunion téléphonique avec Alec Mitchell - Discussions sur le procédé PAM

---

Le sujet principal de cette 1<sup>ère</sup> réunion est le procédé PAM.

## 1 - Liste des paramètres PAM

La liste des paramètres PAM pour suivi et enregistrements a été présentée à A.Mitchell. Elle lui semble tout à fait standard et complète.

Cependant, la question principale concerne la durée de vie des torches. Ainsi, il est important de suivre (par SPC) et de mesurer la température de l'eau sortant des torches, mais également de suivre le rendement des torches via la température de l'eau en entrée et le débit d'eau.

Concernant la mesure des dimensions du puits liquide, elle devrait être possible avec une caméra si la visibilité du puits est suffisante. Celle-ci dépend de la quantité d'éponges utilisée dans les charges du four :

- Si la quantité d'éponges est inférieure à 10% de la charge, une caméra optique suffit,
- sinon, il faut utiliser une caméra thermique (IR).

EcoTitanium devrait travailler avec des charges constituées au maximum de 20% d'éponges.

La calibration de la caméra thermique se fait à la température de solidification (limite solide/liquide).

Il n'existe pas de systèmes pour mesurer en continu la profondeur du puits liquide. Des études ont été réalisées à Sandia sur un système constitué d'un laser, mais la mesure reste difficile du fait d'un résultat trop bruité. La mesure peut se faire éventuellement par marquage du puits liquide à un instant donné sur un lingot d'essai.

Toutefois, cette profondeur n'a pas une valeur constante et dépend fortement du mouvement des torches plasma.

## 2 - Fréquence d'oscillation à appliquer pour le retrait du lingot dans le four PAM

Comme pour le four EB, les paramètres de l'oscillation sont un mouvement de l'ordre de 2 mm toutes les 30 s, avec une remontée rapide et une descente de l'électrode plus lente (comme pour la coulée continue). Cette pratique est plus aisée avec un système mécanique plutôt qu'hydraulique. Cependant, elle doit être ajustée en fonction de la taille du lingot.

## 3 - Mesure du niveau de liquide dans l'anneau mouleur

- Dans le cas d'une gamme de fabrication PAM + VAR, ce paramètre n'est pas très critique. Un contrôle de la tension est suffisant (utilisation de la relation tension / distance entre la torche et le métal liquide).
- Dans le cas d'une gamme de fabrication PAM seulement, il est important d'avoir un bon état de surface et donc de contrôler plus précisément ce paramètre. Un système de caméra IR peut être utilisé ou le contrôle par la tension avec un développement indispensable pour s'assurer de la précision de la mesure (en particulier si le taux d'éponges utilisé est important). En effet, dans le cas d'un lingot de grand diamètre, cette pratique est difficile du fait du mouvement de la torche et de l'évolution du puits

liquide du lingot. Il faudrait donc développer une procédure (mise au point d'un « pattern » adapté) qui permettrait par exemple de mesurer cette distance et la tension associée au centre de l'électrode.

## 4 – Mesures de la composition du gaz dans l'unité de recyclage hélium

Il est important de contrôler la teneur en H<sub>2</sub>, qui peut être repris par le titane. Ainsi, il faut mesurer la teneur en H<sub>2</sub> en sortie d'unité de recyclage et le taux d'humidité en entrée pour déterminer le bon fonctionnement de l'unité de recyclage hélium.

La teneur maximum en H<sub>2</sub> dans une électrode PAM doit être de 30 ppm et de seulement quelques ppm dans un lingot VAR final. L'hydrogène a tendance à dégazer au cours du procédé VAR, mais pas complètement et cela entraîne une interaction avec l'arc.

→ A.Mitchell devrait envoyer des publications pertinentes concernant la solubilité de l'H<sub>2</sub> dans le titane.

## 5 – Essais à mener sur le four PAM

Deux types d'essais sont à mener :

- Les essais de développement permettant d'optimiser nos paramètres de fusion,
- Les essais de qualification auprès des clients.

➤ Tests de développement :

Les premiers tests à mener concernent l'optimisation des « pattern » des torches, et en particulier il faut évaluer :

- Quelle est la puissance réelle transférée au métal liquide ?
- Quelles tension et intensité pour optimiser la puissance transférée au métal liquide (vitesse de fusion) ?
- Quel « pattern » de la torche pour éliminer les LDI ? une surchauffe de 100°C devant être appliquée.

Le « pattern » de la torche n'a pas d'effet sur le rendement en puissance, mais sur l'uniformité en température. Une énorme augmentation de l'énergie est nécessaire pour compenser la perte par rayonnement, mais un grand volume de liquide à une certaine surchauffe est plus efficace qu'une grande surchauffe localisée.

Il peut également être intéressant d'évaluer le temps de résidence du métal dans les soles d'affinage ou le volume de métal liquide dans le skull. Mais ces essais ne sont pas indispensables pour qualifier le four.

➤ Tests de qualification clients :

Ils concernent principalement les tests d'ensemencement de la coulée afin d'évaluer la capacité du four PAM à éliminer les défauts types LDI et HDI.

Ces tests ont été standardisés (→ A.Mitchell doit envoyer des informations à ce propos).

Par exemple l'introduction de LDI se fait via des éponges nitrurées ou des nitrures dans des pièces soudées (nécessité d'avoir un laboratoire pour déterminer la teneur spécifique en azote).

L'examen après ensemencement se fait via un contrôle US sur des barres laminées de diamètre 2 inch (4 inch pas suffisants pour amorcer des ruptures sur les LDI).

Une surchauffe importante est plus efficace qu'un temps de résidence long pour éliminer les LDI. De même, il est important d'avoir un volume liquide à haute température suffisant dans la sole d'affinage pour éliminer les inclusions.

Concernant les HDI, leur élimination est plus simple. L'ensemencement se fait à l'aide de morceaux d'outils de coupe...etc. L'examen est réalisé sur le skull par radiographie X.

La macrostructure de l'électrode PAM n'est pas un aspect important du procédé. Il est plus pertinent de contrôler la composition chimique sur toute la longueur de l'électrode.

## 6 – Divers

➤ Spécification éponges :

A.Mitchell a également indiqué que la teneur des éponges en chlore était une donnée très importante, afin de réduire les poussières. L'idéal est d'avoir un pourcentage en chlore faible, de l'ordre de 700-800 ppm (%Cl=0.1% max dans la spécification négociée entre EcoTitanium et UKTMP). Pour atteindre les 800 ppm, le temps de distillation du procédé Kroll doit être augmenté (durée > 24h).

Prochaine réunion téléphonique : lundi 24 novembre à 17h.