

Émetteur : J.ESCAFFRE

Date : 16/12/2014

Direction / service : Technique / DPE

Réf. DPE-14-2648

---

Date de la réunion : 15/12/2014

Participants : AD : R.ALLIER, T.BARRE, D.CAILLOT, J.ESCAFFRE, S.HANS, H.POISSON.  
Pr. Alec MITCHELL (par téléphone)

---

Lieu : Les Ancizes

Destinataire(s) : Les participants, P.HERITIER, P.DELABORDE, J.LECADET, C.DUCREUX.

Copie(s) :

Objet : Réunion téléphonique avec Alec Mitchell - Discussions sur le procédé VAR et autres sujets

---

## A - Procédé VAR

### 1 - Liste des paramètres VAR

La liste des paramètres VAR pour suivi et enregistrements a été présentée à A.Mitchell. Elle lui semble assez complète.

### 2 - Régulation VAR

2 modes de régulation :

- intensité ou vitesse de fusion et
- avance par le contrôle de la tension

Le contrôle par impulsions à la place de la régulation par la tension (comme cela est réalisé pour les aciers et superalliages) n'est pas une pratique courante pour le TA6V. Il semble qu'il puisse être appliqué au Ti10-2-3 pour des vitesses de fusion plus faibles que le TA6V, mais cette pratique n'amène pas de très bons résultats.

Au cours des 3 phases de la refusion (amorçage, régime et masselottage), le mode de régulation utilisé n'est pas le même :

- amorçage : intensité et tension
- régime : vitesse de fusion et tension
- masselottage : intensité et tension

Une régulation par l'intensité, au lieu de la vitesse de fusion, est possible au régime pour le TA6V, mais implique une moins bonne reproductibilité du fait d'une plus grande variation des paramètres de refusion. Pour des vitesses de fusion plus faibles (type Ti10-2-3), la régulation par l'intensité est nécessaire.

La caractérisation de la longueur d'arc en fonction de la tension peut être réalisée au cours d'essais et présente une assez bonne reproductibilité s'il s'agit d'une seconde fusion (VAR après PAM car électrode de bonne qualité). Pour le TA6V, avec une tension de 35 V, la longueur d'arc est de l'ordre de 20 mm. La nuance Ti10-2-3 présente des caractéristiques plus proches des superalliages base nickel, avec une puissance et une longueur d'arc plus faibles.

La course de la tige doit être unidirectionnelle, c'est-à-dire que la tige ne doit pas pouvoir remonter au cours de la refusion.



### 3 – Procédure d'amorçage de l'arc

Il est préférable que l'amorçage de l'arc se fasse avec des copeaux en vrac placés sur la base de la lingotière. Plusieurs kg de copeaux doivent être utilisés (environ 3 kg pour un creuset de 800 mm de diamètre). Il est important d'avoir une couche épaisse de copeaux sur la base pour éviter un contact direct entre l'arc et la base. La zone la plus épaisse doit se situer à la périphérie de la base pour protéger le joint du creuset.

Au début, un courant de faible intensité doit être appliqué. En effet, un courant d'intensité élevée risque de souffler les copeaux et d'entraîner un contact direct de l'arc avec la base. Si cela devait arriver, cela provoquerait une usure de la base et un risque élevé d'explosion.

L'électrode doit être chauffée pendant environ 20 min à faible intensité entraînant la fusion des copeaux. Puis l'intensité peut être augmentée.

### 4 – Paramètres VAR

#### - Refroidissement :

Le refroidissement du lingot VAR peut être réalisé sous He. Ceci peut avoir des effets bénéfiques en particulier pour la nuance Ti10-2-3. Cependant, cette pratique n'est pas indispensable pour le TA6V.

#### - Masselottage :

Un masselottage standard pour le Titane doit durer environ 2h30 pour un lingot de diamètre 800 mm, avec une intensité du courant faible, de l'ordre de 5 kA. La première heure de masselottage doit présenter une diminution de l'intensité et de la vitesse de fusion.

Au cours du masselottage, on observe un phénomène d'évaporation de l'Aluminium au sommet du lingot, mais également au niveau des gouttes de métal présentes sur la pointe de l'électrode.

Ainsi, si le masselottage est long, la retassure au sommet du lingot peut être réduite, voire être complètement éliminée, mais il résultera un appauvrissement notable en Al dans cette zone. Il est donc important de contrôler la solidification afin de réduire la retassure sans perte importante d'Al.

La retassure est facilement détectable par contrôle US. Elle n'est pas forcément située au centre du lingot.

Des défauts de type bêta-flecks peuvent être observés si une ségrégation en Fe a lieu dans le lingot.

#### - Forme de l'électrode et soudure stub/électrode :

L'électrode est légèrement concave avec des protubérances, dues à la solidification de gouttes de métal liquide, présentes plutôt en périphérie. La hauteur de la galette finale est conventionnellement de l'ordre de 5 cm. Cette galette n'est pas recyclable au PAM, en particulier pour les applications PQ.

La qualité de la soudure stub/électrode est très importante puisqu'elle peut affecter le comportement de l'arc et le transfert de chaleur et donc la vitesse de fusion. Ainsi, la soudure stub/électrode doit être la plus reproductible possible afin d'avoir une bonne reproductibilité de la refusion.

Il n'est d'ailleurs pas courant pour nos concurrents de souder l'électrode et le stub dans un four VAR. Ils utilisent le plus souvent un stub welder.

#### - Brassage :

Pour un lingot en TA6V de 800 mm de diamètre, les paramètres de brassage à appliquer sont 40 Gauss (10 A) avec une période d'alternance de 90 s, qui est le temps nécessaire pour atteindre la vitesse maximale de rotation du puits liquide avant l'inversion du sens de brassage permettant ainsi un brassage maximum.

En Asie, les pratiques de brassage sont plutôt de l'ordre de 20 Gauss pour le champ magnétique avec une période d'alternance de 2 min.

En Grande Bretagne, des champs magnétiques d'intensité plus élevée sont utilisés (environ 100 Gauss) avec de faibles périodes de brassage.

#### - Outillage :

Concernant la base de la lingotière, la même nuance de cuivre que celle de la lingotière peut être utilisée. La nuance Cu-Cr peut également être utilisée, mais n'est pas très courante. L'épaisseur de la base est de l'ordre de 5 cm. Une inspection régulière de la base est indispensable. En effet, une fois que la base a commencé à s'éroder, l'arc va se concentrer sur les trous formés.

La lingotière VAR possède une légère conicité : environ 20 mm sur la longueur du moule.

#### - Luminescences :

Aucune luminescence n'est observée lors de refusion d'électrode PAM, qui est équivalente à une refusion finale (dans une gamme double VAR). Elles sont en effet plus courantes lors de la 1<sup>ère</sup> refusion à partir d'une électrode constituée d'éponges (les éléments H, Mg ou Cl sont responsables de la présence de luminescences).

## B - Procédé PAM

Des informations concernant la vitesse de fusion utilisée par des concurrents ont été discutées avec A.Mitchell. Elles font état de :

- 500 kg/h pour la qualité standard,
- 300 kg/h pour la qualité premium.

EcoTitanium a prévu une vitesse de fusion de 1000 kg/h.

D'après A.Mitchell, les raisons d'utiliser des vitesses si faibles, en particulier pour la qualité premium sont :

- l'augmentation du temps de résidence pour dissoudre les LDI (cela dépend aussi de la taille de la sole d'affinage),
- la puissance des torches installées dans le four qui est insuffisante pour atteindre des vitesses plus élevées.

Les limitations de taille de lingot imposées par nos concurrents pour l'application PQ (poids maximum de 5 t et diamètre maximum de 700 mm) n'auraient pas de raison métallurgique, mais seraient dues à une limitation de puissance des torches. En effet, si les capacités de fusion sont trop limitées, cela peut entraîner des irrégularités dans la fusion et donc dans la solidification de l'électrode PAM, pouvant être la cause d'irrégularités du comportement de l'arc pendant la refusion VAR et donc affecter la qualité finale du lingot VAR.

Selon A.Mitchell, la profondeur du puits liquide au PAM pour une électrode de 800 mm est de l'ordre de 40 cm. La faible profondeur de 20 cm annoncée par certains serait due à une faible puissance de torches et une faible vitesse de fusion.

## C – Traitement des chutes

D'après les informations collectées sur les pratiques de nos concurrents, il semblerait que les chutes massives qu'ils enfournent soient coupées à des petites dimensions à l'aide de torches.

D'après A.Mitchell, cette pratique serait acceptée par les clients dès lors que les fournisseurs de lingots aient fait la preuve de la capacité du PAM à éliminer les LDI. Il suppose que la torche utilisée est un plasma argon qui ne constitue pas une protection complète du métal contre l'oxydation ou la nitruration.

## D – Unité de pesage / mélangeage

- la bande amenant les éléments (copeaux, éponges, masteralloys...) vers les mélangeurs peut être en caoutchouc, mais le matériau le plus couramment utilisé est l'acier. La bande en caoutchouc peut effectivement être une source de pollution, mais c'est moins critique pour une fusion PAM que pour le VAR.
- La taille de batch à mélanger la plus grande est de 1t.
- Les trémies doivent être en acier, si possible au carbone. La présence possible de rouille n'est pas un problème car elle entraîne une contamination en O faible. L'inox implique trop d'érosion lors de son utilisation et une contamination possible par le Cr.

La pratique visant à mélanger des chutes massives avec des briquettes de compensation dans les drum feeder est plus courante en EB. Seulement les briquettes doivent être suffisamment bien compactées pour éviter leur destruction dans et à la sortie du drum feeder.

## E – Divers

Les pratiques de certains concurrents ne semblent pas basées sur des principes métallurgiques, mais plutôt sur la capacité de leurs équipements.

Selon A.Mitchell, les concurrents ayant les meilleures pratiques sont ATI et VSMPO du fait de leur grande expérience.