

## SYNTHESE DES ESSAIS

### DEBIT BILLETES

#### 1°) PAR SCIAGE sur SCIE KASTO

- tentative de débit billettes par sciage vaine
- rubans de scie inadaptés au sciage du titane
- vitesse de coupe initiale trop élevée
- pénétration de lame nulle après émoussage de la denture
- Yvon Le Collen nous transmettra référence ruban et paramètres de coupe

#### 2°) PAR TRONÇONNAGE A SEC sur TRONÇONNEUSE RGA

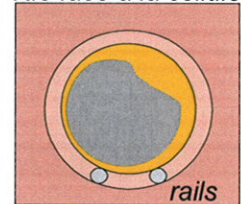
- personnel sur poste équipé de lunettes anti-UV et masque FFP3
- aspiration unité de filtration coupée
- protection de gaines exposées aux projections de meulage
- 1er segment coupé avec disque 508x4.5x25.4 A24PBF 80m/s (DL Abrasif)
  - tronçonnage avec difficulté modérée
  - mordant disque abrasif modéré
  - puissance de tronçonnage limite (calage de la machine 1 fois)
  - disque détérioré à la fin de la coupe
  - émission de fumée relativement contenue par le carénage
- 2nd et 3ème segments coupés avec disque 500x4.5w25.4-3K24P.B1F2 100m/s (Slipnaxos)
  - tronçonnage avec difficulté modérée
  - mordant disque abrasif plus important
  - puissance de tronçonnage limite (calage de la machine plusieurs fois)
  - disque détérioré après 1,75 coupe
  - difficulté à recaler le disque dans la coupe après changement
  - émission de fumée relativement contenue par le carénage

les types de disques de tronçonnage ne sont probablement pas les plus adaptés il faudrait diminuer la pression sur le disque pour le tronçonnage du titane

### CHAUFFE INDUCTION DES BILLETES

- machine de chauffe par induction AEG : voltage maxi 1000V , fréquence 1000 Hz
- pyromètres optiques monochromatiques sans réglage de l'émissivité
- visée avec pyromètre optique portable , émissivité réglée pour titane
- asymétrie de la chauffe nettement visible en début de cycle (voir ci-contre)

vue face à la cellule



#### 1ère billette

- paramètre de chauffe : température visée 950°C , voltage 770V , temps 8 mn
- arrêt de la chauffe à 5 mn (sortie et transfert billette à tps = 6 mn)
- chauffe au-delà du transus : température atteinte 1050 °C

#### 2nde billette

- paramètre de chauffe : température visée 950°C , voltage 700V , temps 6 mn
- température à 4 mn de chauffe : 767 °C
- température à 5 mn de chauffe : 870 °C
- température à 6 mn de chauffe : 948 °C

#### 3ème billette

- paramètre de chauffe : température visée 950°C , voltage 670V , temps 6 mn
- température à 4 mn de chauffe : 761 °C
- température à 5 mn de chauffe : 860 °C
- température à 6 mn de chauffe : 941 °C

- temps de transfert machine AEG / machine à forger : ~ 1 mn (fin de chauffe / début forgeage)

### FORGEAGE MACHINE à FORGER GFM

- ébauche forgée Ø 50 mm
- marteaux "ronds"
- forgeage en 5 passes
- pyromètres bi chromatiques de contrôle température de chaque coté du forgeage
- 1ère billette forgée en mode pas à pas pour contrôler la température après chaque passe
- 2nde et 3ème billettes forgées en mode automatique
- peu d'échauffement adiabatique

#### 1ère billette

- température 1ère passe de forgeage : 902 °C
- température dernière passe de forgeage : 955 °C

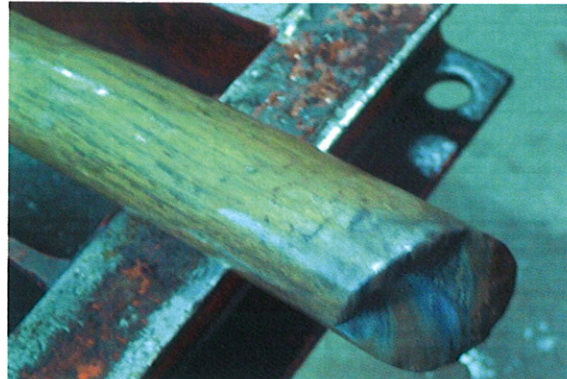
### 2nde billette

- température 1ère passe de forgeage : 880 °C
- température dernière passe de forgeage : 931 °C

### 3ème billette

- température 1ère passe de forgeage : 870 °C
- température dernière passe de forgeage : 928 °C

- aspect de surface forgée régulier , quelques arrachements ou collages minimes
- du fait de l'asymétrie de la chauffe par induction , le puits de déformation de forgeage est décentré
- ce phénomène est constaté aux 2 extrémités sur les 3 ébauches forgées
- du fait de la longueur des ébauches ~ 2100 mm la barre forgée en fin de recul du manipulateur B est tenue seulement par les mors
- fluage du titane :
  - l'ébauche s'incline faute de soutien
  - extrémité dans les mors fortement déformée
- ormis le phénomène de fluage, les mors du manipulateurs marquent fortement le produit



### REFROIDISSEMENT DES EBAUCHES

à température ambiante , en extérieur

### EBOUTAGE EBAUCHES FORGEES

- par tronçonnage à sec sur RGA avec disque 500x4.5w25.4-3K24P.B1F2 100m/s (Slipnaxos)
- aspiration sur unité de filtration coupée
- protection lunettes anti-UV et masque FFP3
- pas de difficulté
- coté libre : éboutage minimum + prise d'échantillon de caractérisation
- coté mors : coupe de la partie déformée / fluage de l'ébauche forgée

### RECHAUFFAGE FOUR ELECTRIQUE OFU (avant laminage)

- introduction barres froides
- consigne température four : 970°C
- temps de passage : 25 mn
- paramètres adaptés pour obtenir une température de ~ 915°C en entrée de laminoir

### LAMINAGE

- laminage en 5 passes d'un plat 50,0 x 8,0 mm
- laminage de l'ébauche forgée en une pièce
- recette de laminage 0501X080.071

#### 1ère billette

- blocage en sortie de 1ère passe / problème en cage 4
- cotes du produit fin de 1ère passe conformes / cotes programme
- produit remis au four et relaminé en 5 passes avec recette 0502X080.071
- cotes à chaud conformes : 50,70 x 8,05

#### 2nde billette

- laminage en 5 passes sans problème
- cotes à chaud non-conformes : 51,60 x 7,95
- élargissement réel plus important que celui calculé
- correction des ouvertures cylindres

#### 3ème billette

- laminage en 5 passes sans problème
- cotes à chaud conformes : 50,90 x 8,08

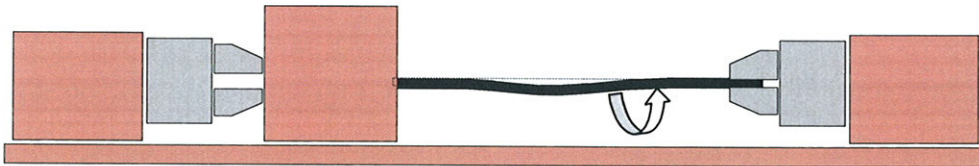
- pas de difficulté à l'engagement malgré le peu d'inertie du à la faible masse du produit (16kg)
- produit assez "mou" lors du laminage , marque un peu au niveau des platines guides
- prévoir un montage type ferronickel pour limiter la marque des platines
- pas d'échauffement adiabatique
- baisse de température de 50 à 60 °C durant le laminage

## EBOUTAGE ET MISE A LONGUEUR

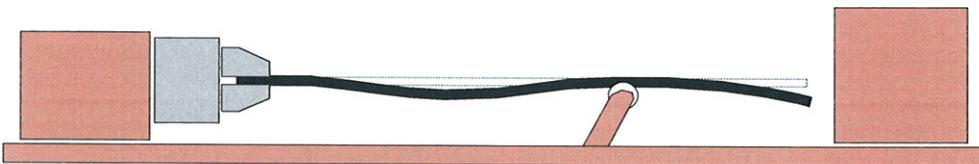
- par tronçonnage à sec sur NOFEM avec disque 500x4.5w25.4-3K24P.B1F2 100m/s (Slipnaxos)
- aspiration sur unité de filtration coupée
- protection lunettes anti-UV et masque FFP3
- pas de difficulté
- coupe d'un échantillon de caractérisation à chaque extrémité et milieu des 3 barres laminées

## CONCLUSION

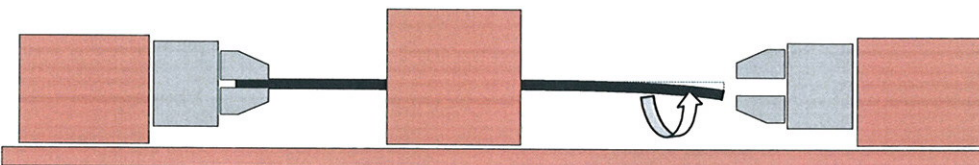
- essai globalement positif
- il a été possible de tronçonner, chauffer par induction, forger et laminier des produits en TA6V
- pour l'ensemble des outils il semble juste nécessaire d'affiner / optimiser le paramétrage / TA6V
- seule la caractérisation des produits forgés et laminés, notamment la structure, permettra de valider la capacité des outils du site à transformer à chaud le TA6V
- les essais ayant été réalisés sans atmosphère réductrice, il faut aussi déterminer l'épaisseur de la couche polluée (alpha case)
  
- point qui n'a pas été expérimenté et n'est pas sans interrogation :  
éboutage et coupe à longueur des ébauches forgées entre la machine à forger et le four de réchauffage (sur HSS tronçonnage à sec à chaud)  
→ trouver une solution industrielle et sécurisée, autre que de dévier le flux pour refroidir et ébouter les ébauches forgées avec introduction de barres froides au four OFU
  
- plusieurs questions se posent suite aux essais
  - possibilité de réduire l'asymétrie de chauffe sur la machine de chauffe AEG
  - les paramètres de chauffe doivent être optimisés pour une meilleure homogénéité de T°C probablement un voltage moins élevé et un temps de chauffe plus long que 6 mn pourrait être expérimenté sur 2<sup>nd</sup>e campagne d'essais S22
  - utilisation de pyromètres monochromatiques sur la machine de chauffe correction de l'émissivité à faire pour avoir un enregistrement de données cohérent
  - comportement d'ébauches forgées longues et/ou de faible section en cours de forgeage dans les 3<sup>ème</sup>, 4<sup>ème</sup> et 5<sup>ème</sup> passes / fluage lorsque l'ébauche est "suspendue" entre l'entrée de la boîte à forgée et le manipulateur en position reculée



- comportement d'ébauches forgées longues et de faible section ( $\varnothing$  33 mm Lg 5000) entre la fin du forgeage et l'évacuation, compte tenu du fluage important du TA6V



- comment améliorer le soutien de l'ébauche forgée avant évacuation pour limiter la déformée
- lors de la dernière passe de forgeage du rond  $\varnothing$  33, le manipulateur A ne tient pas l'extrémité de l'ébauche : comment se comportera l'extrémité libre de la barre pendant la passe



- nécessité d'ajouter un supportage pour les ébauches longues et/ou de faible section

A ce stade des essais, il apparaît que les points qui nécessiteront un investissement pour passer au stade industriel sont : le tronçonnage amont (débit billettes), le supportage des ébauches au forgeage et l'opération d'éboutage et de coupe en tronçons des ébauches forgées en ligne (solution à définir);  
Autres aspects : séparation et filtration meulures à la tronçonneuse en fin de ligne, outillage laminoir dédié pour éviter le marquage produits et l'amélioration de la machine de chauffe AEG / homogénéité de température

BILLETTE 1	
<p><b>COULEE 822015193 - TA6V</b> billette Ø 101 mm - Lg 520 mm</p> <p><b>CHAUFFE AEG</b> Température visée : 950°C Voltage : 770 V Trajet : 1050 / 1140 Temps : 8 mn arrêt chauffe à 5 mn</p> <p>Température à 5 mn : 1102 °C Mesure pyromètre : 1050 °C</p> <p>Temps de transfert chauffe / forgeage : 1' 10"</p> <p><b>FORGEAGE</b> <b>Rond forgé Ø 50 mm</b> Puissance Maxi. Atteinte : 85 T passe 1 Puissance Maxi. Atteinte : 85 T passe 2 Puissance Maxi. Atteinte : 85 T passe 3 Puissance Maxi. Atteinte : 83 T passe 4 Puissance Maxi. Atteinte : 82 T passe 5</p> <p>Température début forgeage 902 °C (965°C) Température fin forgeage 955 °C (1015°C)</p> <p><b>FOUR OFU</b> <b>Température visée : 950°C</b> Introduction barres froides Température consigne : 970 °C Temps de passage : 25 mn</p> <p><b>LAMINAGE</b> <b>plat 50,00 x 8,00 mm - outillage type Standard</b> <b>recette 0502X080.071</b> Température passe 1 : 901 °C Température passe 3 : 856 °C Température passe 5 : 840 °C refroidissement laminage 61 °C températures relevées à l'affichage supervision <i>barre bloquée en sortie de passe 1 (cage 4)</i> <i>remis au four et relaminé avec programme spécifique</i></p> <p><b>Cotes à chaud</b> Largeur : 50,70 mm Epaisseur : 8,05 mm</p> <p><b>Cotes à froid</b> Largeur : 50,40 mm Epaisseur : 8,13 mm</p>	<p><b>BILLETTE 2</b></p> <p><b>COULEE 822015193 - TA6V</b> billette Ø 101 mm - Lg 520 mm</p> <p><b>CHAUFFE AEG</b> Température visée : 950°C Voltage : 700 V Trajet : 1050 / 1140 Temps : 6 mn</p> <p>Température à 6 mn : 1023 °C Mesure pyromètre à 4 mn : 767 °C Mesure pyromètre à 5 mn : 870 °C Mesure pyromètre à 6 mn : 948 °C</p> <p>Temps de transfert chauffe / forgeage : 1' 03"</p> <p><b>FORGEAGE</b> <b>Rond forgé Ø 50 mm</b> Puissance Maxi. Atteinte : 88 T passe 1 Puissance Maxi. Atteinte : 88 T passe 2 Puissance Maxi. Atteinte : 86 T passe 3 Puissance Maxi. Atteinte : 84 T passe 4 Puissance Maxi. Atteinte : 82 T passe 5</p> <p>Température début forgeage 880 °C (943°C) Température fin forgeage 931 °C (991°C)</p> <p><b>FOUR OFU</b> <b>Température visée : 950°C</b> Introduction barres froides Température consigne : 970 °C Temps de passage : 25 mn</p> <p><b>LAMINAGE</b> <b>plat 50,00 x 8,00 mm - outillage type Standard</b> <b>recette 0501X080.071</b> Température passe 1 : 914 °C Température passe 3 : 882 °C Température passe 5 : 854 °C refroidissement laminage 60 °C températures relevées à l'affichage supervision</p> <p><b>Cotes à chaud</b> Largeur : 51,60 mm Epaisseur : 7,95 mm</p> <p><b>Cotes à froid</b> Largeur : 51,20 mm Epaisseur : 8,02 mm</p>

BILLETTE 3	
<p><b>COULEE 822015193 - TA6V</b> billette Ø 101 mm - Lg 520 mm</p> <p><b>CHAUFFE AEG</b> Température visée : 950°C Voltage : 670 V Trajet : 1050 / 1140 Temps : 6 mn</p> <p>Température à 6 mn : 1030 °C Mesure pyromètre à 4 mn : 761 °C Mesure pyromètre à 5 mn : 860 °C Mesure pyromètre à 6 mn : 941 °C</p> <p>Temps de transfert chauffe / forgeage : 1' 03"</p> <p><b>FORGEAGE</b> <b>Rond forgé Ø 50 mm</b> Puissance Maxi. Atteinte : 120 T passe 1 Puissance Maxi. Atteinte : 88 T passe 2 Puissance Maxi. Atteinte : 88 T passe 3 Puissance Maxi. Atteinte : 84 T passe 4 Puissance Maxi. Atteinte : 82 T passe 5</p> <p>Température début forgeage 870 °C (- - °C) Température fin forgeage 928 °C (993°C)</p> <p><b>FOUR OFU</b> <b>Température visée : 950°C</b> Introduction barres froides Température consigne : 970 °C Temps de passage : 25 mn</p> <p><b>LAMINAGE</b> <b>plat 50,00 x 8,00 mm - outillage type Standard</b> <b>recette 0501X080.071</b> Température passe 1 : 913 °C Température passe 3 : 878 °C Température passe 5 : 863 °C refroidissement laminage 50 °C températures relevées à l'affichage supervision</p> <p><b>Cotes à chaud</b> Largeur : 50,90 mm Epaisseur : 8,08 mm</p> <p><b>Cotes à froid</b> Largeur : 50,55 mm Epaisseur : 8,16 mm</p>	<p><b>BILLETTE 3</b></p> <p><b>COULEE 822015193 - TA6V</b> billette Ø 101 mm - Lg 520 mm</p> <p><b>CHAUFFE AEG</b> Température visée : 950°C Voltage : 670 V Trajet : 1050 / 1140 Temps : 6 mn</p> <p>Température à 6 mn : 1030 °C Mesure pyromètre à 4 mn : 761 °C Mesure pyromètre à 5 mn : 860 °C Mesure pyromètre à 6 mn : 941 °C</p> <p>Temps de transfert chauffe / forgeage : 1' 03"</p> <p><b>FORGEAGE</b> <b>Rond forgé Ø 50 mm</b> Puissance Maxi. Atteinte : 120 T passe 1 Puissance Maxi. Atteinte : 88 T passe 2 Puissance Maxi. Atteinte : 88 T passe 3 Puissance Maxi. Atteinte : 84 T passe 4 Puissance Maxi. Atteinte : 82 T passe 5</p> <p>Température début forgeage 870 °C (- - °C) Température fin forgeage 928 °C (993°C)</p> <p><b>FOUR OFU</b> <b>Température visée : 950°C</b> Introduction barres froides Température consigne : 970 °C Temps de passage : 25 mn</p> <p><b>LAMINAGE</b> <b>plat 50,00 x 8,00 mm - outillage type Standard</b> <b>recette 0501X080.071</b> Température passe 1 : 913 °C Température passe 3 : 878 °C Température passe 5 : 863 °C refroidissement laminage 50 °C températures relevées à l'affichage supervision</p> <p><b>Cotes à chaud</b> Largeur : 50,90 mm Epaisseur : 8,08 mm</p> <p><b>Cotes à froid</b> Largeur : 50,55 mm Epaisseur : 8,16 mm</p>

ESSAIS FAISABILITE FORGEAGE - LAMINAGE TA6V - UKAD - 11/05/2010

RELEVÉ DIMENSIONNEL / GEOMETRIE

PLAT LAMINE 50,00 x 8,00 mm

TOLERANCES : Largeur 0 / + 0,80 - 0 / + 0,20

BILLETTE	POSITION	LARGEUR	EPAISSEUR	CONCAVITE		EPAISSEUR MINI	CONVEXITE		FACES / CHANTS	// FACES *
				FACES	FACES		CHANTS	CHANTS		
BILLETTE 1	LAMINAGE : 3	BARRE 1-1	TÊTE	50,39	8,14	0,04	0,04	0,40 / 0,45	Conforme	0,01
			MILIEU	50,52	8,13	0,04	0,04	0,40 / 0,45	Conforme	0,01
			PIED	50,52	8,13	0,05	0,05	0,40 / 0,45	Conforme	0,01
BILLETTE 2	LAMINAGE : 1	BARRE 1-2	TÊTE	50,57	8,12	0,04	0,04	0,40 / 0,45	Conforme	0,00
			MILIEU	50,47	8,12	0,04	0,04	0,40 / 0,45	Conforme	0,00
			PIED	50,57	8,13	0,05	0,05	0,40 / 0,45	Conforme	0,00
BILLETTE 3	LAMINAGE : 2	BARRE 2-1	TÊTE	51,20	8,00	0,04	0,04	0,50 / 0,60	Conforme	0,02
			MILIEU	51,04	8,02	0,04	0,04	0,50 / 0,60	Conforme	0,02
			PIED	51,08	8,00	0,04	0,04	0,50 / 0,60	Conforme	0,00
BILLETTE 3	LAMINAGE : 2	BARRE 2-2	TÊTE	50,98	8,02	0,04	0,04	0,50 / 0,60	Conforme	0,01
			MILIEU	51,02	8,03	0,04	0,04	0,50 / 0,60	Conforme	0,01
			PIED	51,14	8,05	0,05	0,05	0,50 / 0,60	Conforme	0,01
BILLETTE 3	LAMINAGE : 2	BARRE 3-1	TÊTE	50,61	8,15	0,05	0,05	0,40 / 0,45	Conforme	0,02
			MILIEU	50,56	8,13	0,05	0,05	0,40 / 0,45	Conforme	0,02
			PIED	50,53	8,17	0,06	0,06	0,40 / 0,45	Conforme	0,00
BILLETTE 3	LAMINAGE : 2	BARRE 3-2	TÊTE	50,45	8,18	0,06	0,06	0,40 / 0,45	Conforme	0,00
			MILIEU	50,55	8,14	0,05	0,05	0,40 / 0,45	Conforme	0,00
			PIED	50,67	8,18	0,05	0,05	0,40 / 0,45	Conforme	0,01

(\*) ECART COTE D'EPAISSEUR ENTRE LES MESURES AUX BORDS

- VARIATION SUR LARGEUR :	BARRE 1-1 : 0,13	BARRE 2-1 : 0,16	BARRE 3-1 : 0,08
	BARRE 1-2 : 0,10	BARRE 2-2 : 0,16	BARRE 3-2 : 0,22
TOTAL	BARRE 1 : 0,18	BARRE 2 : 0,16	BARRE 3 : 0,22
- VARIATION SUR EPAISSEUR :	BARRE 1-1 : 0,01	BARRE 2-1 : 0,02	BARRE 3-1 : 0,04
	BARRE 1-2 : 0,01	BARRE 2-2 : 0,03	BARRE 3-2 : 0,04
TOTAL	BARRE 1 : 0,02	BARRE 2 : 0,05	BARRE 3 : 0,05